

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós-Graduação em Administração Pública

Diego da Silva Passos

**APRENDIZAGEM DE MÁQUINA NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: uso do
algoritmo *Random Forest* na predição do dano ambiental da APA do Alto do Mucuri**

Teófilo Otoni – MG

2021

Diego da Silva Passos

**APRENDIZAGEM DE MÁQUINA NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: uso do
algoritmo *Random Forest* na predição do dano ambiental da APA do Alto do Mucuri**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Administração Pública da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre em Administração Pública.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Calembó Batista Menezes

Teófilo Otoni – MG

2021

Ficha Catalográfica Preparada pelo Serviço de Biblioteca/UFVJM
Bibliotecário responsável: Baltazar José Filho – CRB-6/2775

P289a Passos, Diego da Silva.

Aprendizagem de máquina na Administração Pública: uso do algoritmo Random Forest na predição do dano ambiental da APA do Ato do Mucuri. / Diego da Silva Passos. -- Teófilo Otoni, 2021. - 105 p.; il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Programa de Pós-Graduação em Administração Pública, 2021.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Calemba Batista Menezes.

1. Registro de ocorrência de incêndio. 2. Incêndio florestal. 3. APA do Alto do Mucuri. 4. Random Forest. 5. Unidade de conservação I. Passos, Diego da Silva. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 354



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

DIEGO DA SILVA PASSOS

APRENDIZAGEM DE MÁQUINA NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: uso do algoritmo Random Forest na predição do dano ambiental da APA do Alto do Mucuri

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em **Administração Pública** da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, **nível de Mestrado**, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Administração Pública**.

Orientador: **Prof. Dr. João Paulo Calembó Batista Menezes**

Data de aprovação 19/02/2021.

Prof. Dr. João Paulo Calembó Batista Menezes - (UFVJM)

Prof. Dr. Jorge Fulgêncio Silva Chaves - (UFVJM)

Prof. Dr. Bruno de Almeida Vilela - (UFES)

Teófilo Otoni - MG

2021



Documento assinado eletronicamente por **João Paulo Calembó Batista Menezes, Servidor**, em 21/04/2021, às 11:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Fulgêncio Silva Chaves, Servidor**, em 22/04/2021, às 01:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno de Almeida Vilela, Usuário Externo**, em 23/04/2021, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufvjm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0333807** e o código CRC **B08DBFE0**.

À minha família,
Presente de Deus em minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus Pai por capacitar e conceder o privilégio de buscar o conhecimento mesmo em tempos difíceis.

À minha esposa Leila, pelo companheirismo, apoio e amor doados. Foram dias de muita compreensão em relação aos estudos e anseio pelo sucesso. Essa conquista é conjunta.

Aos meus pais, Paulo e Nádia, pelo amor incondicional, pelo incentivo aos estudos e exemplo de vida.

À minha irmã Saionara pelo apoio e inspiração de persistência.

Aos sogros João Batista e Inez que me acolheram como membro da família e estiveram na torcida pela conclusão da pesquisa.

Aos cunhados Thalita e João Batista Filho pelo apoio e pensamentos positivos.

Ao orientador Prof. Dr. João Paulo Calemba Batista Menezes pelas contribuições no estudo e atenção prestada. Agradeço pelo conhecimento transferido e por ter acreditado no meu potencial de aprendizado.

A toda minha família pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência devido aos estudos.

Aos meus colegas de mestrado pela convivência e trocas de experiências.

À família Ágape responsável pela minha perseverança na fé e comunhão.

A todos os colegas do IEF pela oportunidade de aprimoramento pessoal, profissional e compreensão nos momentos de ausência.

Aos professores Dr. Bruno de Almeida Vilela e Dr. Jorge Fulgêncio Silva Chaves pelas contribuições para aperfeiçoamento do estudo.

À UFVJM, em especial, a toda equipe do Programa de Pós Graduação em Administração Pública por ter proporcionado a chance de realizar este sonho.

A batalha é quase sempre ganha na mente. É pela renovação de nossa mente que nosso caráter e comportamento se transformam.
(STOTT, 2001, p. 27)

RESUMO

A Área de Proteção Ambiental (APA) do Alto do Mucuri é uma unidade de conservação de uso sustentável que tem como objetivo a integração sustentável na relação entre o homem e a natureza. O território abrange oito municípios localizados na região do Vale do Mucuri e tem como principal ameaça de existência a intervenção ambiental ilegal do ser humano, sendo o incêndio florestal um dos grandes desafios para sua sobrevivência. O Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI) é uma das ferramentas para compreensão e combate do incêndio florestal que consiste no preenchimento de formulário contendo aspectos desde a identificação do incêndio florestal até a sua debelação. Com base nessas informações, o estudo utilizou o método descritivo e a abordagem quantitativa para analisar a contribuição preditiva da ocorrência do dano ambiental na gestão pública da APA do Alto do Mucuri, a partir de 138 ROI's gerados entre os anos 2014 a 2018. Para análise foi utilizado o algoritmo *Random Forest*, técnica de aprendizado de máquina para predição das variáveis determinantes do dano ambiental. Os resultados alcançados revelaram maiores ocorrências de incêndios, respectivamente, nos municípios de Ladainha e Itaipé, atingindo principalmente a vegetação Floresta Estacional Semidecidual do bioma Mata Atlântica. Os eventos, em sua maioria, tiveram causas desconhecidas e atividades agropecuárias, alcançando o número de 14.729,92 hectares de vegetação queimada e 9.864,61 horas de combate de incêndios florestais. Os modelos I e II aplicados no algoritmo *Random Forest* alcançaram níveis de acurácia de 48,78% na fase de testagem demonstrando melhor poder preditivo para o dano ambiental de intensidade baixa e moderada. Os fatores que mais colaboraram para a identificação do dano ambiental foram: cobertura agropecuária, mês, cobertura floresta natural para o índice de acurácia média e as variáveis de concentração de monóxido de carbono, direção do vento e concentração de ozônio para o índice Gini. Através dos resultados foi possível verificar a importância das características climáticas e de cobertura geográfica para a mensuração do dano ambiental. Como sugestão de estudo para as atividades de gestão da unidade de conservação é a reformulação do conteúdo do ROI e a utilização do algoritmo *Random Forest* de maneira rotineira para alcance de eficiência na utilização de insumos e tempo de resposta para o combate de incêndios florestais.

Palavras-chave: Registro de Ocorrência de Incêndio. Incêndio Florestal. APA do Alto do Mucuri. *Random Forest*. Unidade de Conservação.

ABSTRACT

The Environmental Protection Area (APA) of Alto do Mucuri is a conservation unit for sustainable use that aims at sustainable integration in the relationship between man and nature. The territory covers eight municipalities located in the Vale do Mucuri region and its main threat to existence is the illegal environmental intervention of human beings, the forest fire being one of the major challenges for their survival. The Fire Occurrence Record (ROI) is one of the tools for understanding and fighting forest fire that consists of filling out a form containing aspects from the identification of the forest fire to its elimination. Based on this information, the study used the descriptive method and the quantitative approach to analyze the predictive contribution of the occurrence of environmental damage in the public management of the APA Alto do Mucuri, from 138 ROI's generated between the years 2014 to 2018. The Random Forest algorithm was used for analysis, machine learning technique to predict the variables that determine environmental damage. The results achieved revealed greater occurrences of fires in the municipalities of Ladainha and Itaipé respectively, mainly affecting the vegetation of the semi-deciduous seasonal forest of the Atlantic Forest biome. Most of the events had unknown causes and agricultural activities, reaching 14,729.92 hectares of burnt vegetation and 9,864.61 hours of forest firefighting. Models I and II applied to the Random Forest algorithm reached accuracy levels of 48.78% in the testing phase, demonstrating a better predictive power for low and moderate intensity environmental damage. The factors that contributed most to the identification of environmental damage were: agricultural cover, month, natural forest cover for the average accuracy index and the variables of carbon monoxide concentration, wind direction and ozone concentration for the Gini index. Through the results it was possible to verify the importance of climatic characteristics and geographic coverage for the measurement of environmental damage. As a suggestion of the study for the management activities of the conservation unit is the reformulation of the content of the ROI and the use of the Random Forest algorithm on a routine basis to achieve efficiency in the use of inputs and response time for fighting forest fires.

Keywords: Fire Occurrence Record. Forest fire. APA do Alto do Mucuri. Random Forest. Conservation Unit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Funcionamento do método <i>Random Forest</i>	58
Figura 2 - Esquematização da aplicação do <i>Random Forest</i>	78
Figura 3 - Importância das variáveis – Modelo I.....	82
Figura 4 - Importância das variáveis – Modelo II.	84
Figura 5 - Resultado analítico da importância das variáveis - Modelo I.....	102
Figura 6 - Resultado analítico da importância das variáveis - Modelo II.....	102
Figura 7 - Formulário ROI utilizado no ano 2018 – Parte 1.....	103
Figura 8 - Formulário ROI utilizado no ano 2018 - Parte 2	104
Figura 9 - Formulário ROI utilizado no ano 2018 - Parte 3	105
Gráfico 1 - Quantidade de ROI's da APA do Alto do Mucuri por município no período de 2014 a 2018	67
Gráfico 2 - Causas de incêndios na APA do Alto do Mucuri por ROI, no período de 2014 a 2018.	68
Gráfico 3 - Ocorrências mensais de incêndios na APA do Alto do Mucuri, no período de 2014 a 2018.	69
Gráfico 4 - Identificação de incêndios na APA do Alto do Mucuri no período de 2014 a 2018.	70
Gráfico 5 - Desempenho dos horários de identificação de incêndios na APA do Alto do Mucuri no período de 2014 a 2018.....	71
Gráfico 6 - Cobertura total de floresta natural e agropecuária dos municípios que abrangem a APA do Alto do Mucuri (em hectares).....	72
Gráfico 7 - Desempenho dos poluentes atmosféricos.	74
Gráfico 8 - Desempenho da temperatura e umidade relativa do ar.	75
Gráfico 9 - Desempenho da velocidade e direção do vento.	77
Mapa 1 - Localização da APA do Alto do Mucuri.....	41
Quadro 1 - Sistemas Internacionais de Indexação de Incêndios Florestais.....	44
Quadro 2 - Variáveis Independentes da Amostra.....	60
Quadro 3 - Descrição das variáveis condições climáticas e poluentes atmosféricos.	62
Quadro 4 - Matriz de confusão para análise de problemas classificatórios binários.....	79
Quadro 5 - Indicadores de desempenho preditivo.	80
Quadro 6 - Variáveis representativas dos Modelos I e II.	86
Quadro 7 - Significado dos códigos das variáveis aplicadas no R Studio.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades de Conservação em conformidade com o SNUC.....	38
Tabela 2 - Classes do Tempo de Combate (TC) e Área de Vegetação Queimada (AQ) dos incêndios florestais.	59
Tabela 3 - Classes do Dano Ambiental dos incêndios florestais da amostra.	60
Tabela 4 - Área Queimada (AQ) e Tempo de Combate (TC) na APA do Alto do Mucuri.....	65
Tabela 5 - Frequência da intensidade do Dano Ambiental da APA do Alto do Mucuri ocorrido no período de 2014 a 2018.	66
Tabela 6 - Estatística descritiva da cobertura de Floresta Natural e Agropecuária nos municípios da APA do Alto do Mucuri no período de 2014 a 2018 (em hectares).	71
Tabela 7 - Estatística descritiva das variáveis poluentes atmosféricos e condições climáticas.	73
Tabela 8 - Matriz de confusão da variável dano ambiental – Modelo I.	80
Tabela 9 - Indicadores preditivos – Modelo I.....	81
Tabela 10 - Matriz de confusão da variável dano ambiental – Modelo II.....	83
Tabela 11 - Indicadores preditivos – Modelo II	84

LISTA DE SIGLAS

AIA – Avaliação de Impactos Ambientais
APA – Área de Proteção Ambiental
APP – Área de Preservação Permanente
AQ – Área de Vegetação Queimada
CAR – Cadastro Ambiental Rural
CEGE – Comitê Executivo do Governo Eletrônico
Cepagri – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura
CFFDRS – Canadian Forest Fire Danger Rating System
CNUC – Cadastro Nacional das Unidades de Conservação
CNUMAD – Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO – Monóxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
e-MAG – Modelo de Acessibilidade do Governo Eletrônico
FBCN – Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
FN – Falso Negativo
FP – Falso Positivo
FTP – Força Tarefa Previncêndio
FUNATURA – Fundação Pró-Natureza
GTTI – Grupo de Trabalho Interministerial
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IEF – Instituto Estadual de Florestas
IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMG – Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MapBioma – Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil
MDA – *Mean Decrease Accuracy*
MDG – *Mean Decrease Gini*
MMA – Ministério do Meio Ambiente

NFDR- Nacional Fire Danger Rating
NO₂ – Dióxido de Nitrogênio
O₃ – Ozônio
OMS – Organização Mundial de Saúde
ONG – Organização Não Governamental
PIB – Produto Interno Bruto
PM_{2,5} – Material Particulado Inalado Fino
Prevfogo – Sistema Nacional de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais
Previncêndio – Programa de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais
ROI – Registro de Ocorrência de Incêndios
SEMAD – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SISAM – Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde
Sisema – Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Sisfogo – Sistema Nacional de Informações sobre Fogo
SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente
Sisp – Sistema de Administração dos Recursos de Tecnologia da Informação
SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SO₂ – Dióxido de Enxofre
TC – Tempo de Combate dos Incêndios Florestais
TI – Tecnologia da Informação
TIC – Tecnologia de Informação e Comunicação
VN – Verdadeiro Negativo
VP – Verdadeiro Positivo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivos	23
1.1.2 <i>Objetivo Geral</i>	23
1.1.3 <i>Objetivos Específicos</i>	23
1.2 Justificativa	24
2 REFERENCIAL TEÓRICO	28
2.1 O Contexto das Políticas Públicas em Meio Ambiente no Brasil	28
2.1.1 <i>Evolução do Código Florestal Brasileiro</i>	31
2.1.2 <i>O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC): origem e características</i> ..	35
2.2 Área de Proteção Ambiental do Alto do Mucuri	39
2.3 Incêndios Florestais e o Registro de Ocorrência de Incêndios (ROI)	43
2.4 Governo Eletrônico	49
3 METODOLOGIA	55
3.1 Aprendizagem de Máquina	57
3.1.1 <i>Algoritmo Random Forest</i>	57
3.2 Definição das Variáveis da Amostra	59
3.2.1 <i>Formulação do Dano Ambiental</i>	59
3.2.2 <i>Seleção das Variáveis Independentes</i>	60
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	65
4.1 Estatística Descritiva das Variáveis	65
4.1.1 <i>Dano Ambiental</i>	65
4.1.2 <i>ROI</i>	66
4.1.3 <i>MapBiomias</i>	71
4.1.4 <i>SISAM</i>	72
4.2 Aplicação Random Forest	78
4.2.1 <i>Indicadores do Modelo de Classificação</i>	79
4.2.2 <i>Modelo I de Classificação Random Forest – Amostra Aleatória do Dano Ambiental</i> ...	80
4.2.3 <i>Modelo II de Classificação Random Forest – Amostra Cronológica do Dano Ambiental</i>	82
4.2.4 <i>Discussão dos modelos de análise Random Forest</i>	85
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE A	101
APÊNDICE B	102
ANEXO A	103

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da degradação ambiental, foi instaurada uma crise ambiental mundial estimulada pela errônea ideia de recursos naturais ilimitados e sua consequente extração de maneira deliberada. Neste tocante, a dificuldade da natureza se reestabelecer em meio às ações insustentáveis do homem e o surgimento da noção de importância de sua preservação para o bem-estar do ser humano colaborou para o aparecimento de grupos com enfoque na defesa do meio ambiente (PRAES, 2012).

Para Peccatiello (2011), esses movimentos ambientalistas se intensificaram no Brasil durante o século XX, impulsionando a criação de políticas públicas voltadas a essa temática. Observa-se também, a partir do período relatado, um aumento na promoção da conscientização ambiental através de eventos nacionais e internacionais que indicavam a necessidade de estratégias para a redução dos impactos negativos causados ao meio ambiente. Como exemplo, pode ser citado o evento Rio-92, ocorrido no Rio de Janeiro, e que envolveu 175 países com o objetivo de discutir questões do desenvolvimento sustentável.

Para regulamentar a interação do homem e a natureza com objetivo de promover o desenvolvimento sustentável e a proteção da biodiversidade, foram criadas na história brasileira políticas ambientais relevantes. Pode ser citado o Código Florestal Brasileiro, que ao longo dos anos passou por três etapas de elaboração, nos períodos de 1934, 1965 e 2012, e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (Lei 9.985/00), que veio regulamentar com maior rigor a criação e gestão de unidades de conservação no intuito de atingir ações em prol do meio ambiente. No que diz respeito ao SNUC, um dos seus desdobramentos foi a divisão das unidades de conservação em dois tipos: Proteção Integral e Uso Sustentável.

Dentre as unidades de conservação do tipo Uso Sustentável, pode ser mencionada a APA do Alto do Mucuri, considerada uma área de preservação ambiental dotada de riquezas naturais, responsável pela integração sustentável entre o ser humano e a biodiversidade na região localizada. A APA do Alto do Mucuri, assim como outras unidades de conservação, está sujeita a desafios que ameaçam a sua existência, sobretudo, no tocante às intervenções ambientais ilegais.

Uma das causas de grande ameaça dos recursos naturais de uma unidade de conservação são os incêndios florestais, oriundos normalmente da ação humana. Segundo Anderson *et al.* (2019), anualmente, os incêndios florestais geram prejuízos socioambientais e econômicos ao país. O combate dos incêndios florestais mobiliza recursos humanos, materiais, ferramentas, transporte, alimentação e, consequentemente, geram gastos aos cofres públicos,

sem contar o incomensurável prejuízo ao meio ambiente. Os incêndios florestais vêm ganhando cada vez mais destaque nos meios de comunicação, ocasionando uma sensação de impunidade e retrocesso às questões ambientais. Estima-se, entre os anos de 1998 a 2002, a perda de 85.735,02 hectares de vegetação distribuídas em 19.377 registros de incêndios em unidades de preservação ambiental no Brasil (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006)

Entender o comportamento das queimadas se configura uma forma de ação imprescindível para o seu controle e combate (IBAMA, 2009). Dentre alguns mecanismos e ferramentas que auxiliam na tratativa dos incêndios florestais pode ser citado o Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI), considerado um relatório composto por informações sobre os fatores que envolvem desde a detecção até a extinção do fogo nestas áreas de preservação (BONTEMPO *et al.*, 2011). Esses dados auxiliam na tomada de decisão para elaboração de estratégias que minimizam e ajudam a prevenir a incidência do fogo descontrolado em unidades de conservação.

Bontempo *et al.* (2011) ainda menciona a importância da informatização dos ROI's por possibilitar o fornecimento de um banco de dados *online* que facilita o cruzamento de informações para aplicação de ações com mais celeridade. Dessa forma, necessário relatar a importância que as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) tem na execução de atividades em uma organização. A utilização de tecnologias de informação, em geral, agregam qualidade e produtividade em uma organização (VALLE, 1996), portanto, o uso de TIC's em repartições públicas representam alternativas de agilidade para atendimento das demandas.

Neste contexto, em busca de melhor entendimento sobre os incêndios ocorridos em unidades de conservação e os elementos que estão envolvidos por intermédio da gestão ambiental do ROI, o presente estudo buscará responder: **Quais contribuições a predição do dano ambiental pode gerar na gestão pública da APA do Alto do Mucuri a partir da utilização do algoritmo *Random Forest*?**

Para alcançar os resultados propostos, o estudo organizou e analisou as características que compõem o ROI, bem como outras variáveis relacionadas aos eventos de incêndios ocorridos na APA do Alto do Mucuri durante o período de 2014 a 2018. A partir dos dados organizados foi realizado a mensuração e predição do fator dano ambiental por intermédio do algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest*. Os resultados alcançados tiveram como escopo a colaboração de pesquisas e criação de políticas públicas para preservação do meio ambiente.

A análise e discussão dos resultados da pesquisa foram pautadas no levantamento bibliográfico indispensável para o entendimento da temática. Para tanto, foram percorridos o

tópico “O Contexto das Políticas Públicas em Meio Ambiente no Brasil” – o relato do desenvolvimento das políticas ambientais no Brasil – complementados pelos subtópicos “Evolução do Código Florestal Brasileiro” e o “Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC): origem e características”. Foi explanado, ainda, a criação e desdobramento da unidade de conservação, objeto da pesquisa, no tópico “Área de Proteção Ambiental do Alto do Mucuri”; a problemática dos incêndios florestais e evolução dos ROI’s no tópico sob o título “Incêndios Florestais e o Registro de Ocorrência de Incêndios (ROI)”. Por fim, a importância e evolução dos serviços eletrônicos ofertados para a sociedade brasileira foi abordado no tópico “Governo Eletrônico”. Em relação à seção “Metodologia”, foram mencionados as técnicas e procedimentos para a análise amostral, utilizando como tópicos a “Aprendizagem de Máquina” e a “Definição das Variáveis da Amostra”. As seções “Análise dos Resultados” e as “Considerações Finais” foram utilizadas para relatar os resultados auferidos.

1.1 Objetivos

1.1.2 Objetivo Geral

Analisar a contribuição preditiva da ocorrência do dano ambiental na gestão pública da APA do Alto do Mucuri a partir da utilização do algoritmo *Random Forest*.

1.1.3 Objetivos Específicos

Para realizar o propósito central do presente estudo, faz-se necessário a subdivisão em objetivos específicos que se seguem:

- a) Analisar a estatística descritiva das variáveis a serem utilizadas no algoritmo *Random Forest*;
- b) Mensurar o dano ambiental com base no Registro de Ocorrência de Incêndio da APA do Alto do Mucuri.
- c) Examinar quais variáveis foram determinantes do Registro de Ocorrência de Incêndio na APA do Alto do Mucuri.
- d) Propor melhorias no acompanhamento e controle dos Registros de Ocorrências de Incêndios na APA do Alto do Mucuri.

1.2 Justificativa

O Brasil é considerado um dos países com elevados índices de pobreza, desigualdades sociais e distribuição de renda. Segundo Fahel, Leite e Teles (2014, p. 52), “[...] o Brasil é um país rico, mas enfrenta o desafio histórico de lidar com o mal-estar da injustiça social excluindo uma parcela significativa de sua população que tem acesso apenas às condições mínimas de vida”. Segundo os autores, a concentração de riqueza no país está localizada principalmente na região Sudeste. Dentre os estados que compõem a região Sudeste, destaca-se Minas Gerais, possuindo expressiva representatividade do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e ocupando a segunda posição de estado mais populoso brasileiro. No entanto, assim como as regiões do Brasil, o estado também apresenta diversidade socioeconômica em suas regiões administrativas que evidenciam a desigualdade de renda.

A partir do estudo realizado por Fahel, Leite e Teles (2014), sobre a pobreza multidimensional no estado de Minas Gerais, foi revelada a região do Jequitinhonha/ Mucuri (Nordeste mineiro) como sendo uma das mais pobres entre os anos 2009 a 2011. Os estudos de Teixeira e Corrêa (2019, p. 40) corroboram com esse fato ao mencionar que “Minas Gerais ainda possui trinta municípios em situação de extrema pobreza e vulnerabilidade, todos localizados no Vale do Jequitinhonha e Mucuri”. Portanto, ao se analisar as referidas regiões, deve-se levar em consideração a escassez e necessidade de recursos econômicos da localidade.

A APA do Alto do Mucuri situa-se no Nordeste do estado de Minas Gerais, região do Vale do Mucuri caracterizada pela carência de políticas públicas em relação aos demais municípios do estado, onde parcela das unidades municipais são detentoras de baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (IBGE, 2017). A unidade de conservação possui importância na subsistência de parcela da população residente, sendo a agricultura familiar principal fonte de renda no território (PEREIRA, 2016). A APA do Alto do Mucuri apresenta ainda riquezas naturais de grande relevância para a região do Vale do Mucuri, como grande concentração do bioma Mata Atlântica (PEREIRA, 2016) e a geração de recursos hídricos fundamentais para o abastecimento da bacia do rio Mucuri (FELIPPE; BUENO; COSTA, 2009). Este último propicia a distribuição e consumo de água da população regional.

A referida unidade de conservação ainda apresenta desafios para sua gestão, com destaque para as intervenções ambientais não autorizadas, por exemplo, o uso deliberado do fogo, fator potencial para a criação de incêndios florestais (PEREIRA, 2018). Os incêndios florestais são responsáveis por prejuízos ao meio ambiente, sociedade e economia do país (ANDERSON *et al.*, 2019). Para o seu controle e combate costumam ser dispendidos diversos

tipos de recursos que impactam os cofres públicos, como por exemplo, a contratação de recursos humanos para atuação nas áreas afetadas, gastos com treinamento e capacitação de equipe, aquisição de ferramentas e utensílios de combate, a manutenção de veículos e aeronaves, gastos com combustíveis para locomoção até os locais das ocorrências. Para Silva (2017), embora se tenha a noção de gastos aplicados no controle e combate de incêndios florestais, o seu real custo econômico é ainda desconhecido. Segundo Moura (2016, p. 89):

A partir da década de 1990, iniciaram-se pesquisas sobre gastos ambientais no Brasil, com a produção de diversos estudos. Contudo, estes têm sido feitos de forma assistemática (em períodos limitados) e com metodologias díspares, que não permitem uma comparação entre os períodos estudados e a formação de séries históricas.

A pesquisa de Moura (2016) revela ainda o crescimento das despesas públicas ambientais no Brasil entre os anos 2004 (R\$ 1,96 bilhão) a 2009 (R\$ 8,27 bilhões), consoante aos gastos totais federais (evolução de 0,12% para 0,43%). A partir de 2010, estes valores apresentaram decréscimo nas despesas públicas com meio ambiente, alcançando a marca de R\$ 4,47 bilhões em 2014, equivalente a 0,20% do orçamento total federal e redução de aproximadamente 50% em relação ao ano de 2009. Estes dados demonstram o investimento cada vez menor do poder público na área ambiental nestes últimos anos, gerando percepção de descaso público com essa temática.

A sensação de desgaste ambiental por parte do poder público se fortalece com a gestão federal atual, representada pelo presidente Jair Messias Bolsonaro. De acordo com Fearnside (2019), pode ser mencionado como uma das atuações governamentais de impacto negativo, a neutralização de diversas legislações ambientais comandadas pelo Ministro de Meio Ambiente. O presidente ainda acumula diversas declarações contraditórias e polêmicas sobre a questão ambiental, como por exemplo, a não delimitação de terras indígenas durante seu governo e o favorecimento de projetos hidrelétricos na Amazônia (FEARNSIDE, 2019). No que diz respeito aos incêndios florestais, o ano de 2020 registrou grandes quantidades de hectares de queimadas ocorridas principalmente nos biomas do Pantanal e Amazônia. Em resposta a estes acontecimentos, houve minimização das ocorrências de incêndio por parte do presidente e o Brasil recebeu diversas críticas internacionais quanto a política ambiental adotada (UOL, 2020).

O estudo proposto não pretende mensurar os gastos do poder público para o combate de incêndios florestais e também não possui a intenção de entrar no mérito político. Entretanto, a pesquisa realiza uma reflexão sobre a situação caótica do desmatamento florestal, com o propósito de fornecer ferramenta para adoção de estratégias que visam a eficiência e

redução de gastos em prol do meio ambiente. Portanto, a colaboração para o combate a incêndios florestais está atrelada à própria sobrevivência da biodiversidade existente na APA do Alto do Mucuri.

Quanto aos ROI's, são ferramentas importantes para adoção de estratégias de prevenção, controle e combate as queimadas ambientais. No entanto, observa-se que o último relatório publicado, contendo o perfil de incêndios florestais emitido pelo Sistema Nacional de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais (Prevfogo) e apresentado no portal eletrônico do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), se refere ao ano de 2009 (IBAMA, 2010). Portanto, infere-se que esse tipo de informação de fácil acesso ao público esteja temporalmente defasado em relação à situação atual no país.

Dentre as informações apresentadas no relatório de incêndios florestais de 2009, estão os dados quantitativos sobre os ROI's registrados nos estados brasileiros, elaborados a partir do Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (Sisfogo), que atualmente se encontra inoperante. Segundo o IBAMA (2010), o Sisfogo era um sistema automatizado e alimentado por diversas instituições que tinham a responsabilidade de inserção de dados sobre queimadas, sobretudo, das ocorrências de incêndios florestais em unidades de conservação. Esse sistema ficava disponível, via *online*, para amplo acesso ao público. De acordo com o relatório mencionado, no ano de 2009, cerca de 61,54% dos estados brasileiros não continham registros mensais de ocorrências de incêndios no Sisfogo, com destaque para todos os estados da região Sudeste e Sul (IBAMA, 2010). Estes dados indicam um reduzido número de unidades de conservação que forneciam informações sobre as queimadas ocorridas em suas áreas.

Com a inoperância do portal Sisfogo verifica-se a carência de instrumentos de Governo Eletrônico que sistematizem informações dos ROI's em unidades de conservação no Brasil. A necessidade do estudo de instrumentos de Governo Eletrônico para essa área ambiental é corroborada pela escassa produção científica encontrada na literatura brasileira.

Diante do exposto, percebe-se que a adoção de ferramentas de TIC's ajuda a disseminar o conhecimento sobre os incêndios florestais em unidades de conservação no Brasil. Uma das formas para aplicação das TIC's é a utilização da aprendizagem de máquinas. Para Barbosa (2017), a utilização da aprendizagem de máquinas permite obter resultados promissores e são ainda pouco relatados no acervo científico.

Alguns estudos, como o de Soriano e Narciso (2020), propõe predição do risco de incêndio através de fatores climáticos produzidos pelo *software* Saripan, outros, como Oliveira *et al.* (2017), adotam em seus estudos a modelagem espacial, através de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O presente estudo utilizará o algoritmo *Random Forest* para predição do

dano ambiental, possuindo como diferencial o envolvimento de características do ROI, condições climáticas e cobertura do uso do solo. O uso do *Random Forest* como um algoritmo de aprendizagem de máquina supera, em termo de acurácia, os resultados que poderiam ser obtidos utilizando a regressão logística como método de análise da amostra (BARBOSA, 2017).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Contexto das Políticas Públicas em Meio Ambiente no Brasil

O Brasil, até a década de 1960 ficou caracterizado por apresentar pouca preocupação com os impactos ambientais ocasionados pela sociedade, o que indicou um crescente desgaste de recursos naturais que influenciaram diretamente no bem-estar populacional. Acresce-se a esse fato, que as entidades públicas e privadas estavam focadas em uma produção com viés exclusivo na lucratividade (OLIVEIRA; BURSZTYN, 2016).

Segundo Peccatiello (2011), foi a partir da segunda metade do século XX, na década de 1960, que a criação de políticas ambientais tiveram maior destaque no Brasil, pressionadas pelos movimentos internacionais de ambientalistas.

Para Monosowski (1989), o desenvolvimento das políticas públicas no meio ambiente no Brasil, até a promulgação da Constituição de 1988, podem ser divididas em quatro abordagens:

a) A primeira, a partir dos anos 1930, atribuída pela administração dos recursos naturais, com enfoque na urbanização e industrialização. Neste período, surgiram normatizações que auxiliavam a criação de áreas de proteção e dispositivos importantes como: Código das Águas, Código Florestal e Código de Mineração no ano de 1934, Código da Pesca em 1938 e o Estatuto da Terra em 1964;

b) A segunda abordagem se deu a partir da década de 1970 e foi marcada por questões de controle da poluição industrial. Neste período, o pensamento de poluição estava associado ao progresso, sendo um dos motivos para que o Brasil se comprometesse com poucas medidas governamentais sobre o meio ambiente durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, em Estocolmo, no ano de 1972;

c) A terceira, ocorrida também a partir de 1970, tinha como abordagem questões territoriais em razão da crescente urbanização do país. Observou-se que o crescimento desregulado estava gerando a escassez dos recursos naturais, e com isso era necessário criar mecanismos de controle. Foi nesse período que surgiram os primeiros estudos sobre a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) e;

d) A quarta abordagem, com início a partir do ano de 1981, caracterizou-se pela gestão integrada de recursos. Nesse período, surgiram vários instrumentos regulatórios do meio ambiente como a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº. 6.938/81), que por sua vez, deu origem ao Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e ao Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). Nessa etapa, houve o reconhecimento do Estado como responsável

pelas ações no meio ambiente e a consideração das legislações ambientais dentro de suas atividades.

A consolidação gradativa dos órgãos ambientais, iniciada em 1980, foi impulsionada com a promulgação da Constituição de 1988, que enfatizou em seu artigo 225:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

O artigo definiu a responsabilidade do poder público perante o desenvolvimento sustentável, delimitando prioridades na preservação ambiental (BRASIL, 1988). Ressalta-se também a promulgação da Lei nº. 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, que instaurou o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), órgão federal que ficou responsável por centralizar funções que até então eram de outros órgãos de regulação ambiental (PECCATIELLO, 2011).

De acordo com Piga, Mansano e Mostage (2019), o Brasil se tornaria palco mundial sobre a temática de meio ambiente no ano de 1992, quando sediou a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), mais conhecida como Eco-92 ou Rio-92. Realizada no Rio de Janeiro, a conferência contou com a participação de 178 países e diversos representantes de grupos sociais no mundo (religiosos, ambientalistas, intelectuais, jornalistas, entre outros). Dentre os tópicos de discussão, destacou-se a convenção sobre as mudanças climáticas e a orientação quanto a redução de dióxido de carbono. Como resultado principal da conferência originou-se a elaboração da Agenda 21, documento que instituiu um pacto entre os países participantes, no intuito de cumprir ações concretas em prol do meio ambiente e desenvolvimento.

Para Jannuzzi e Carlo (2019), somente no ano de 2012 em diante, a Agenda 21 foi tratada com maior relevância, sob a gestão da Comissão de Política de Desenvolvimento Sustentável e o Ministério do Meio Ambiente (MMA). Nas estratégias definidas estavam o enfoque na agricultura sustentável, cidade sustentável, ciência e tecnologia sustentável, gestão de recursos naturais, infraestrutura e integração social e redução da desigualdade social. Como consequência, a Agenda 21 se torna instrumento local de referência para construção de documentos, como o Plano Diretor de um município. Segundo Martins *et al.* (2015, p.98):

A Agenda 21 foi um dos principais documentos resultantes da Conferência, estabelecendo o compromisso de cada país signatário, através de comissões internas criadas especificamente para esse fim, a refletir, global e localmente, sobre a forma pela qual vários setores da sociedade, governos, universidades, empresas e

organizações não governamentais (ONGs) podem cooperar na busca de soluções para os problemas socioambientais.

Infelizmente a execução das ações previstas nesse instrumento não se tornaram efetivas e sustentáveis justamente por não ter sido mobilizada por diversos segmentos no Brasil. Dentre alguns motivos estão a falta de continuidade e baixa prioridade dos programas políticos sob responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente e o descaso da população com questões ambientais.

Com igual importância, no ano de 2012, o Brasil sedia uma nova conferência CNUMAD, intitulada de Rio+20, após 20 anos decorridos da conferência Rio-92. Nela, restou estabelecidas ações relativas ao meio ambiente para os anos seguintes, baseadas no equilíbrio social, economia sustentável, redução de riscos e escassez de recursos naturais (MARTINS *et al.*, 2015).

Para Peccatiello (2011), diante da falta de resultados relevantes, no que concerne a muitas legislações e acordos criados no Brasil para tratar de assuntos ligados ao meio ambiente, percebeu-se cada vez mais a tendência de políticas públicas ambientais voltadas para proteção de territórios, uma vez que no decorrer dos anos houve exploração inadequada dos recursos naturais nacional. Segundo a autora:

Há uma relação direta entre problemática ambiental e políticas públicas. As demandas sociais determinam intervenções político-administrativas, realizáveis por meio do aparato legal e das políticas públicas. É perceptível que tais demandas, por sua vez, configuram-se a cada dia mais como demandas socioambientais, exigindo mudanças contextualizadas ao tempo e ao espaço. Tendo em vista a realidade de países em desenvolvimento, tais como o Brasil, caracterizados em sua maioria por democracias não consolidadas, as peculiaridades socioeconômicas e políticas exigem uma adaptação do conjunto de instrumentos que englobam a dinâmica político-decisória, de forma a consolidar práticas participativas, acessíveis e realizáveis em todos os níveis sociais (PECCATIELLO, 2011, p. 72).

Segundo Peccatiello (2011), em uma cultura onde apropriar e transformar espaços significa progresso, há a dificuldade de a natureza ser entendida como um patrimônio a ser cuidada por práticas sociais. Contudo, existe sentido a proteção e conservação dessas áreas naturais, e nesse contexto surge a importância da criação e o entendimento das legislações específicas sobre esse assunto, como por exemplo, o Código Florestal Brasileiro e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).

O Brasil possui uma estrutura de legislação ambiental voltada a entender várias áreas ambientais. Podem ser destacadas algumas, como a própria Constituição de 1988, a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº. 6.938/81), o Código Florestal – responsável pela regulamentação da Flora –, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº. 9.433/97) – que

trata de assuntos referente as águas no Brasil –, o Decreto nº. 5.197/67 – que regulamenta a Fauna –, a Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº. 9.795/99) e o SNUC (Lei nº. 9.985/00) (BRASIL, 2008).

Nos tópicos a seguir, serão tratados de forma mais ampla as normatizações que tratam a respeito do Código Florestal Brasileiro e o SNUC. A partir destes instrumentos legais foram construídos uma escrita para uma melhor visualização do desenvolvimento das unidades de conservação dentro dos fatos contextuais ocorridos no Brasil.

2.1.1 Evolução do Código Florestal Brasileiro

A primeira legislação a abordar a questão da proteção de florestas no Brasil foi o Regimento sobre o pau-brasil, em 1605, que regulava a proteção e conservação exclusiva da referida espécie. Com o caráter estritamente econômico, o Regimento controlava a extração e garantia a lucratividade da Coroa Portuguesa, penalizando com multas, exílio e pena de morte a quem desobedecesse às normas impostas. Havia uma preocupação quanto a extração do pau-brasil de forma irregular, como a proibição da abertura de clareiras por intermédio das queimadas e a orientação do seu corte sem gerar danos as raízes e brotos (RORIZ; FEARNSTIDE, 2015).

No entanto, foi na década de 1930 que houve as primeiras normatizações ambientais brasileiras. O processo de instituição de políticas ambientais foi colaborado com a recuperação econômica dos países no mundo diante da crise de 1929, marcada pela queda dos valores da bolsa nos Estados Unidos. Neste período, o Brasil apresentou grandes perdas do Produto Interno Brasileiro (PIB), sobretudo em seu principal produto, o café, originado principalmente da região Sudeste. Diante da grande produção em estoque e desvalorização do preço, o Governo foi obrigado a realizar a queima de sacas do café no intuito de equilibrar os valores perante o mercado internacional (MEDEIROS, 2006).

Como alternativa para alavancar a economia brasileira, o presidente Getúlio Vargas adota um pacote de medidas para a industrialização do país. Uma das estratégias tomadas foi o incentivo a implantação das chamadas indústrias de base, representadas por setores da siderúrgica e metalúrgica. Consequentemente, para alimentação dessas novas indústrias, surgiu a necessidade de extração das matérias-primas realizadas principalmente por madeiras e mineradoras. Diante da necessidade e preocupação da extração e esgotamento dos recursos naturais nasce o Código Florestal Brasileiro de 1934 (Decreto nº. 23.793/34), sob a

responsabilidade de normatizar a exploração das florestas de maneira sustentável (MEDEIROS, 2006). Um dos principais objetivos do dispositivo era:

[...] legitimar a ação dos serviços florestais, em franca implementação em alguns estados brasileiros desde o final do século XIX, além de regularizar a exploração do recurso madeireiro, estabelecendo as bases para sua proteção. Ele foi, também, o primeiro instrumento de proteção brasileiro a definir claramente tipologias de áreas a serem especialmente protegidas (MEDEIROS, 2006, p. 50).

Em seu primeiro artigo, o Código Brasileiro de 1934 já demonstrava a preocupação na proteção e conservação das florestas, tendo sido considerado nos artigos posteriores como um bem jurídico de interesse público. O código reconheceu a riqueza natural das florestas nacionais e estabeleceu uma parcela de 25% como Reserva Legal em propriedades rurais (SAUER; FRANÇA, 2012). De acordo com Ahrens (2005), a regulamentação admitia o interesse pela sociedade na manutenção do patrimônio florestal mínimo, devendo ser apreciada, além do limite do que era definido como público e privado.

O primeiro Código Florestal Brasileiro também destacou, de forma clara, os primeiros aspectos dos tipos de áreas necessárias a proteção, classificando-as em quatro: protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento. Segundo Medeiros (2006, p. 10):

Eram do tipo protetoras as florestas que tivessem finalidade de conservar os regimes das águas, evitar a erosão, fixar dunas, assegurar a salubridade pública, proteger sítios, asilar espécimes da fauna, ou proteger, do ponto de vista militar, as fronteiras. Florestas remanescentes eram aquelas declaradas pelo Poder Público Federal, Estadual ou Municipal, visando a criação de parques, inclusive pequenos bosques de gozo público e reservas de proteção biológica ou estética. As florestas modelo e de rendimento eram aquelas que poderiam ser submetidas a manejo de recursos naturais, visando o extrativismo de madeira. Nelas figuravam as Florestas Nacionais.

De acordo com o Decreto nº. 23.793/34, que instituiu o Código Florestal de 1934, o grupo de florestas modelo e de rendimento foram diferenciadas pelos seguintes artigos:

Art. 6º Serão classificadas como floresta modelo as artificiais, constituídas apenas por uma, ou por limitado número de essências florestais, indígenas e exóticas, cuja disseminação convenha fazer-se na região.

Art. 7º As demais florestas, não compreendidas na discriminação dos arts. 4º a 6º, considerar-se-ão de rendimento (BRASIL, 1934).

Considerado conservacionista, por apresentar princípios de proteção e não somente dos recursos vegetais, mas também dos recursos hídricos e áreas frágeis, o Código Florestal de 1934 recebeu duras críticas. Ele definia normas que favorecia a prosperidade do mercado madeireiro e era ineficaz no âmbito nacional. Portanto, para evitar consequências mais graves em relação ao ambiente e a economia foi instituído em 1965 um novo Código Florestal (RORIZ; FEARNSSIDE, 2015).

O novo Código Florestal Brasileiro foi instituído no dia 15 de setembro de 1965, por intermédio da Lei nº. 4.771, e foi idealizado por muitos como um mecanismo de auxílio na manutenção da agropecuária e garantia de melhor produção, advindos da proteção ambiental (RORIZ; FEARNSSIDE, 2015). De acordo com Sauer, França (2012, p. 287):

A Lei 4.771 estabeleceu dois mecanismos importantes de proteção ambiental: a) a Área de Preservação Permanente (APP), destinada a proteger o solo e as águas, cujo uso é limitado e depende de situações a serem autorizadas pelo poder público; b) a Reserva Legal, como um percentual do imóvel que deve ser coberto por vegetação natural e que pode ser explorada com manejo florestal sustentável.

Além desses dois conceitos, foram instituídas mais duas tipologias de áreas florestais, em substituição às quatro regulamentadas pelo Código Florestal de 1934: o Parque Nacional e a Floresta Nacional (MEDEIROS, 2006). O Código Florestal de 1965 passou ainda por várias adaptações, atualizações e o surgimento de normatizações que serviram de complemento. Nesse sentido, cita-se a Constituição de 1988, que trouxe no bojo do artigo 225, o direito de todos a um meio ambiente ecologicamente equilibrado e sustentável; a Medida Provisória de nº. 1.511 de 1996, que aumentou o percentual de 50% para 80% da Reserva Legal a ser preservada no bioma da Amazônia, em face ao crescimento do desmatamento, principalmente com a introdução da agricultura na região (SAUER; FRANÇA, 2012).

De acordo com Roriz e Fearnside (2015), houve também a criação da Lei nº. 9.605/98, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, que penalizavam autores de crimes ambientais que, até então, se configuravam em atos administrativos. Além do surgimento de categorias de unidades de conservação como a Área de Proteção Ambiental, criou-se, através da Lei 9.985/00, um Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que delimitava assuntos referentes à gestão de unidades de conservação.

Para Sauer e França (2012), o ano de 2008 foi marcado por dois fatos que contribuíram para pressionar a reforma do Código Florestal de 1965. A primeira, foi a Resolução 3.545/08 do Bacen, que para aprovação de financiamento agropecuário no bioma da Amazônia passou a exigir comprovação de regularização ambiental. A segunda, foi o Decreto 6.514/08, que estipulava multas para a falta de averbação de áreas da Reserva Legal.

Entre os anos de 1999 e 2012, os conflitos sobre o tema da regulamentação florestal se intensificaram. De um lado, defendendo alterações na legislação, estavam os proprietários rurais e os representantes do agronegócio, do outro lado, se encontravam os ambientalistas que apoiavam a regulamentação original. A discussão entre os dois polos de interesses repercutiu nacionalmente e causou manifestos que, em grande parte, eram divulgados pela mídia (HOROCHOVSKI *et al.*, 2016). Segundo Sauer e França (2012, p. 285):

Discussões e propostas de mudança no chamado Código Florestal, Lei 4.771 de 1965, se não foram as mais polêmicas, estiveram entre os assuntos de maior tensão e provocaram grandes enfrentamentos parlamentares em 2011 e 2012. O Projeto de Lei (PL) nº. 1.876, de 1999, apreciado na Câmara dos Deputados, e o Projeto de Lei da Câmara (PLC) nº. 30, de 2011, discutido no Senado Federal e novamente alterado pela Câmara dos Deputados, foram objeto de intensos debates, envolvendo, inclusive, diversos setores da sociedade brasileira, com ampla repercussão na opinião pública nacional.

Em relação à opinião pública, muitos defendiam a ideia de que a redução da preservação ambiental e o crescimento dos índices de desmatamento indicariam um retrocesso legal e ambiental, o que provocaria a sensação de impunidade em relação aos desmatadores no Brasil. Já para os ruralistas, termo utilizado para caracterizar o grupo de indivíduos do agronegócio, defendiam a alteração da lei quanto a concessão de anistia das multas e os embargos ambientais em suas propriedades, justificados por grandes prejuízos financeiros e a interrupção do ciclo econômico durante o processo de julgamento (HOROCHOVSKI *et al.*, 2016). Segundo o autor, a área do agronegócio possuía muitos representantes políticos que envolviam os próprios interesses particulares e defendiam a falta de embasamento científico para a existência do Código Florestal.

Horochovski *et al.* (2016) menciona a representatividade de alguns cientistas, no ano 2010, que defendiam a revisão do Código Florestal. Os cientistas ressaltavam a necessidade de atualização do regimento ambiental em relação aos novos processos de produção e competição do século XXI, uma vez que havia quase meio século desde o último Código Florestal de 1965. Para isso, a nova regulamentação deveria compor novas políticas harmônicas e inovadoras que atendesse o contexto nacional em busca do desenvolvimento nacional.

Em 2009, foi formada uma comissão especial – com grande participação de ruralistas – para analisar projetos de lei, representado pelo relator e deputado Aldo Rebelo (PCdoB – SP). Dentre as pautas lançadas estava o projeto de lei nº. 1.876/99, que alterava a legislação florestal e que, posteriormente, viria a ser aprovada e transformada após revisões em seu texto, no mais recente Código Florestal Brasileiro. Nascia então, no dia 25 de Abril de 2012, o novo Código Florestal, registrado sob a Lei nº. 12.651, considerado ainda arraigado de interesses econômicos (PRAES, 2012). Para Roriz e Fearnside (2015, p. 52), o Código Florestal de 2012 não foi criado para atender a realidade ambiental do país:

Enquanto a lei de 1965 e as alterações posteriores (leis, medidas provisórias e resoluções do CONAMA) promoveram maiores restrições ao uso dos recursos florestais, a legislação atual flexibiliza a proteção ambiental e cria um novo paradigma de adequação da regra à realidade e não da realidade à regra.

Segundo Praes (2012), a grande novidade do novo Código Florestal foi a implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), que corresponde a um cadastro obrigatório a ser realizado pelos detentores de propriedades rurais, cuja finalidade seria a de criar um banco de informações para controle e gestão do Estado sobre o uso do solo e sua ocupação. A autora ainda menciona que a Lei nº. 12.651/12, em seu artigo 42, estabelece a continuidade ao Código Florestal de 1965 no que diz respeito a aplicação de penalidades referentes ao desmatamento sem autorização ou licenciamento. Ressalta-se que esta fiscalização é alvo de muitas polêmicas, principalmente em relação a sua gestão eficaz e interesses envolvidos.

Observa-se que o Código Florestal de 2012 ainda é objeto de alterações, no intuito de se adequar a realidade brasileira. O desafio maior é justamente adequar os pilares social, econômico e ambiental de forma justa e que venha conciliar os interesses de preservação dos recursos naturais com o desenvolvimento econômico do país. Infelizmente, o surgimento do novo Código Florestal não foi caracterizado pela adoção de grandes mudanças em relação ao Código Florestal de 1965. Há uma percepção de que houve alterações mínimas no regimento que atendessem às necessidades ambientais do país em detrimento dos interesses de grupos econômicos de forte influência política (PRAES, 2012).

2.1.2 O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC): origem e características

A perda de espécies da fauna e flora tem se evoluído na medida que a urbanização e industrialização vem se expandindo no decorrer da história humana. Para muitos cientistas, uma das formas mais concretas na tentativa de reverter esse quadro evolutivo de depredação dos recursos ambientais é a criação de áreas territoriais com formas especiais de proteção, como as unidades de conservação e os demais espaços territoriais de relevante atenção para preservação (GODOY; LEUZINGER, 2015).

Em termos de riqueza natural, Cunha, Oliveira e Barbalho (2017, p. 2) mencionam o Brasil como o país que abriga a maior biodiversidade do mundo:

O país possui 56 mil espécies de plantas com 22% do total de 250 mil plantas existentes em todo o planeta. A riqueza animal é representada por 524 espécies de mamíferos, 70 espécies de pássaros da ordem psittaciformes (araras, papagaios e periquitos) mais de três mil espécies de peixes de água doce e algo entre 10 e 15 milhões de espécies de insetos (a grande maioria ainda não foi descrita pela ciência).

Os autores relatam que a referida biodiversidade vem sendo ameaçada pelo ser humano através da destruição do habitat das espécies, o uso sem controle dos recursos naturais,

aumento populacional, pobreza generalizada, erros envolvendo formas de florestamento e da agricultura sustentável, entre outras causas.

Segundo Schenini, Costa e Casarin (2004), o primeiro parque nacional no Brasil criado foi no ano de 1937, no Rio de Janeiro, durante o período de vigência do Código Florestal de 1934, tendo sido denominado Parque Nacional do Itatiaia. Conhecidas a princípio pelo termo genérico de unidades de conservação, outras áreas de preservação foram surgindo com o passar dos anos, sendo delimitadas sem embasamento técnico ou científico. As referidas unidades de conservação eram, muitas vezes, originadas por aspectos de beleza natural ou interesses políticos, o que indica a gestão ineficiente das áreas destinadas a preservação.

O termo “unidades de conservação” foi utilizado pela primeira vez em documento oficial publicado no ano de 1979, com o estudo intitulado “Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil”, apresentado pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF em parceria da Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza – FBCN (PECCATIELLO, 2011). Este, por sua vez, foi elaborado em função do desenvolvimento do conhecimento científico, político e técnico para a construção de um sistema de unidades de conservação no Brasil (SCHENINI; COSTA; CASARIN, 2004).

O Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil teve uma nova versão revisada no ano de 1982 e dentre os objetivos estabelecidos destacou-se a realização de inventário nacional com critérios técnicos e científicos para o direcionamento de possíveis áreas para criação de unidades de conservação e a proposta de várias ações necessárias para a implantação da estrutura de um sistema (SCHENINI; COSTA; CASARIN, 2004).

Diante da pouca efetividade do Plano de 1982, no que diz respeito à gestão e consolidação das unidades de conservação, o IBDF solicitou no ano de 1988, novos estudos sobre essa temática para a Fundação Pró-Natureza (FUNATURA), com finalidade de se tornar um anteprojeto de lei. No ano seguinte, o projeto finalizado foi entregue ao IBAMA, tendo como proposta importante a criação de unidades de conservação distribuídas em nove categorias, organizadas em três grupos: Proteção Integral, Manejo Provisório e Manejo Sustentável. Entretanto, somente em 1992 que o anteprojeto se tornou Projeto de Lei nº. 2.892/92 e foi encaminhado para o Congresso Nacional para aprovação (MEDEIROS, R., 2006).

Após oito anos da elaboração de um sistema adequado, que regulamentasse as unidades de conservação, e após um extenso processo de avaliação perante os órgãos públicos, cria-se então, no ano de 2000, a Lei nº. 9.985, conhecida como o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Alguns dos motivos para o extenso período de instituição da lei foram

os debates polêmicos acerca das indenizações para as desapropriações nas áreas a serem protegidas, a participação da população na criação e gestão das unidades de conservação, entre outras questões envolvendo as populações tradicionais. Sobre o resultado final, o SNUC foi apresentado mantendo alguns aspectos preservacionistas e tradicionais indicados na proposta encaminhada pela FUNATURA, em 1989 (PECCATIELLO, 2011).

O SNUC veio estabelecer normas para criação, implantação e gestão das unidades de conservação, sendo definida, segundo a Lei 9.985/00, cap. 1, art. 2º, inciso I, como o:

[...] espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção [...].

De acordo com o SNUC, os tipos de unidades de conservação foram divididos em dois grupos principais quanto ao seu uso: Unidades de Proteção Integral – que permitem apenas o uso indireto dos recursos naturais, salvo os casos previstos em lei – e as Unidades de Uso Sustentável – que relaciona o equilíbrio entre o uso sustentável de parte dos recursos naturais com a conservação da biodiversidade do ambiente. Para Medeiros (2006), a divisão dos dois grupos buscou gerenciar os tipos distintos de áreas de proteção que são alvos de disputa de interesses.

Cada tipologia de unidade de conservação possui características próprias e formas de preservação diferenciadas. A Lei 9.985/00, em seu art. 8, menciona as classificações das Unidades de Proteção Integral: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Nacional e Refúgio de Vida Silvestre. Já no grupo das Unidades de Uso Sustentável, o art. 14 é subdividido em: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural (BRASIL, 2000). A Tabela 1 apresenta a distribuição de unidades de conservação no Brasil.

Tabela 1 - Unidades de Conservação em conformidade com o SNUC

Tipo / Categoria	TOTAL	
Proteção Integral	Nº	Área (Km²)
Estação Ecológica	95	119.624
Monumento Natural	56	116.433
Parque Nacional / Estadual / Municipal	455	363.545
Refúgio de Vida Silvestre	72	6.367
Reserva Biológica	64	56.208
Total Proteção Integral	742	662.176
Uso Sustentável	Nº	Área (Km²)
Floresta Nacional / Estadual / Municipal	108	314.015
Reserva Extrativista	95	154.967
Reserva de Desenvolvimento Sustentável	39	112.447
Reserva de Fauna	0	0
Área de Proteção Ambiental	346	1.296.319
Área de Relevante Interesse Ecológico	57	1.145
RPPN	922	5.728
Total Uso Sustentável	1567	1.884.620
Total Geral	2309	2.546.797
Área Considerando Sobreposição Mapeada	2309	2.499.567

Fonte: Adaptado Ministério do Meio Ambiente (2019).

O SNUC é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), tendo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como responsável pelo acompanhamento da implantação do sistema e como órgãos executores o Instituto Chico Mendes e o IBAMA. Portanto, a gestão se baseia em relação ao conjunto das unidades de conservação municipais, estaduais e federais que compõem o SNUC (BRASIL, 2000).

Segundo o artigo 4º da Lei 9.985/00, o SNUC possui os seguintes objetivos:

- I - contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais;
- II - proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional;
- III - contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais;
- IV - promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais;
- V - promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento;
- VI - proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica;
- VII - proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural;
- VIII - proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos;
- IX - recuperar ou restaurar ecossistemas degradados;
- X - proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental;
- XI - valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica;

- XII - favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico;
- XIII - proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente.

Para auxiliar a gestão das unidades de conservação e promover a transparência dessas áreas consideradas como patrimônio natural nacional, foi criado pelo Ministério do Meio Ambiente o Cadastro Nacional das Unidades de Conservação (CNUC). O CNUC representa dados oficiais de todas as unidades de conservação registradas no país, dispostas em portal eletrônico e de livre acesso aos cidadãos, contendo, entre outras informações, as ações implementadas nas referidas áreas de proteção, sejam elas situadas em locais públicos ou privados. Através do portal eletrônico pode-se também retirar relatórios e dados oficiais de cada estado federativo, desta forma representa um avanço quanto a transparência pública (LEITE; ARAÚJO; DUARTE, 2018).

Para Medeiros (2006), embora o SNUC tenha sido avaliado como um avanço no que diz respeito a proteção das unidades de conservação, ele não conseguiu integrar completamente em seu sistema todas as tipologias existentes no país. Outras tipologias de unidades de conservação não foram especificadas em seu texto, mas continuaram a existir, como por exemplo, as Reservas Legais e as Áreas de Preservação Permanente. Portanto, estão sujeitas aos mesmos problemas históricos de gestão e não estão inseridas nas ações de abordagem integrada com as unidades de conservação. O autor ainda aponta a necessidade de se realizar uma análise dos objetivos pretendidos e alcançados com a instituição da lei, com o propósito de se efetuar uma revisão da legislação.

No tópico a seguir, será apresentada a Área de Proteção Ambiental, objeto de destaque do estudo. O conteúdo abordará os aspectos da APA do Alto do Mucuri no intuito de instigar o leitor a conhecer melhor as riquezas presentes e os anseios da referida área de preservação ambiental.

2.2 Área de Proteção Ambiental do Alto do Mucuri

A Área de Proteção Ambiental (APA) é uma unidade de conservação de Uso Sustentável definida pelo SNUC como:

[...] uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

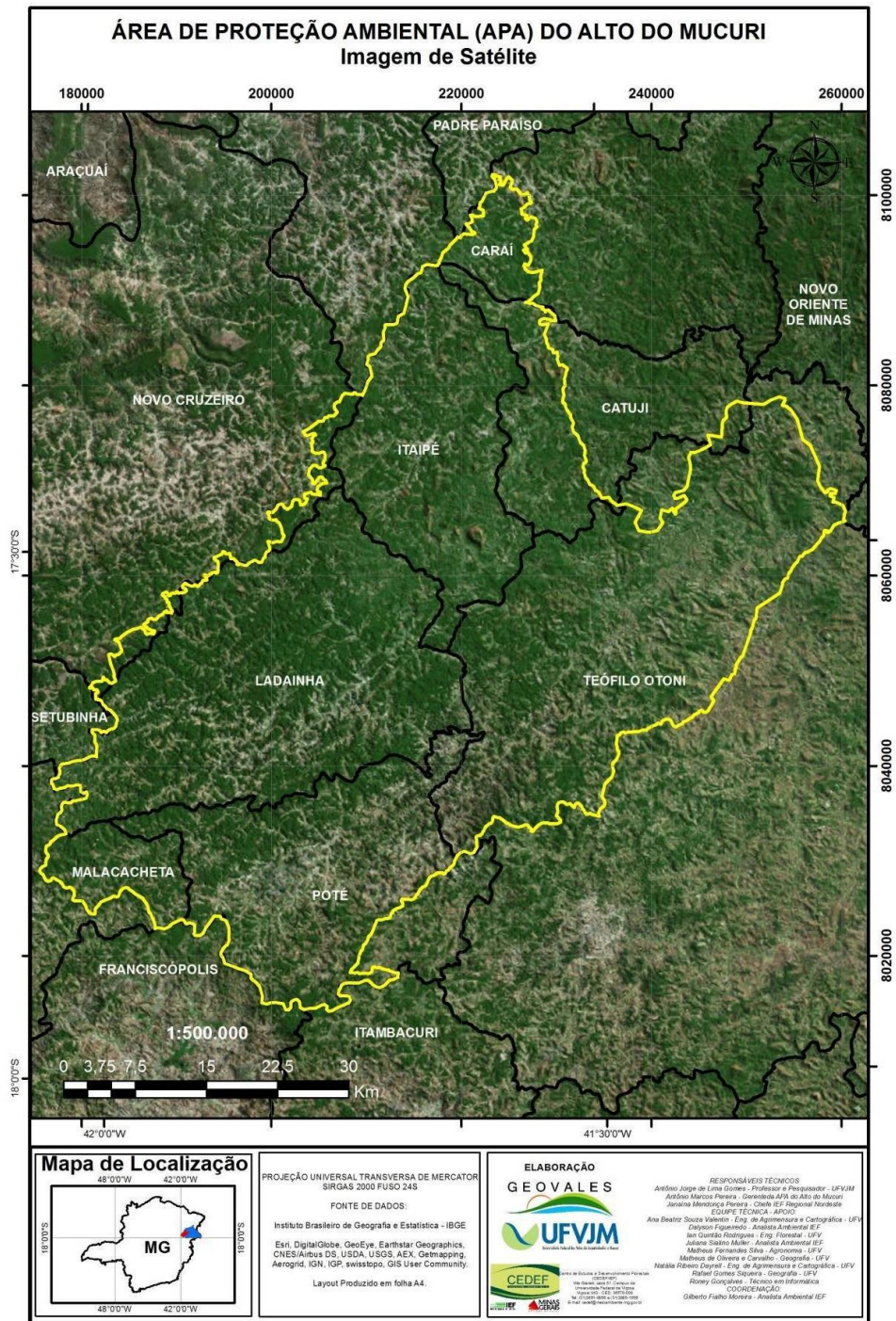
§ 1º A Área de Proteção Ambiental é constituída por terras públicas ou privadas. (BRASIL, 2000, art. 15).

A APA integra a relação do ser humano com a natureza e, portanto, admite a presença humana em seu território. Respeitando o regimento legal que define esse tipo de unidade de conservação, a área de proteção permite a visitação pelo público e a realização de pesquisas científicas, além de autorizar aplicação de restrições quanto ao uso dos recursos naturais nas propriedades privadas que nela estão inseridas (BRASIL, 2000).

No Brasil, existem cadastradas, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2019b), o número de 346 unidades de APA, cerca de 22,08% (1.296.319 km²) em relação ao total de unidades de conservação do Grupo Uso Sustentável. Desse número, Minas Gerais participa com 37 unidades (10,69% do total brasileiro) constituídos principalmente por biomas Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga.

A APA do Alto do Mucuri foi criada através do Decreto nº. 45.877, no dia 30 de dezembro de 2011, e está compreendida em uma área de 325.148,8883ha, como mostra o Mapa 01. Localizada no Vale do Mucuri em Minas Gerais, a referida unidade de conservação abrange oito municípios mineiros: Carai, Catuji, Novo Cruzeiro, Malacacheta, Poté, Teófilo Otoni, Itaipé e Ladainha, sendo os dois últimos totalmente inseridos na circunscrição da unidade (MINAS GERAIS, 2011).

Mapa 1 - Localização da APA do Alto do Mucuri



Fonte: (PEREIRA, 2016).

Com a publicação do Decreto nº. 45.877/11, a competência para administração e implantação foi direcionada ao Instituto Estadual de Florestas (IEF), no intuito auxiliar a unidade de preservação a atingir seus objetivos, definidos no art. 3º:

- I - proteger e recuperar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas;
- II - proteger os solos, a fauna e a flora e promover a recuperação das áreas degradadas e a conectividade entre fragmentos florestais; e

III - promover atividades econômicas compatíveis com a qualidade ambiental desejável para a região. (MINAS GERAIS, 2011, art. 3º).

A APA do Alto do Mucuri se destaca pela grande concentração do bioma Mata Atlântica, esta considerada um ecossistema tropical que vem sendo devastada ao longo dos anos pela ação humana (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019b). A Mata Atlântica é responsável pela produção, regulação e abastecimento de água, equilíbrio climático, fertilização e proteção do solo, fornecendo serviços essenciais para os 145 milhões de brasileiros residentes (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019c). Dentre as formações florestais de destaque na APA do Alto do Mucuri e que são nativas da Mata Atlântica está a fitofisionomia de Floresta Estacional Semidecidual, caracterizada pela perda de grande parte das folhagens das árvores que a compõem durante períodos de estiagem e a grande concentração de nutrientes no solo, mecanismo de proteção ao clima agressivo (PEREIRA, 2016).

De acordo com Felipe, Bueno e Costa (2009, p. 2.714), a região se destaca pela recarga hídrica da bacia do rio Mucuri: “É formada pela confluência do rio Mucuri do Norte, com nascentes no município de Ladainha, e do rio Mucuri do Sul, com nascentes no município de Malacacheta, e abrange aproximadamente 14 mil km² do território mineiro”. A bacia do rio Mucuri interliga 16 municípios de Minas Gerais e um município da Bahia. Sob aspecto social e econômico, as atividades predominantes da APA do Alto do Mucuri estão relacionadas à agropecuária realizadas em propriedades rurais, constituídas principalmente por pequenos agricultores familiares com pouco acesso à tecnologia e crédito de financiamento das atividades (PEREIRA, 2016).

De acordo com Pereira (2018), um dos avanços para fortalecimento da APA do Alto do Mucuri foi a realização do seu Plano de Manejo, iniciado em agosto de 2016 e finalizado em setembro de 2017. A implantação do Plano de Manejo é importante por ser um documento elaborado de forma participativa e que define normas que delimitam o gerenciamento da unidade de conservação, tais como a forma de manejo dos recursos naturais e a sua estrutura. O Plano de Manejo da APA do Alto do Mucuri contou com a participação de vários agentes sociais, como representantes do Poder Público Municipal, Instituições de Ensino, Organizações Não Governamentais, Sindicatos, Associações, entre outros (PEREIRA, 2018).

Para Pereira (2018), a APA do Alto do Mucuri apresenta alguns desafios a serem superados, como problemas gerados no processo de fiscalização, influências da cultura e tradição local, intervenções ambientais ilegais, posse e distribuição das propriedades privadas, dentre outros. Desta forma, percebe-se que alguns dos desafios mencionados partilham com a mesma situação nacional vivenciada, ou seja, a dificuldade em manter participação ativa da

população, superação dos obstáculos culturais e de comunicação e os conflitos referentes a posse de terras no processo de criação de unidades de conservação.

O incêndio florestal é um dos desafios que ganha destaque nesta problemática, sendo necessário a discussão dos elementos envolvidos desde sua formação até alternativas para contenção. No tópico a seguir, será abordado a relação do incêndio florestal e a ferramenta do ROI utilizada no combate de incêndios florestais.

2.3 Incêndios Florestais e o Registro de Ocorrência de Incêndios (ROI)

Para alguns ecossistemas, o fogo gerado de forma natural se configura como um aspecto essencial para o crescimento da biodiversidade na natureza, pois contribui nos aspectos físicos e biológicos do ambiente, no processo de renovação dos recursos naturais, na modelagem de paisagens e atuação no ciclo global de carbono. Quando esse fogo é provocado pela combustão descontrolada e sem limites de propagação, resultando no consumo de recursos naturais de forma livre, ocorre o chamado “incêndio florestal” (SILVA, 2017).

Nos últimos anos, a mídia global tem relatado diversos desastres envolvendo incêndios florestais, intensificadas pela seca extrema e mudanças climáticas. Esses eventos normalmente provocam impactos socioambientais e econômicos em um país e estão cada vez mais visados como objeto de estudo científico. Os riscos da ocorrência de incêndio descontrolado demandam gestão eficiente que abrange uma cadeia de responsabilidade do nível macro ao micro, ou seja, do âmbito nacional para o local (ANDERSON *et al.*, 2019).

Para Anderson *et al.* (2019), o risco pode ser identificado através da relação da ameaça, vulnerabilidade, poder de prevenção e resposta. A ameaça pode ser originada por fenômeno natural (como por exemplo, terremoto, furacão, pouca chuva), por condição biológica (vírus, bactéria, etc), pela forma antrópica (o fogo descontrolado) e pelo meio tecnológico (radioatividade, vazamento químico, entre outros). A vulnerabilidade está associada à potencialidade de determinada área sofrer danos; o poder de prevenção ligado às políticas públicas para extinção dos eventos danosos ao meio ambiente e a resposta relacionada aos mecanismos para combate a incêndios que vão desde o treinamento de brigadistas para atuação *in loco* até a disseminação da educação ambiental (ANDERSON *et al.*, 2019).

Os incêndios florestais castigam anualmente milhares de hectares de vegetação natural dos países. Como exemplo, pode ser citado Portugal, considerado um dos países com maiores ocorrências de incêndios florestais na Europa. Segundo Beighley e Hyde (2018, p. 7):

Os estudos climáticos atuais projetam uma evolução ainda mais preocupante, particularmente em Portugal e outros países do sul da Europa. O aumento da temperatura e a diminuição da precipitação estão agora firmemente estabelecidos como o novo padrão e não mostram sinais de alteração no futuro próximo. Com efeito, o relatório mais recente do Centro Comum de Investigação da União Europeia prevê até o agravamento da situação na Península Ibérica. Estas profundas alterações dos padrões climatéricos e meteorológicos sazonais irão submeter a vegetação a um maior stress ambiental que, por sua vez, irá desencadear uma onda mais grave de incêndios florestais de maiores dimensões e com maior poder de destruição.

Nos estudos de Rodrigues (2009), é possível verificar a influência de determinadas características para avaliação dos incêndios florestais em diferentes países. No Quadro 1 são elencados alguns destes elementos apresentados pela autora como sistema de indexação.

Quadro 1 - Sistemas Internacionais de Indexação de Incêndios Florestais

(continua)

País	Características
Estados Unidos	Em 1964 foi criado o sistema nacional de indexação de perigo de incêndio (NFDR - Nacional Fire Danger Rating) relacionado ao cálculo dos componentes de ignição, de propagação e liberação de energia. Em 1978, o sistema foi atualizado e passou a mensurar diariamente os níveis da umidade relativa do ar, temperatura, nebulosidade, a velocidade do vento, as causas de origem humana e o declive (MACEDO <i>et al.</i> , 1987 <i>apud</i> RODRIGUES, 2009).
Canadá	No ano de 1970 foi instituído o Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) que utiliza principalmente os índices meteorológicos para análise do comportamento de incêndios: temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação. A situação meteorológica é complementada com outras características para análise, como por exemplo: tipo de combustível e declive do terreno (VÉLEZ <i>et al.</i> , 2000; WAGNER, 1987; MACEDO <i>et al.</i> , 1987 <i>apud</i> RODRIGUES, 2009).

(conclusão)

Espanha	Depois da criação dos Serviços de Incêndios Florestais da Espanha em 1955, adotou-se medidas de tratamento de incêndios florestais com influências nos sistemas de indexação dos países do Canadá e Estados Unidos. Desse modo, foram incorporados conceitos como índice de estiagem, queda pluviométrica, umidade relativa do ar, perigo de incêndio originados do Canadá; o índice de probabilidade de ignição e índice de alerta advindos dos EUA (VÉLEZ <i>et al.</i> , 2000; MACEDO <i>et al.</i> , 1987 <i>apud</i> RODRIGUES, 2009).
Austrália	São adotados variados tipos de sistema de indexação devido a diversidade climatológica e de vegetação do país. Cada indicador baseia-se nas regiões do país, com destaque para o índice de seca e o índice de perigo de incêndio. A análise destes índices contempla variáveis das condições de inflamabilidade do incêndio, pluviosidade, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade de propagação do incêndio (VÉLEZ <i>et al.</i> , 2000; WAGNER, 1987; MACEDO <i>et al.</i> , 1987; SOARES, 1972 <i>apud</i> RODRIGUES, 2009).
Portugal	Iniciou a análise do perigo de incêndio em 1960, pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), atual Instituto de Meteorologia. Primeiramente, utilizou-se a umidade relativa do ar e temperatura para cálculo do índice. Ao longo dos anos incluiu em sua análise outras características: velocidade e direção do vento, precipitação acumulada, além de variáveis auxiliares envolvendo a orografia, ocupação do solo, a demografia e infraestruturas. (IGEO, 2008; VIEGAS <i>et al.</i> , 1999; MACEDO <i>et al.</i> , 1987 <i>apud</i> RODRIGUES, 2009).

Fonte: (RODRIGUES, 2009).

No cenário brasileiro, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ganha destaque com uma metodologia difundida para monitoramento de incêndios florestais. Por intermédio de imagens de satélites capturadas diariamente, o INPE disponibiliza publicamente em portal eletrônico a detecção de focos de queima de vegetação. Desse modo, o portal eletrônico oferta, dentre outros produtos, dados temporais de focos de fogo, coordenadas geográficas, risco meteorológico de fogo, mapeamento de áreas queimadas (INPE, 2017) (INPE, 2020).

O incêndio florestal nas unidades de conservação é um dos fatores de riscos para o ecossistema, pois afeta tanto a manutenção natural como também a sua reconstituição florestal. As queimadas são responsáveis pela destruição da fauna, da flora, dos recursos hídricos e até mesmo do ser humano e são agravadas quando ocorrem em pequenos territórios, em locais onde a biodiversidade se torna mais sensível ao fogo, nas regiões onde estão presentes espécies vivas em extinção, e nos lugares afastados de cidades ou monoculturas agrícolas (MEDEIROS; FIEDLER, 2004).

Para Medeiros e Fiedler (2004), o ser humano é a principal causa dos incêndios florestais em unidades de conservação, ocasionadas normalmente pelo uso indevido do fogo para renovação de pastagens, limpeza de áreas para plantações e eliminação de pestes e ervas daninhas. Também estão englobadas nestas causas os indivíduos que não conhecem formas alternativas ao uso de queimadas, que desconhecem os períodos climáticos que favorecem a propagação do fogo e a queima controlada. Fazem parte, ainda, das intervenções ambientais ilegais os piromaníacos, os que utilizam do extrativismo ilegal como caçadores, pescadores, carvoeiros, os que soltam balões nos períodos festivos, entre outros.

De acordo com o IBAMA (2009), embora o fogo seja visto com restrições pelos órgãos ambientais brasileiros, o seu manejo controlado e adequado pode ser considerado uma prática sustentável para o meio ambiente. Cita-se o bioma Cerrado, que depende do fogo para o desenvolvimento de suas espécies e das áreas onde a queima controlada serve para evitar a ocorrência de incêndios florestais de grandes proporções. Para Mistry e Bizerril (2011), uma parcela das ocorrências de incêndios sem autorizações são realizadas em propriedades rurais e se devem à lentidão, burocracia e custos para se obter licenças para as queimadas controladas.

Para Silva (2017), o real custo econômico dos incêndios florestais são ainda desconhecidos, sendo a prevenção uma das melhores maneiras de redução de gastos. De acordo com UNEP (2002, *apud* Silva, 2017, p. 18):

Os efeitos dos incêndios não precisam ser confinados a uma área, mas podem afetar a saúde e a economia. É improvável que esses custos externos de incêndio, a exemplo dos dias de trabalho perdidos e da perda de produção, apareçam na contabilidade da região que sofreu o incêndio. Além disso, as consequências entre um incêndio e seus impactos negativos ainda são atrasados e não muito claros [...].

A prevenção está na compreensão de suas causas, portanto, realizar a análise dos dados históricos e estatísticos dos incêndios florestais permite compreender o comportamento das queimadas e melhorar a distribuição dos recursos de prevenção para se obter redução de perdas florestais e prejuízos financeiros. Dentro do mesmo contexto, Lima *et al.* (2018), destaca

a importância de se conhecer o perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação para traçar estratégias eficientes de prevenção e combate dos mesmos.

Segundo Lima *et al.* (2018, p. 114), um dos mecanismos para melhor compreensão das queimadas florestais em unidades de conservação é o Registro de Ocorrência de Incêndios (ROI):

Por meio dos ROI's, as unidades de conservação podem manter um banco de dados adequado sobre os incêndios florestais que ocorreram, conhecer o perfil dos incêndios e traçar melhores estratégias de prevenção e combate. Os ROI's contêm informações sobre a localização do incêndio, dados geográficos do terreno, dados meteorológicos durante o evento, polígono da área queimada, dados de combate, origem, causa e danos.

Dentre algumas características encontradas no ROI estão: o município e região da ocorrência de incêndio; o responsável, hora e data da identificação do evento; o tempo e quantidade de recursos humanos utilizados para o combate; as causas prováveis que deram origem ao fogo; o tipo e quantidade de vegetação desmatada; a identificação do proprietário; o relato de procedimentos para o combate do incêndio; polígonos e demais dados georreferenciados da localidade.

De acordo com Bontempo *et al.* (2011), os primeiros registros de eventos de incêndios florestais mencionados pelo IBAMA ocorreram por iniciativa das equipes atuantes em unidades de conservação, por volta do ano de 1979. Os relatórios de fiscalização, memorandos, relatos, entre outras fontes de informação foram obtidos até o ano de 1989 pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). Entretanto, foi a partir da criação do Sistema Nacional de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais (Prevfogo), instituída pelo IBAMA em 1989, que a compilação de dados de incêndios florestais obteve considerável avanço.

Observa-se que na década de 1980, o combate a incêndios florestais em unidades de conservação apresentava intensas dificuldades de execução das atividades de detecção, controle, rescaldo e vigilância dos incêndios. Aliado a esse fato, havia um número insuficiente de funcionários que atuavam nessas áreas, além de poucos equipamentos e ferramentas adequadas para o combate. A situação se agravava quando as queimadas se davam em unidades de conservação distantes dos postos de atendimento (MORAIS, 2004).

Nesse sentido, a criação do Prevfogo foi fundamental, pois foram acrescidos treinamentos e trocas de experiências para melhor qualificação do corpo técnico e funcionários das unidades de conservação. Com a colaboração de países desenvolvidos (Estados Unidos, Espanha, Chile e Canadá) foi possível ainda a capacitação de brigada voluntária (que

posteriormente se tornou remunerada e periódica), a inserção de novas técnicas, tecnologias de equipamentos e ferramentas de combate a incêndios florestais (MORAIS, 2004). Possibilitou também a elaboração de métodos para conscientização ambiental, como a criação de cartilhas educativas e a criação da primeira versão do ROI (BONTEMPO *et al.*, 2011).

O preenchimento regular e organizado do ROI, no rol de medidas relativas à implantação de novas tecnologias de informação e comunicação, se deu com a transformação do Prevfogo em um centro especializado do IBAMA, em 2001. A orientação do ROI é que ele seja confeccionado o mais breve possível, logo quando se inicia o incêndio florestal, no intuito de não haver perdas de informações relatadas. Os ROI's são elaborados pelo indivíduo que atua no combate das queimadas, normalmente feitas pelo gestor da unidade de conservação e brigadistas. Infelizmente, observa-se que muitos registros são emitidos com falta de informações e zelo, ocasionando informações incompletas nas ocorrências (BONTEMPO *et al.*, 2011).

No dia 28 de agosto de 2007 foi promulgada a Lei nº. 11.516, responsável pela criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, que assumiu as atribuições do Prevfogo referentes aos incêndios florestais. Entre outras finalidades, o ICMBio ficou responsável pelas atividades relacionadas a implantação, gestão, proposição, proteção, fiscalização e monitoramento das unidades de conservação, em consonância com o SNUC. O Prevfogo, por sua vez, atua nas unidades de conservação de forma cooperativa, dando suporte a eventos com a temática e apoiando o treinamento de brigadistas. Sendo assim, o ICMBio ficou encarregada por todo o processo de seleção e contratação de brigadistas (IBAMA, 2010).

No âmbito de Minas Gerais, importante mencionar o Decreto nº. 45.960, de 02 de maio de 2012, que dando continuidade ao revogado Decreto n. 44.043/05, instituiu a Força Tarefa Previncêndio (FTP) inserida no Programa de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais – Previncêndio. A FTP foi criada para atuar em incêndios florestais de unidades de conservação, principalmente nos períodos críticos que ocorrem, anualmente, entre junho a novembro e são caracterizados pelo clima seco, baixa umidade relativa do ar e ressecamento de vegetação. Conforme art. 2º, seus objetivos são:

- I - promover ações de prevenção e combate a incêndios florestais durante o período crítico com vistas a proteger:
 - a) unidades de conservação estaduais e seu entorno, excetuada a Reserva Particular do Patrimônio Natural; e
 - b) áreas de relevante interesse ecológico;

- II - estar permanentemente em condições de pronto emprego para desenvolver e apoiar as atividades de prevenção e combate a incêndios florestais durante o período crítico, nas unidades mencionadas no inciso anterior;
- III - auxiliar no controle do uso do fogo, por meio de monitoramento das queimadas controladas;
- IV - utilizar instrumentos de monitoramento, previsão climática e avaliação *in loco* para identificação das áreas de maior risco de ocorrência de incêndios florestais;
- V - coordenar ações de fiscalização e apoiar as de prevenção a incêndios florestais; e
- VI - assegurar as operações de combate a incêndios florestais, rescaldo e vigilância pós incêndio, necessárias para a garantia das perfeitas condições de sua extinção.(MINAS GERAIS, 2012, art. 2º)

Nesse contexto, pode ser observado que a aplicação do ROI nos últimos anos encontrou respaldo em políticas públicas e sofreu várias alterações na estrutura do formulário de preenchimento para se adequar a realidade (BONTEMPO *et al.*, 2011). Necessário destacar que após a implementação dos ROI's houve uma redução das ocorrências de incêndios florestais, embora não tenha resolvido o problema com as queimadas e não tenha sido amplamente adotada em todos os estados brasileiros (IBAMA, 2010).

A utilização dos ROI's como ferramenta de tecnologia de informação e comunicação pode colaborar no aperfeiçoamento do combate de incêndios, uma vez que as informações tendem a ser fluídas e serem trabalhadas para melhor proveito. Para Gomes e Longo (2020, p. 58806) “[...] com o advento da tecnologia da informação, tornou-se possível armazenar o que antes era feito apenas em documentos e mapas em papel, viabilizando a combinação analítica das diversas informações geográficas (geoprocessamento)”. O tópico seguinte esclarecerá a importância do fornecimento das TIC's para a sociedade e relatará um breve contexto da evolução do Governo Eletrônico no Brasil.

2.4 Governo Eletrônico

Para Valle (1996), a palavra “informação” nas últimas décadas deixou de significar apenas o processo de transmissão de dados e ganhou outro sentido, mesmo que inconsciente, para também atribuir significado para velocidade e tecnologia. As inovações na tecnologia de informação tornaram o tempo real e o distante mais próximo. O autor menciona que, mesmo sendo impossível conhecer todas as formas de tecnologia existentes, buscar se atualizar diante da rapidez e complexidade dos processos neste ambiente é necessário no cenário contemporâneo. A Tecnologia da Informação (TI) demonstra ser um caminho para atingir essa atualização, uma vez que potencializa a cognoscibilidade, transmissão e transferência de informações.

A Tecnologia da Informação, segundo Silva, Silva e Coelho (2016, p. 2), se refere a “[...] toda e qualquer tecnologia que gere o fluxo, o armazenamento ou o processamento de informações com o uso de softwares criados para diminuir o uso da mão de obra humana, fazendo com que o utilizador possa alcançar seus objetivos com maior facilidade”. Para Valle (1996, p. 2), o conceito de TI “pode ser entendida como os meios utilizados pelas empresas produtivas para alavancar e potencializar o processo de criação e desenvolvimento de capacitação tecnológica”.

Deriva-se também desse termo a Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) que utiliza de mecanismos tecnológicos com objetivo de abrir novos caminhos para a comunicação, sendo caracterizado pelo aperfeiçoamento e estreitamento das relações pessoais (SILVA; SILVA; COELHO, 2016). As TIC’s obtiveram destaque na Terceira Revolução Industrial ou Revolução Técnico Científica que se estende até os dias atuais e é conhecida por apresentar novos sistemas de produção e consumo, novas formas de organização (COELHO, 2001).

Com o desenvolvimento da TIC no Brasil houve um crescimento por parte da Administração Pública em criar programas para inserção da Sociedade da Informação (COELHO, 2001). Este tem a função de auxiliar a tomada de decisão organizacional através da gestão de informações dispostas em meio tecnológico ou não (REZENDE, 2007). No intuito de adaptar-se a essa tendência, tanto as transações públicas quanto as privadas baseadas na internet passaram a ser conhecidas como *e-business* ou negócios eletrônicos. Na Administração Pública precisamente, o processo de prestação de contas e informações de ampla divulgação ao público interessado (*stakeholders*) durante período integral ficou conhecido como Governo Eletrônico (COELHO, 2001).

O termo Governo Eletrônico surgiu na década de 1990 para tratar de serviços ou produtos oferecidos aos cidadãos pelo órgão público, por intermédio de plataformas eletrônicas, sem a necessidade de o indivíduo estar em locais e horários específicos. Dessa forma, o Governo Eletrônico é considerado uma forma de TIC, que conecta o setor público à sociedade, favorecendo a melhoria das prestações de serviços públicos, fortalecendo políticas públicas e facilitando a instituição da democracia em um país (BRAGA; GOMES, 2015). De acordo com Diniz *et al.* (2019, p. 27):

Além de ser uma das principais formas de modernização do Estado, o governo eletrônico está fortemente apoiado numa nova visão do uso das tecnologias para a prestação de serviços públicos, mudando a maneira pela qual o governo interage com o cidadão, empresas e outros governos.

A implantação do Governo Eletrônico no Brasil originou-se de um cenário de desgaste em meio a forma burocrática do Estado gerenciar e intervir no país e foi agravada com a crise fiscal dos anos 1980. O setor público viu a necessidade de implementar novas estratégias de atuação que garantisse resultados, eficiência, governança e melhor gestão pública perante o mercado. Dessa forma a adoção das TIC's significou o caminho para a modernização da gestão pública e melhor transparência do uso do recurso público (DINIZ *et al.*, 2009).

No dia 3 de abril de 2000, foi promulgado no Brasil o Decreto Federal que instituía o Grupo de Trabalho Interministerial (GTTI), considerado uma das primeiras ações para a criação do Programa de Governo Eletrônico do Estado. Sua finalidade era de realizar o diagnóstico das formas eletrônicas de interação no Brasil e propor novas políticas, diretrizes e normas que viabilizasse o seu desenvolvimento (BRASIL, 2000b). Por intermédio do GTTI foi identificado uma infraestrutura brasileira deficitária, composta por malhas de redes isoladas. Como resposta, suas atividades focaram, a princípio, em três temáticas de programa: a universalização de serviços, Governo ao alcance de todos e infraestrutura avançada (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO, 2019).

Dentre as estratégias de estruturação do Governo Eletrônico no Brasil pode ser mencionado a criação do Livro Verde pelo Programa Sociedade da Informação no Brasil e a elaboração da Proposta de Política de Governo Eletrônico para o Poder Público Federal, emitido pelo Comitê Executivo do Governo Eletrônico (CEGE). Salienta-se que para divulgação das medidas adotadas, o governo federal procurou inserir informações como legislação e histórico do comitê em portal eletrônico na internet (COELHO, 2001).

O Livro Verde foi lançado em setembro de 2000 pelo Ministério da Ciência e Tecnologia contendo metas para implantação do Programa Sociedade da Informação, objetivando incentivar o avanço da Sociedade da Informação no Brasil em todos os aspectos, através de ações direcionadas. Dessa forma, foram abarcadas medidas para crescimento do acesso, meios para inserção à conectividade, formação de recursos humanos, incentivo à pesquisa e desenvolvimento, comércio eletrônico e o desenvolvimento de novas aplicações. A proposta da implantação das ações do Livro Verde seria a de consolidar um plano definitivo para as atividades da Sociedade da Informação que daria origem a outro documento intitulado de Livro Branco (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2000).

Outro mecanismo adotado para ampliação da inclusão digital foi a criação do Modelo de Acessibilidade do Governo Eletrônico (e-MAG) no ano de 2005, que orientava a adequação dos portais e sítios eletrônicos às pessoas portadoras de necessidades especiais, garantindo o direito de acesso aos conteúdos disponibilizados eletronicamente. Importante

mencionar também o ano 2006, período que foi disponibilizado o Portal de Inclusão Digital – e que atualmente se encontra desativado – onde abordava assuntos relativos aos programas de governo de incentivo ao envolvimento tecnológico da população, sobretudo, as consideradas carentes (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO, 2019).

Em 2011, foi estabelecida a Lei nº. 12.527/11, conhecida como Lei de Acesso à Informação, que veio regulamentar a disponibilização das informações públicas aos cidadãos. No referido ano, houve outras iniciativas do governo federal para conectar o cidadão ao setor público. Cita-se acordos com prefeituras para aperfeiçoar a transparência pública em portais eletrônicos; a criação da Instrução Normativa nº. 01/2011 que veio regular o uso do *Software* Público Brasileiro como um bem público; a formulação do Portal Governo Eletrônico para reforçar a transparência governamental e o estabelecimento do Decreto nº. 7.579/11, que instituiu o Sistema de Administração dos Recursos de Tecnologia da Informação (Sisp), responsável por tratar de questões envolvendo a TI na administração direta, autárquica e fundacional do Poder Executivo Federal (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO, 2019).

No ano 2016, foi promulgado o Decreto nº. 8.638/16, que veio definir as estratégias, objetivos e metas de política de Governança Digital do Poder Executivo Federal, através da Estratégia de Governança Digital. Atualmente, o Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão disponibiliza o portal eletrônico Governo Digital, onde é possível encontrar ampla informação sobre Governo Eletrônico no Brasil, tais como legislações, informações sobre cursos, notícias, institucional, estrutura e programas. Aliado a essa ferramenta de informação, no país já se encontra disponibilizado para consulta pública vários outros sítios eletrônicos de órgãos governamentais, o que reforça a tendência das TIC's no Brasil.

No contexto ambiental, segundo Zorzal e Rodrigues (2017), a divulgação de informações no Brasil se intensificou a partir do evento Rio-92, ocorrido no Rio de Janeiro em 1992, em que o mundo se voltou para o país em busca por tratativas relativas ao convívio do homem com a natureza e seus recursos naturais. Dessa forma, o direito ao acesso à informação ambiental, de acordo com Martins (2018), se tornou um instrumento para adoção de políticas contra a degradação do meio ambiente e uma maneira de aproximação sustentável entre o homem e a natureza. Essa interação se torna um desafio quando se nota a necessidade de transformá-la em políticas públicas, mas o acesso à informação ambiental se configura em uma importante ferramenta de controle, participação e educação sobre recursos naturais.

Portanto, percebe-se uma pressão para as organizações se engajarem na transparência de informações quanto as políticas ambientais, seja através de sistema de gerenciamento ou de relatórios de impactos ambientais (ZORZAL; RODRIGUES, 2017). O setor público dispõe de algumas ferramentas eletrônicas para o repasse de informações como o *website* do Ministério do Meio Ambiente que apresenta informações como a Responsabilidade Socioambiental, Governança Ambiental, Biodiversidade, Áreas Protegidas, Água, Agenda Ambiental Urbana, dentre outros assuntos e programas de desenvolvimento envolvendo a temática. Observa-se que o referido portal eletrônico se torna o caminho para redirecionamento de vários outros *websites* que fornecem informações ambientais.

Destaca-se no Portal do Ministério do Meio Ambiente as informações de gestão de unidades de conservação. Nela se encontra um banco de dados robusto, contendo todo o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação do país, gerada de forma intuitiva por gráficos, mapas, painéis e informações descritivas sobre cada área de proteção governamental.

No âmbito de Minas Gerais, o *website* do órgão de meio ambiente é apresentado pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), o Instituto Estadual de Florestas (IEF), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). Nos endereços eletrônicos dos referidos órgãos mineiros são encontrados serviços disponibilizados aos cidadãos, informações e notícias sobre a competência de atuação de cada um para juntos, formarem o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sisema).

Uma das formas de Governo Eletrônico recentemente aberta para consulta pública é o projeto Mapbiomas, que atualmente está na sua versão 3.1 e consiste em um portal eletrônico atualizado com dados anuais mapeados da cobertura do uso do solo do Brasil. É um projeto originado de um seminário realizado no ano de 2015, em São Paulo, e que possui parcerias de diversas instituições, como ONGs, universidades e empresas de tecnologia. O seu uso está associado a compreensão da dinâmica do solo brasileiro e é caracterizado como uma rede colaborativa que envolve o conhecimento de vários especialistas em biomas, Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), ciência da computação, uso do solo e o sensoriamento remoto (MAPBIOMAS, 2019).

Para Matias, Antunes, Campos (2015), o Brasil ainda necessita de melhoras quanto a gestão das informações dispostas eletronicamente. Com a evolução das telecomunicações e da informática tem se notado mudanças nas estruturas sociais, econômicas e organizacionais da sociedade, mas percebe-se também a falta de informações precisas para a tomada de decisão.

Observa-se que a busca por informações, principalmente no âmbito municipal, não é amplamente acessível para consulta, já outras informações são difíceis de se localizar.

Este estudo faz uma reflexão sobre a melhor forma de aproveitamento dos ROI's enquanto ferramenta de TIC no país. Utiliza-se também da técnica de aprendizado de máquina como mecanismo computacional para análise do combate de incêndios florestais objetivando o retorno de serviço público com maior eficiência.

3 METODOLOGIA

De acordo com Cooper e Schindler (2016), no âmbito da Administração, o estudo utiliza-se de métodos científicos pautados em procedimentos sistemáticos, empíricos, dados confiáveis para redução de riscos na tomada de decisão, constituindo-se ainda como facilitador para sua reprodução. Para os autores, uma boa pesquisa necessita, dentre algumas características, de objetivos claros, pesquisa detalhada, planejamento minucioso, ética, respeito às limitações, procedimentos metodológicos adequados e inobservância de ambiguidades. Sendo assim, conhecer os métodos de uma pesquisa é fundamental para o bom andamento e discussão dos resultados.

Por envolver a coleta de dados, a observação e descrição de aspectos que compõem a amostra, o estudo pode ser visto como descritivo, onde são analisadas as características do objeto de análise (Barros; Lehfeld, 2007). Para Matias-Pereira (2016), a abordagem pode ser vista de maneira macro, como quantitativa, utilizando-se de meios estatísticos para se chegar a respostas indutivas sobre o comportamento das ocorrências de incêndios na APA do Alto do Mucuri. Para Cooper e Schindler (2016), este tipo de pesquisa procura gerar resultados precisos de determinado objeto. A coleta de dados, portanto, se deu a partir dos Registros de Ocorrência de Incêndios (ROI) gerados na APA do Alto do Mucuri, no período de 2014 a 2018.

Os ROI's refletem os danos ambientais e materiais empregados em incêndios florestais, sobretudo no período crítico, caracterizado pelo clima seco e pouca umidade do ar. Desse modo, se faz necessário estudar os aspectos que envolvem esses relatórios ambientais para melhor compreensão da situação na região. O período de cinco anos aborda o início do registro do ROI na referida unidade de conservação em 2014 até o término do exercício 2018, abrangidos pelos oito municípios inseridos na APA do Alto do Mucuri, localizados no Nordeste mineiro: Carai, Catuji, Novo Cruzeiro, Malacacheta, Poté, Teófilo Otoni, Itaipé e Ladainha.

Os Registros de Ocorrências de Incêndios no período analisado foram obtidos pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF), através do portal eletrônico de Acesso à Informação do Governo Federal. A solicitação, registrada sob o protocolo nº. 02100000001201970, foi efetuada no dia 31 de janeiro de 2019 e respondida no dia 26 de março de 2019. A quantidade de ROI's obtidos no período resultam 218 registros. Em função da existência de registros incompletos, foram considerados 138 registros para análise com a seguinte distribuição: 45 (2014), 36 (2015), 13 (2016), 7 (2017) e 37 (2018).

Foram incorporados na análise os dados sobre a cobertura florestal natural e agropecuária da região através do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo

no Brasil (MapBiomas) e dados climáticos e de poluentes do Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde (SISAM). Os dados estão disponíveis de forma transparente e de acesso amplo em portais eletrônicos das próprias organizações.

O MapBiomas é uma rede colaborativa de diversos especialistas, responsáveis pela geração de série histórica de mapas sobre cobertura e uso da terra no Brasil, com um dos objetivos de aplicar uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para reprodução de mapas que vão desde 1985 até datas atuais (MAPBIOMAS, 2019). O SISAM fornece informações sobre poluentes ligados a queimada, emissão urbana e industrial, monitoramento de focos de queimadas e dados meteorológicos, objetivando o apoio ao programa de saúde e apoio a estudos sobre a saúde humana (SISAM, 2020a). A junção destas ferramentas tornou-se fundamental para o alcance dos objetivos de maneira robusta e mais próxima a realidade vivenciada nos ROI's.

Realizada a coleta de todos os dados, foi possível relacionar as características das ocorrências de incêndios na região, sobretudo, no que diz respeito a identificação da variável dano ambiental. A variável dano ambiental foi obtida a partir dos dados do tempo de combate de incêndios florestais e a quantidade de hectares de vegetação desmatada sendo considerado neste estudo o fator chave para as características determinantes dos incêndios.

Dessa forma, através da técnica de classificação do tipo Árvores de Decisão utilizou-se o algoritmo de *Random Forest* ou *Random Decision Forest* (em português Florestas Aleatórias ou Florestas de Decisão Aleatórias) para predição sobre as ocorrências de incêndios, no intuito de identificar as variáveis determinantes do dano ambiental. O *Random Forest* é considerado um mecanismo de aprendizagem de máquina e sua utilização se deu por intermédio do software R Studio, versão 1.3.1073. Considerado um software de distribuição livre, o R Studio utiliza a linguagem R integrada em sua estrutura para a produção de gráficos e cálculos estatísticos.

Segundo Cortez e Morais (2007), a técnica *Random Forest* é um método importante de *Data Mining* (em português Mineração de Dados) derivado dos avanços da Tecnologia da Informação. Métodos de *Data Mining*, por sua vez, podem conter informações valiosas sobre tendências e padrões de dados para auxílio na tomada de decisão.

3.1 Aprendizagem de Máquina

A Aprendizagem de Máquina consiste em um sistema que utiliza algoritmos que tomam decisões baseadas em situações anteriores bem-sucedidas. Dessa forma, cria um mecanismo de aprendizado automático que permite chegar a resultados genéricos embasados em uma determinada amostra de dados (OSHIRO, 2013). Para Barbosa (2017), a aprendizagem de máquina pode ser classificada em dois tipos: não supervisionada e supervisionada. O tipo não supervisionado caracteriza-se por apresentar os dados brutos sem aspectos a serem previstos e são usados para compreender padrões em amostras, relações entre variáveis, identificando a estrutura dos agrupamentos. Já o tipo supervisionado admite a manipulação de dados e os algoritmos são utilizados para explicar a amostra. Neste estudo, foi utilizado a aprendizagem de máquina do tipo supervisionado, visando a busca dos elementos mais adequados para explicar as variáveis determinantes do incêndio florestal na APA do Alto do Mucuri.

3.1.1 Algoritmo *Random Forest*

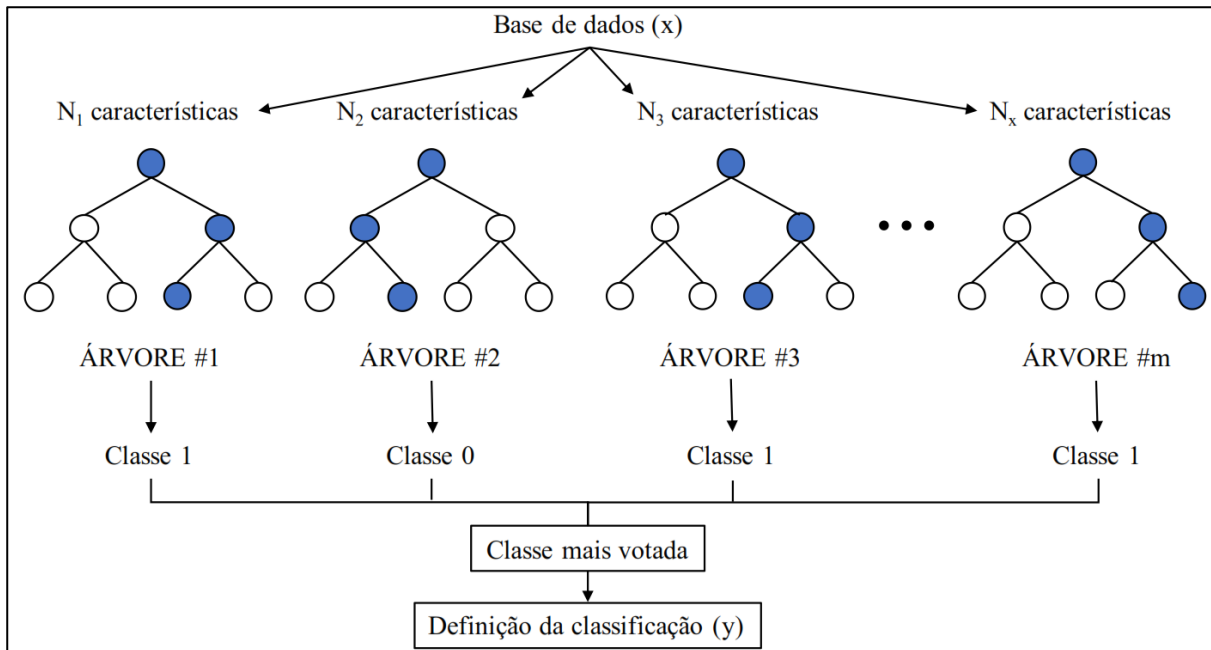
De acordo com Giannini (2012), o *Random Forest* é um importante algoritmo de aprendizagem de máquina que utiliza dados de presença e de ausência para elaboração de modelagens preditivas de distribuição, sendo o algoritmo representado como sequências finitas de comandos executados em linguagem computacional. Para se chegar a uma melhor compreensão do termo *Random Forest* é necessário conhecer alguns conceitos atrelados a sua utilização.

As Árvores de Decisão representam algoritmos de aprendizado de máquina indutivo, geralmente do tipo *Top Down*, ou seja, direcionadas do topo para suas bases. Como o próprio nome sugere, as Árvores de Decisão baseiam-se na escolha de um atributo que se ramifica em várias outras etapas de decisão possíveis, criando-se subconjuntos de especificação de dados (OSHIRO, 2013). Neste tipo de análise, o modelo poderá apresentar o nó folha que se corresponderá a uma classe ou o nó de decisão, representando um teste de decisão.

Os Métodos *Ensemble* são algoritmos de aprendizado que criam grupo de classificadores que realizam processo de votação das classes mais indicadas pelos classificadores para a criação de um novo exemplo. Os Métodos *Ensemble* mais conhecidos são o *Boosting*, o *Bagging* e o *Random Forest* (OSHIRO, 2013).

O algoritmo de *Random Forest* foi introduzido pelo autor Breiman (2001), que define o método como robusto, rápido e com um bom desempenho, se for comparado a alguns outros algoritmos. A estrutura do *Random Forest* pode ser representada na Figura 1.

Figura 1 - Funcionamento do método *Random Forest*.



Fonte: (KIRASICH; SMITH; SADLER, 2018).

Portanto, para Oshiro (2013, p. 14-15):

Random Forest é outro método *ensemble*, o qual constrói muitas árvores de decisão que serão usadas para classificar um novo exemplo por meio do voto majoritário. Cada árvore de decisão usa um subconjunto de atributos selecionados aleatoriamente a partir do conjunto original, contendo todos os atributos.

No presente estudo, o atributo determinante a ser utilizado será chamado de y e representará o nível de dano ambiental de cada ROI analisado. A partir deste atributo será analisado as demais características que envolve os incêndios florestais e que serão chamados de variável $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$. Portanto, será verificada a presença ou não de cada conjunto de variáveis em cada atributo y . A partir da tabulação dos dados será realizada a aplicação do algoritmo de *Random Forest* em uma determinada porcentagem de dados y_i, x_i , a ser definida de acordo com a quantidade de ROI's obtidos, que será chamada de Treino. Através do resultado do Treino será aplicado novamente a técnica nos ROI's restantes, chamados de Teste. Desse modo, o procedimento gerará o nível de confiança e de confirmação dos resultados

encontrados no Treino, sendo o método considerado adequado para análise das variáveis selecionadas na referida pesquisa.

3.2 Definição das Variáveis da Amostra

A base de dados da amostra é formada por 20 variáveis, sendo 01 variável dependente, chamada de Dano Ambiental, e 19 variáveis independentes, identificadas como características preponderantes para a explicação do Dano Ambiental. Para Hair Jr. (2009, p. 22), a variável dependente significa o “Efeito presumido, ou resposta, a uma mudança(s) na(s) *variável(veis) independente(s)*” e a variável independente a “Causa presumida de qualquer mudança na *variável dependente*”. Desse modo, os dois tipos de variáveis se tornam importantes para a análise de dados de uma amostra multivariada.

3.2.1 Formulação do Dano Ambiental

A formulação do dano ambiental baseou-se no atributo Tempo de Combate dos incêndios florestais (TC), indicada pelo total de minutos empregados para a debelação por combatente do incêndio e a Área de Vegetação Queimada (AQ), quantificada em perda de vegetação por hectares queimados. Os referidos dados são pré-requisitos no preenchimento do ROI e sua combinação nos informa que quanto maior for a razão entre AQ e TC, menor será a eficiência do combate aos incêndios e, conseqüentemente, maior o dano ambiental.

Para Lima *et al* (2018), a junção do AQ e TC indica uma alternativa para medir a eficiência do combate a incêndios florestais. Os autores buscaram sustento nas obras de Lima e Soares (1992) e de Santos, Soares e Batista (2006) para formular classes de distribuição para o AQ e TC (Tabela 2).

Tabela 2 - Classes do Tempo de Combate (TC) e Área de Vegetação Queimada (AQ) dos incêndios florestais.

Classe	AQ (hectares)	TC (minutos)
I	0 a 0,09	0 a 60
II	0,1 a 4,0	61 a 120
III	4,1 a 40,0	121 a 480
IV	40,1 a 200,0	Acima de 480
V	Acima de 200,0	-

Fonte: Adaptado de Lima e Soares (1992) e Santos, Soares e Batista (2006).

A partir destas informações, foram criados níveis de intensidade para a formulação do Dano Ambiental, baseados na razão da extremidade de cada classe TC e AQ (Tabela 3).

Tabela 3 - Classes do Dano Ambiental dos incêndios florestais da amostra.

Classe	Intensidade	AQ/TC (hectares/minuto)
I	Baixo	$Y \leq 0,0015$
II	Moderado	$0,0015 < Y \leq 0,0333$
III	Alto	$0,0333 < Y \leq 0,0833$
IV	Extremo	$0,0833 < Y$

Fonte: Dados da pesquisa.

As classes resultantes do Dano Ambiental são diretamente proporcionais aos valores elencados na Tabela 3, ou seja, a classe I corresponde ao nível mais baixo de dano ambiental e a classe IV ao nível mais alto a ser identificado. A partir da classificação adotada foram constatadas as seguintes intensidades nos ROI's analisados: 30,43% - Baixo (42), 48,55% - Moderado (67), 12,32% - Alto (17), 8,70% - Extremo (12).

3.2.2 Seleção das Variáveis Independentes

Quanto as variáveis independentes foram selecionadas para análise 19 tipos, que descrevem as condições do incêndio florestal na data de sua ocorrência e auxiliam a compreensão dos fatores de impacto para o desempenho de cada evento. Elas podem ser assim classificadas: 08 variáveis originadas do ROI, contendo dados gerais sobre a identificação e debelação do incêndio; 02 variáveis do MapBiomas, contendo dados de satélite sobre a cobertura vegetal e agropecuária da região; 09 variáveis do SISAM sobre as condições climáticas e poluentes na data do fato (Quadro 2).

Quadro 2 - Variáveis Independentes da Amostra

(continua)

Origem	Variáveis	Descrição	Referências
ROI	Município	Município atingido pelo incêndio florestal.	Vosgerau <i>et al.</i> (2006).
	Localidade	Tipo de localidade atingida pelo incêndio florestal.	Leal, Souza e Leal (2019).
	Causa	Causa identificada para a ocorrência do incêndio florestal.	Gonçalves, Lourenço e Silva (2007). Santos, Soares e Batista (2006)

(conclusão)

	Identificação	Informa se houve identificação do proprietário do local atingido pelo incêndio florestal.	Portal de Acesso à Informação do Governo Federal no ano 2019.
	Vegetação	Tipo de vegetação atingida pelo incêndio florestal.	Klechowicz et al. (2020). Vosgerau et al. (2006). Santos, Soares e Batista (2006)
	Mês	Mês da ocorrência do incêndio florestal.	Machado, Silva e Biudes (2014). Vosgerau <i>et al.</i> (2006). Santos, Soares e Batista (2006)
	Detecção	Tipo de detecção do incêndio florestal.	Portal de Acesso à Informação do Governo Federal no ano 2019.
	Horário da Detecção	Horário que foi realizado a detecção do incêndio florestal.	Anderson <i>et al.</i> (2017).
MapBiomias	Cobertura Agropecuária	Porção territorial identificada como agropecuária (em hectares).	Leal, Souza e Leal (2019). White e White (2016). Nunes <i>et al.</i> (2014).
	Cobertura Floresta Natural	Porção territorial identificada como formação florestal natural (em hectares).	Leal, Souza e Leal (2019). White e White (2016). Nunes <i>et al.</i> (2014).
SISAM	Concentração de CO	Concentração de Monóxido de Carbono (Parte por bilhão - ppb).	Carmo e Hacon (2013). Martins <i>et al.</i> (2009).
	Concentração de NO ₂	Concentração de Dióxido de Nitrogênio (Parte por bilhão - ppb).	Carmo e Hacon (2013).
	Concentração de O ₃	Concentração de Ozônio (Parte por bilhão - ppb).	Marcelino (2015). Carmo e Hacon (2013).
	Concentração de PM _{2,5}	Concentração de Material Particulado Inalado Fino (micrograma por metro cúbico - µgm ³).	Marcelino (2015). Carmo e Hacon (2013). Martins <i>et al.</i> (2009).
	Concentração de SO ₂	Concentração de Dióxido de Enxofre (micrograma por metro cúbico - µgm ³).	Marcelino (2015).
	Temperatura	Temperatura do ar (em grau Celsius).	Machado, Silva e Biudes (2014). Souza, Casavecchia e Stangerlin (2012).
	Umidade	Umidade relativa do ar (em porcentagem).	Souza, Casavecchia e Stangerlin (2012).
	Direção do Vento	Direção do vento (em grau).	Torres <i>et al.</i> (2016).
	Velocidade do Vento	Velocidade do vento (em metro por segundo - m/s).	Souza, Casavecchia e Stangerlin (2012).

Fonte: Dados da pesquisa.

Ressalta-se que as variáveis foram classificadas em: numéricas, em que a base de dados são números inteiros ou contínuos (grupos MapBiomias e SISAM), e, em classes, em que a base de dados são classificações que representam o tipo característico da variável (ROI). Portanto, a análise descritiva foi dividida em blocos, pautando-se por esta subdivisão para melhor compreensão.

A respeito dos dados extraídos do banco de dados do SISAM, salienta-se que tanto a análise da poluição atmosférica quanto das condições climáticas é importante na compreensão do comportamento dos incêndios florestais, seja na quantidade de material poluente produzido no ar, como também nas condições climáticas propícias para a geração ou intensificação de focos de incêndios. O Quadro 3 exemplifica as variáveis utilizadas para aplicação da análise.

Quadro 3 - Descrição das variáveis condições climáticas e poluentes atmosféricos.

(continua)

Variável	Descrição
Monóxido de Carbono (CO)	<p>Gás incolor, inodoro e insípido originado de queima/combustão incompleta de materiais como lenha e carvão quando há a insuficiência de oxigênio.</p> <p>Sua ocorrência costuma ser maior em períodos secos, ocasionados principalmente de queimadas e sua inalação pode ser fatal devido a redução do bombeamento de oxigênio na corrente sanguínea.</p> <p>Segundo a Resolução CONAMA n. 491 de 19/11/2018:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atenção: 15.000 ppb (média móvel de 8h) - Alerta: 30.000 ppb (média móvel de 8h) - Emergência: 40.000 ppb (média móvel de 8h)
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	<p>Formado a partir do NO, através da luz solar. Considerado um dos principais poluentes secundários do ar. Suas fontes naturais incluem incêndios florestais, calor gerado pelos relâmpagos e atividades microbianas do solo.</p> <p>Sua ocorrência é maior em períodos secos. A inalação do gás causa danos respiratórios e pode favorecer a formação de chuva ácida.</p> <p>Segundo a Resolução CONAMA n. 491 de 19/11/2018:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atenção: 600,9 ppb (média móvel de 1h) - Alerta: 1.201,9 ppb (média móvel de 1h) - Emergência: 1.595,4 ppb (média móvel de 1h)

(continua)

<p>Ozônio (O₃)</p>	<p>Originado da reação entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis liberados na queima incompleta e evaporação de solventes e combustíveis.</p> <p>São nocivas à saúde humana e a vegetação quando se encontram abaixo da estratosfera.</p> <p>Segundo a Resolução CONAMA n. 491 de 19/11/2018:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atenção: 101,9 ppb (média móvel de 8h) - Alerta: 203,9 ppb (média móvel de 8h) - Emergência: 305,8 ppb (média móvel de 8h)
<p>Material Particulado Inalado (PM_{2,5})</p>	<p>São partículas de material sólido ou líquido com diâmetro menor que 2,5 micrômetros. São encontradas na forma de poeira, aerossol, fumaça, entre outras e alcançam longas distâncias de dispersão.</p> <p>Sua ocorrência é maior em períodos secos, ocasionadas principalmente por queimadas e sua inalação pode causar danos respiratórios.</p> <p>Segundo a Resolução CONAMA n. 491 de 19/11/2018:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atenção: 125 µg/m³ (média de 24h) - Alerta: 210 µg/m³ (média de 24h) - Emergência: 250 µg/m³ (média de 24h)
<p>Dióxido de Enxofre (SO₂)</p>	<p>É um gás pesado, denso, incolor, não inflamável e tóxico. Pode ser originado de gases vulcânicos, combustão dos combustíveis que possuem enxofre, óleo diesel, óleo industrial e gasolina.</p> <p>É um componente para a formação da chuva ácida e responsável pela perda de visibilidade na atmosfera.</p> <p>Segundo a Resolução CONAMA n. 491 de 19/11/2018:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atenção: 800 µg/m³ (média de 24h) - Alerta: 1600 µg/m³ (média de 24h) - Emergência: 2100 µg/m³ (média de 24h)
<p>Temperatura</p>	<p>É a quantidade de calor que existe no ambiente, variável no tempo e no espaço.</p> <p>A temperatura do ar é resultante da radiação solar incidente ao longo do ano, movimentação de massas de ar, aquecimento diferencial da terra e da água, correntes oceânicas, altitude, posição geográfica do local onde está sendo mensurada.</p>
<p>Umidade Relativa do Ar</p>	<p>É a razão entre a pressão de vapor do ar e a pressão de vapor do ar obtida em condições de equilíbrio ou saturação sobre uma superfície de água líquida ou gelo.</p>

(conclusão)

Direção do Vento	Vento é o ar em movimento. A direção do vento indica o sentido da propagação do poluente. Indica a origem da massa de ar em graus (Azimute Geográfico). É uma das mais importantes referências para se acompanhar a dissipação ou concentração de poluentes em determinada área.
Velocidade do Vento	A velocidade do vento indica a rapidez com a qual ele se deslocará na atmosfera. É uma das mais importantes referências para se acompanhar a dissipação ou concentração de poluentes em determinada área.

Fonte: Adaptado do SISAM (2020b).

A partir do conhecimento das variáveis apresentadas é possível obter melhor entendimento do processo de análise amostral realizado nas seções seguintes.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Estatística Descritiva das Variáveis

Para Fonseca e Martins (2011, p.101), “como o próprio nome sugere, estatística descritiva se constitui num conjunto de técnicas que objetivam descrever, analisar e interpretar os dados numéricos de uma população ou amostra.” Para Costa (2015), encontra-se ainda na estatística descritiva a extração de informações como médias, taxas, índices e proporções, no intuito de serem demonstrados os fenômenos observados de forma sucinta. Portanto, na análise deste estudo estão envolvidas informações que buscam exprimir os comportamentos de variáveis relativas ao processo de pesquisa.

4.1.1 Dano Ambiental

Verificou-se nos ROI's analisados o total de 14.729,92 hectares de vegetação queimada, equivalentes a 20.630,14 campos de futebol (0,714 ha/campo). Esta quantidade de desmatamento representou o percentual de 4,53% de porção territorial em relação ao total da área delimitada na APA do Alto do Mucuri, previsto no Decreto de Minas Gerais nº. 45.877/11, referente a instituição da unidade de conservação (Tabela 4). Foram necessárias 9.864,61 horas (591.877 minutos) para o combate dos incêndios registrados durante o período de 2014 a 2018. Destes valores, o TC e AQ registraram, respectivamente, uma média de 71,48 horas e 106,74 hectares na APA do Alto do Mucuri.

Tabela 4 - Área Queimada (AQ) e Tempo de Combate (TC) na APA do Alto do Mucuri.

Ano	AQ (Hectares)	TC (Minutos)
2014	2.831,12	145.465,00
2015	9.647,12	259.877,00
2016	239,37	56.375,00
2017	37,57	17.830,00
2018	1.974,74	112.330,00
Total	14.729,92	591877,00
Média	106,74	4288,96

Fonte: Dados da pesquisa.

Na Tabela 5 pode ser visualizada a frequência da intensidade do Dano Ambiental ocorrida na APA do Alto do Mucuri ao longo dos 5 anos analisados. Observou-se que os níveis de intensidade baixo e moderado foram expressivos nos anos 2014 e 2018 respectivamente, representando o percentual de 78,98% em relação aos demais níveis. Os incêndios florestais

com Dano Ambiental obtiveram maiores ocorrências de nível baixo em 2018 (40,54% no ano), de nível moderado em 2014 (60% no ano), de nível Alto em 2015 (22,22% no ano) e de nível Extremo em 2015 (19,44% no ano).

Tabela 5 - Frequência da intensidade do Dano Ambiental da APA do Alto do Mucuri ocorrido no período de 2014 a 2018.

	2014	2015	2016	2017	2018	Total	Média
Baixo	10	5	8	4	15	42	8,4
Moderado	27	16	5	3	16	67	13,4
Alto	6	8	0	0	3	17	3,4
Extremo	2	7	0	0	3	12	2,4
Total	45	36	13	7	37	138	27,6

Fonte: Dados da pesquisa.

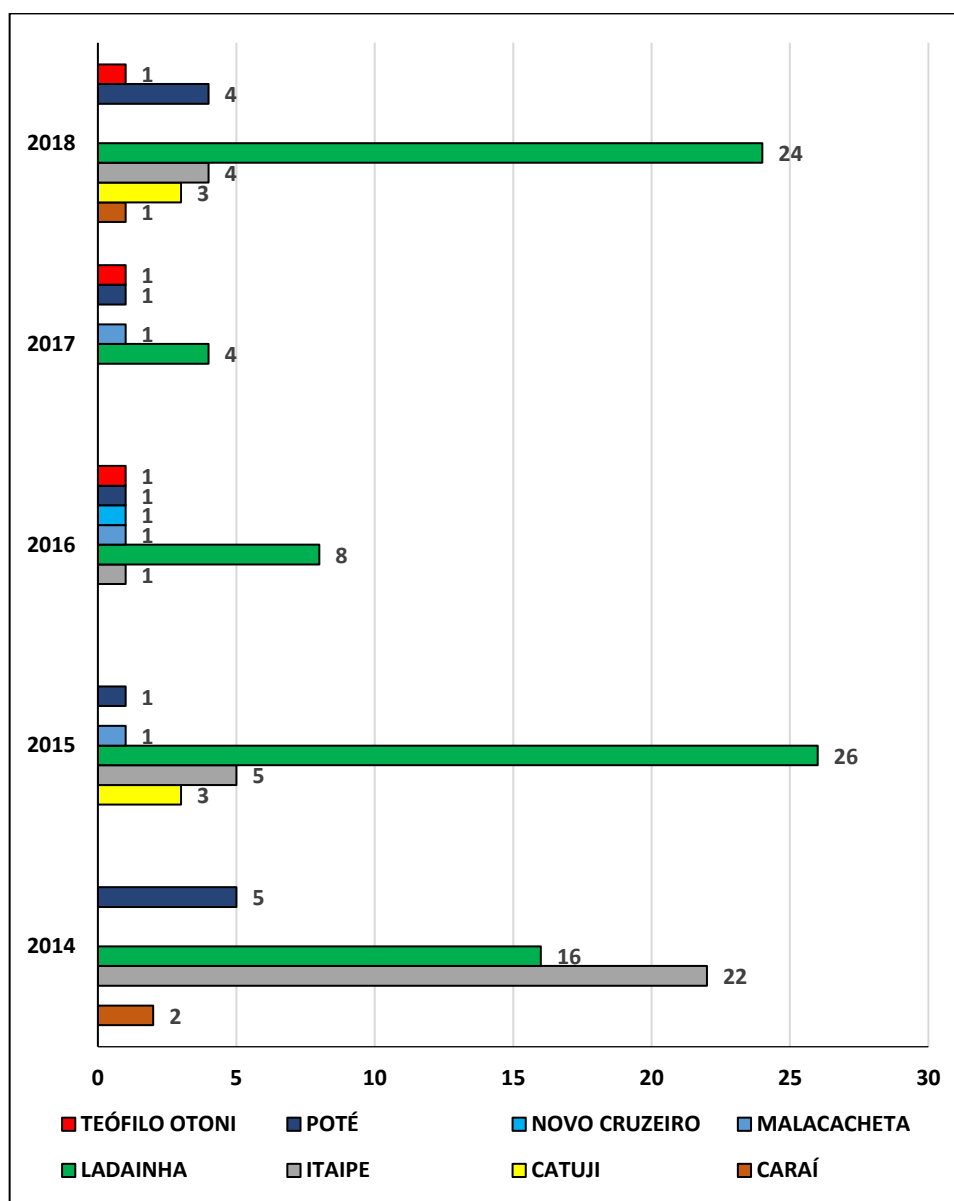
Embora o ano 2015 seja o terceiro maior em quantidades de ocorrências de incêndios, é possível distingui-lo como o período que obteve maior quantidade de ocorrências de incêndios com grandes proporções (alto e extremo). Em contrapartida, não houve registros do Dano Ambiental alto e extremo nos anos seguintes (2016 e 2017).

4.1.2 ROI

O formulário ROI vem sendo aperfeiçoado desde a sua origem na década de 1990, sendo considerado um documento sistemático e importante que registra incêndios em unidades de conservação. Alguns elementos contidos nos ROI's são dificilmente encontrados em outras fontes, pois algumas informações, como a logística de combate dos incêndios, são relatadas pelos próprios agentes atuantes. Por esse motivo, não podem ser substituídos inteiramente por outras formas de identificação dos incêndios, como por exemplo, os dados de satélites (BONTEMPO, 2011). O modelo do ROI utilizado no ano 2018 pode ser visualizado no Anexo A.

Feita esta explanação, torna-se imprescindível relatar os resultados descritivos obtidos a partir dos ROI's da amostra. Dentre os resultados, destacam-se os anos 2014 (45), 2018 (37) e 2015 (36) como sendo os maiores em registros de ocorrências de incêndios, respectivamente (Gráfico 1). O município de Ladainha obteve destaque na proporção de registros, representando 56,52%, seguido dos municípios de Itaipé (23,19%), Poté (8,70%), Catuji (4,35%), Caraiá (2,17%), Malacacheta (2,17%), Teófilo Otoni (2,17%) e Novo Cruzeiro (0,72%).

Gráfico 1 - Quantidade de ROI's da APA do Alto do Mucuri por município no período de 2014 a 2018

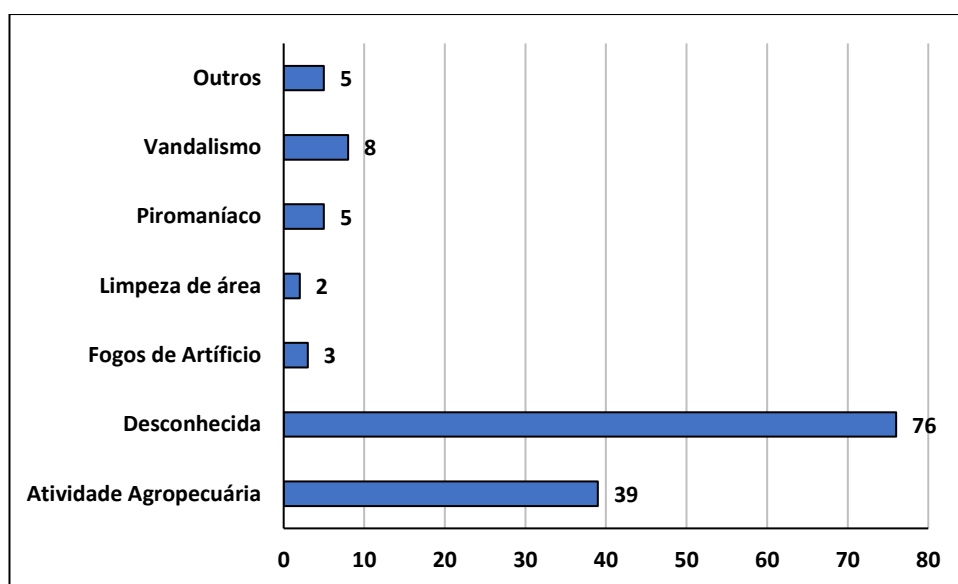


Fonte: Dados da pesquisa.

Em relação ao tipo de Localidade, 90,58% (125) dos registros ocorreram nas zonas rurais dos municípios, 6,52% (9) não foram informados e 2,90% (4) foram localizados em áreas urbanas. Segundo Medeiros e Fiedler (2004), Mistry e Bizerril (2011), parcela das ocorrências de incêndios ocorrem em áreas rurais e podem estar relacionadas à ação do homem para renovação de pastagens, limpeza para agricultura, caça de animais, extrativismo ilegal, contrabando de madeira ou utilização na fabricação de carvão. Este fato pode ser enfatizado ao analisar as principais causas de incêndios identificadas na região: 28,26% (39) são decorrentes

de atividades ligadas a agropecuária e 5,80% (8) a atos de vandalismo (Gráfico 2). O maior percentual é de causas desconhecidas (55,07%), constituindo potencial índice para uma alavancagem de ocorrências de incêndios provocados pelo ser humano.

Gráfico 2 - Causas de incêndios na APA do Alto do Mucuri por ROI, no período de 2014 a 2018.



Fonte: Dados da pesquisa.

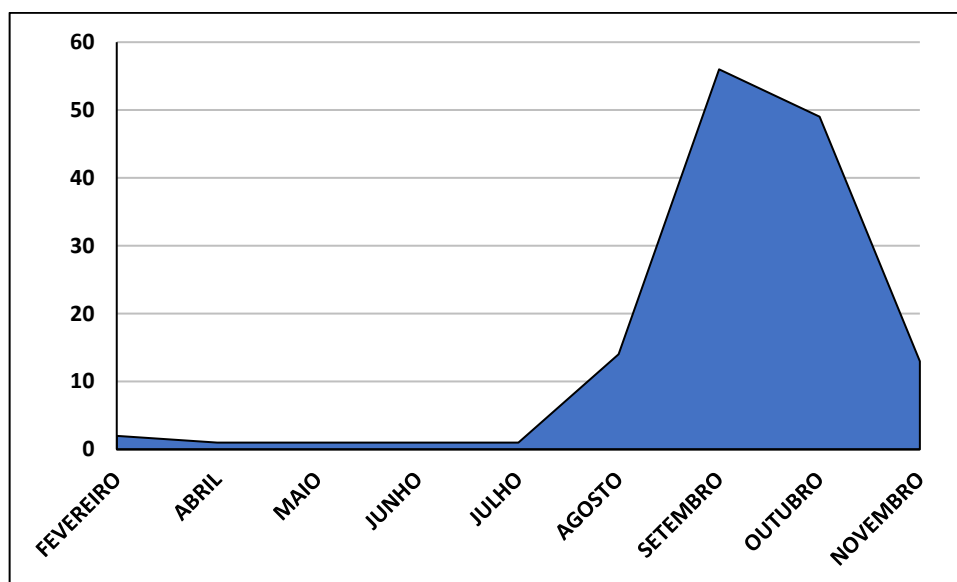
Foram ainda registrados nestas localidades a taxa de 44,98% de proprietários identificados, que podem ser traduzidos como uma taxa de localidades onde houve a aplicação de medidas para evitar reincidência de incêndios (aplicação de multas, atividades de conscientização, busca na identificação de infratores, etc).

No que diz respeito à vegetação desmatada, 94,93% (131) foi identificada como Floresta Estacional Semidecidual, tipologia do bioma Mata Atlântica encontrada em grande concentração na região da APA do Alto do Mucuri (PEREIRA, 2016). As demais vegetações apresentadas representaram 5,07% da amostra e podem ser caracterizadas como Gramíneas, Floresta Ombrófila, Floresta Estacional Decidual e regiões de regeneração de vegetação em estágio inicial.

Observou-se, no período amostral, níveis de ocorrências de incêndio que se coincidem com o período crítico encontrados na literatura. Para Santos, Souto e Souto (2019), o período de agosto a dezembro são os mais propícios a este tipo de evento, onde há a predominância do clima sazonal seco. No Gráfico 3 é possível verificar que os maiores registros de incêndios ocorreram entre os meses de agosto a novembro e abrangeram principalmente a estação da primavera. Estes 04 meses representaram 95,65% do total de registros, com destaque

para setembro e outubro que atingiram, respectivamente, picos de 40,58% (56) e 35,51% (49) sobre o total de registros.

Gráfico 3 - Ocorrências mensais de incêndios na APA do Alto do Mucuri, no período de 2014 a 2018.

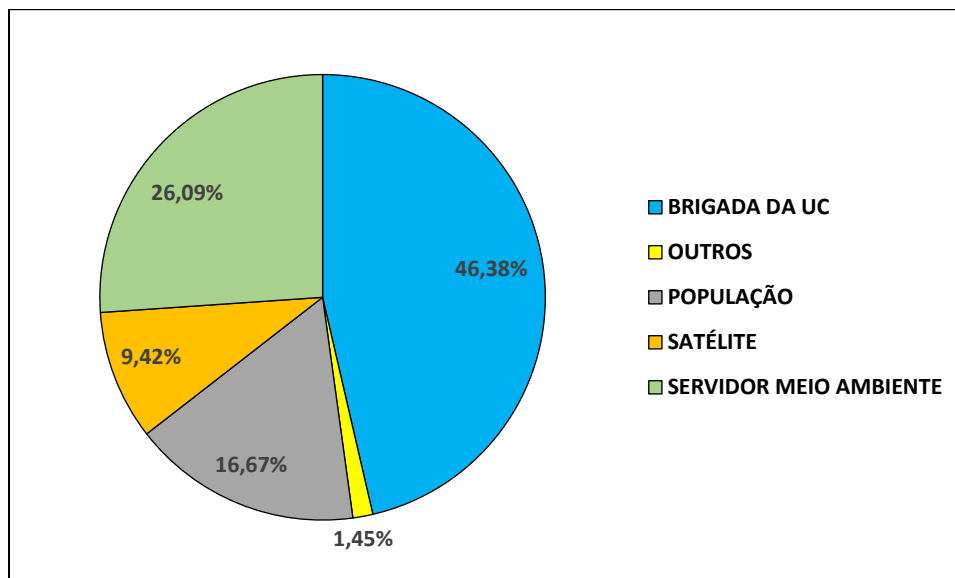


Fonte: Dados da pesquisa.

Nas ocorrências de incêndios se fez presente diversos tipos de combatentes, destaque para a brigada contratada. De acordo com Ramos, Fonseca e Morello (2016), a partir do programa de contratação de brigadistas criada pelo governo em 2001, foi possível perceber o crescimento dos resultados positivos a favor da proteção de unidades de conservação contra os incêndios. Este fato pode ser corroborado com a ação de indivíduos na detecção de incêndios na APA do Alto do Mucuri, principalmente no período crítico. Foram constatados 46,38% de focos de incêndios detectados por brigadistas da unidade de conservação e 26,09% por servidores do meio ambiente (Gráfico 4).

Durante a análise dos ROI foram observados que a atuação dos servidores do meio ambiente na região foram frequentes em boa parte do período de registros de incêndios. Situação justificada pelas atribuições de gestão da APA do Alto do Mucuri e pelas atividades que envolvem o próprio combate direto da propagação do fogo descontrolado. Por sua vez, os satélites contribuíram para identificar 9,42%, demonstrando ser uma ferramenta de extrema importância no reconhecimento de focos de incêndios.

Gráfico 4 - Identificação de incêndios na APA do Alto do Mucuri no período de 2014 a 2018.

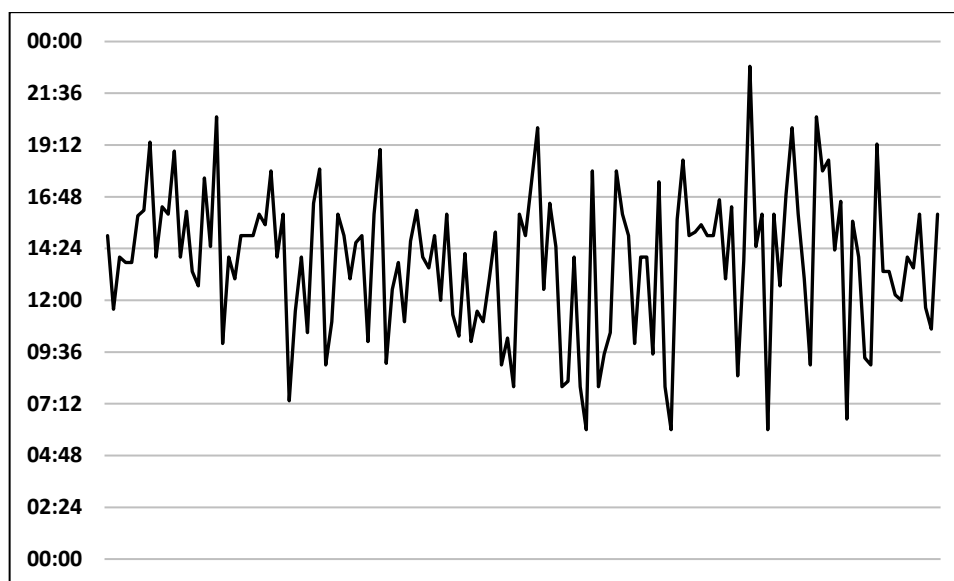


Fonte: Dados da pesquisa.

Ressalta-se o crescimento participativo da população residente da região na identificação de focos de incêndios. Embora 2014 não tenha registro de participação da população neste quesito, nos demais períodos foram obtidos uma atuação de 16,67% (2015), 15,38% (2016), 28,57% (2017) e 35,13% (2018) em relação ao total de ROI's anual.

As identificações dos focos de incêndios ocorreram em horários diversos, mas obtiveram maior frequência no período vespertino (Gráfico 5). Sua estatística descritiva revela o horário de identificação mínima de 06:00hs, máxima de 22:51hs, mediana de 14:00hs e média de 13:50hs.

Gráfico 5 - Desempenho dos horários de identificação de incêndios na APA do Alto do Mucuri no período de 2014 a 2018.



Fonte: Dados da pesquisa.

Na amostra analisada podem ser destacadas as ocorrências identificadas no período de 14:00h às 16:00hs com 27,54% (38); 16:00h às 18:00hs com 18,84% (26) e entre 12:00h às 14:00hs com 15,22% (21), horários que normalmente há maior incidência da temperatura.

4.1.3 MapBiomass

Os dados da cobertura e uso do solo anual dos municípios da APA do Alto do Mucuri foram colhidos do banco de dados do projeto MapBiomass, coleção 5.0. Estes dados indicaram a quantidade em hectares da cobertura florestal natural e agropecuária ocupada na região e sua estatística descritiva é representada na Tabela 6.

Tabela 6 - Estatística descritiva da cobertura de Floresta Natural e Agropecuária nos municípios da APA do Alto do Mucuri no período de 2014 a 2018 (em hectares).

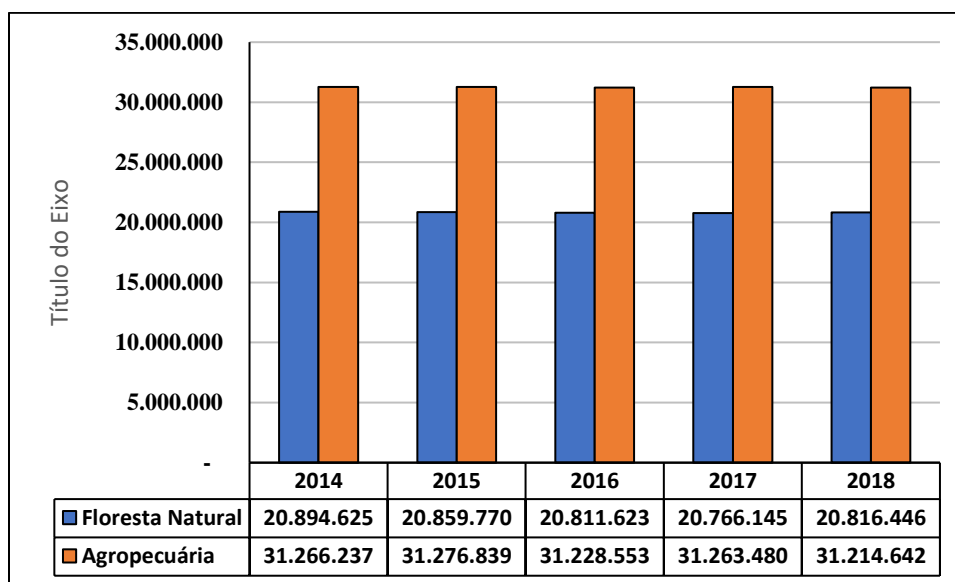
Variável	N	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão
Agropecuária	138	8.136,05	166.785,04	18.766,44	20.799,98	22.148,58
Floresta Natural	138	31.947,68	154.907,18	65.030,21	58.030,28	21.928,94

Fonte: Dados da pesquisa.

Ressalta-se que os dados de cobertura são municipais e extrapolam a área delimitada da APA do Alto do Mucuri, mas servem como parâmetro para compreensão do avanço ou retrocesso da vegetação natural e agropecuária nos municípios, uma vez que a

unidade de conservação tem influência nos dados auferidos. No Gráfico 6 é possível visualizar a proporção desses dois elementos nos municípios que abrangem a unidade de conservação.

Gráfico 6 - Cobertura total de floresta natural e agropecuária dos municípios que abrangem a APA do Alto do Mucuri (em hectares).



Fonte: Dados da pesquisa.

No Gráfico 6, verifica-se pouca variação de cobertura floresta natural e agropecuária no período analisado. Em relação a 2014, os dados revelam uma redução de 0,37% da área de floresta natural e 0,17% da área de agropecuária em 2018. Com exceção de Teófilo Otoni, todos os demais municípios da amostra obtiveram uma proporção maior de floresta natural se comparada à agropecuária da região.

4.1.4 SISAM

A poluição atmosférica é toda alteração das propriedades do ar que afetam de maneira negativa o bem-estar da sociedade. Como consequência da intensa emissão de poluentes atmosféricos produzidos pelo homem nos últimos anos, principalmente com o avanço industrial, pode-se dizer que o planeta Terra chegou ao estágio em que não se consegue realizar por completo a auto limpeza natural do ar (GUERRA; MIRANDA, 2011). Por sua vez, as condições meteorológicas também influenciam a poluição atmosférica, pois determinam o período que partículas poluidoras ficarão no ar, podendo ser alteradas, inclusive a composição, quando são envolvidas a temperatura, precipitação, velocidade e direção do vento. O clima também propicia ou não as condições necessárias para a geração de queimadas, como altas temperaturas e o clima seco (GUERRA; MIRANDA, 2011)

A partir da extração dos dados foi possível estabelecer a estatística descritiva das variáveis da poluição atmosférica e condições climáticas que colaboram para a ocorrência do incêndio florestal (Tabela 7). Conforme índices referenciais da Resolução CONAMA nº. 491 de 2018 (BRASIL, 2018), os valores de CO, NO₂, O₃ e SO₂ não atingiram ao menos o nível de Atenção, referentes às taxas de poluentes que demandam maior preocupação. Entretanto, poluentes como O₃ chegaram a registrar ocorrências próximas a este índice. Já o PM_{2,5} chegou ao nível considerado de Emergência dentre os ROI's analisados chegando à máxima de 679,60 µg/m³. Para Lazzari (2013), os efeitos nocivos da poluição atmosférica para o ser humano são encontrados mesmo dentro das normas previstas em lei, normalmente desenvolvidas em forma de doenças respiratórias.

Tabela 7 - Estatística descritiva das variáveis poluentes atmosféricos e condições climáticas.

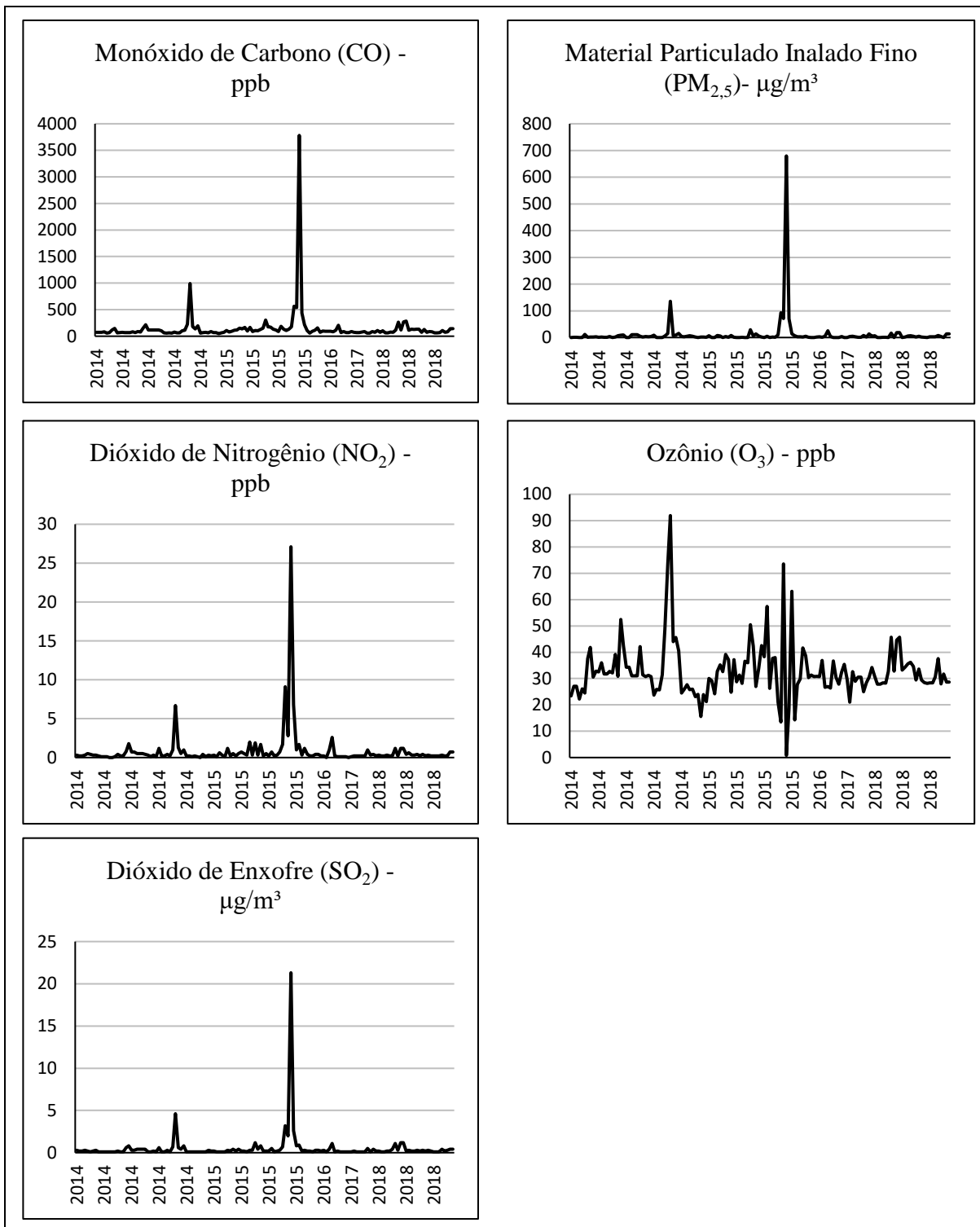
	N.	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão
CO	138	48,30	3780,40	92,95	148,33	329,35
NO₂	138	0,00	27,10	0,30	0,81	2,53
O₃	138	0,80	91,90	30,80	32,80	10,66
PM_{2,5}	138	0,00	679,60	2,60	11,68	59,56
SO₂	138	0,10	21,30	0,20	0,52	1,87
Temperatura	138	16,10	35,70	25,25	25,75	3,87
Umidade	138	23,00	95,00	70,00	67,04	19,78
Direção do Vento	138	5,00	352,00	63,00	67,80	40,69
Velocidade do Vento	138	0,20	5,80	3,00	2,98	0,99

Fonte: Dados da pesquisa.

Entre os anos de 2014 a 2018 foram observados um padrão de alavancagem dos índices de poluentes atmosféricos nos municípios da APA do Alto do Mucuri (Gráfico 7). Verificou-se maior poluição do ar nos anos 2014 e 2015, tendo este último apresentado registros com as maiores taxas. Dentre os poluentes visualizados, o Ozônio foi o que obteve maiores oscilações da amostra, demonstrando ser uma variável com grande variabilidade nos resultados.

O tipo de gráfico de linhas, apresentado no Gráfico 7, identifica cada ROI em uma série temporal de 2014 a 2018. Como os anos 2014, 2015 e 2018 obtiveram maiores registros da amostra, conseqüentemente houve uma linha do tempo maior nestes referidos períodos em detrimento dos anos 2016 e 2017.

Gráfico 7 - Desempenho dos poluentes atmosféricos.

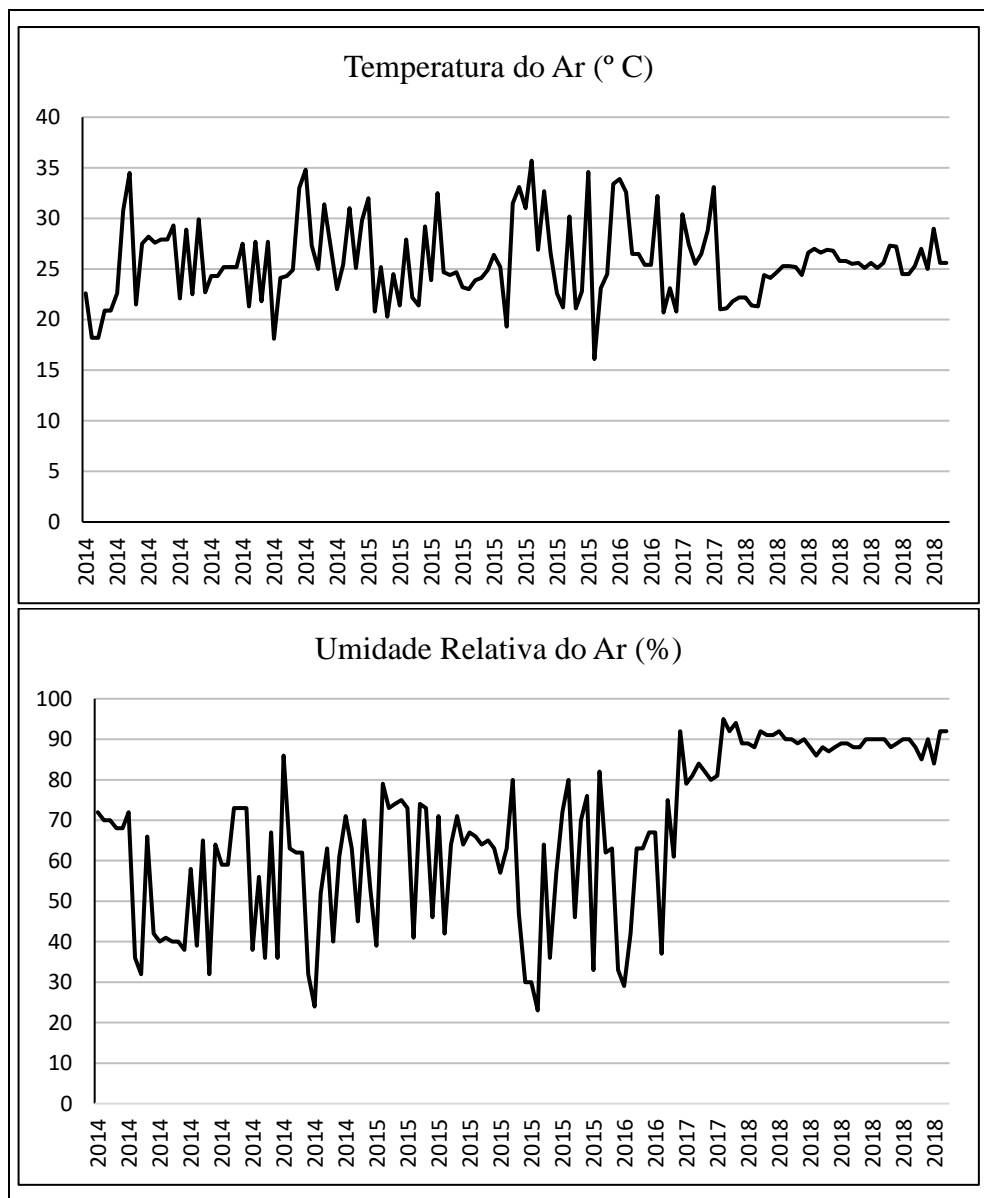


Fonte: Dados da pesquisa.

Quanto ao clima, segundo Pereira (2016), a região da APA do Alto do Mucuri pode ser baseada pela classificação de Köppen, onde há predominância do clima tropical úmido de

savana, sendo acrescentada a característica de seca no inverno e pouca precipitação entre julho a setembro. Com uma média de 25,75°C, a temperatura alcançada durante o período analisado foi encontrada predominantemente entre as faixas de 20°C a 35°C. Ressalta-se que não foram analisadas a sensação térmica destes registros. No Gráfico 8 são apresentados os registros da temperatura e umidade relativa do ar da região que reforçam esses aspectos.

Gráfico 8 - Desempenho da temperatura e umidade relativa do ar.



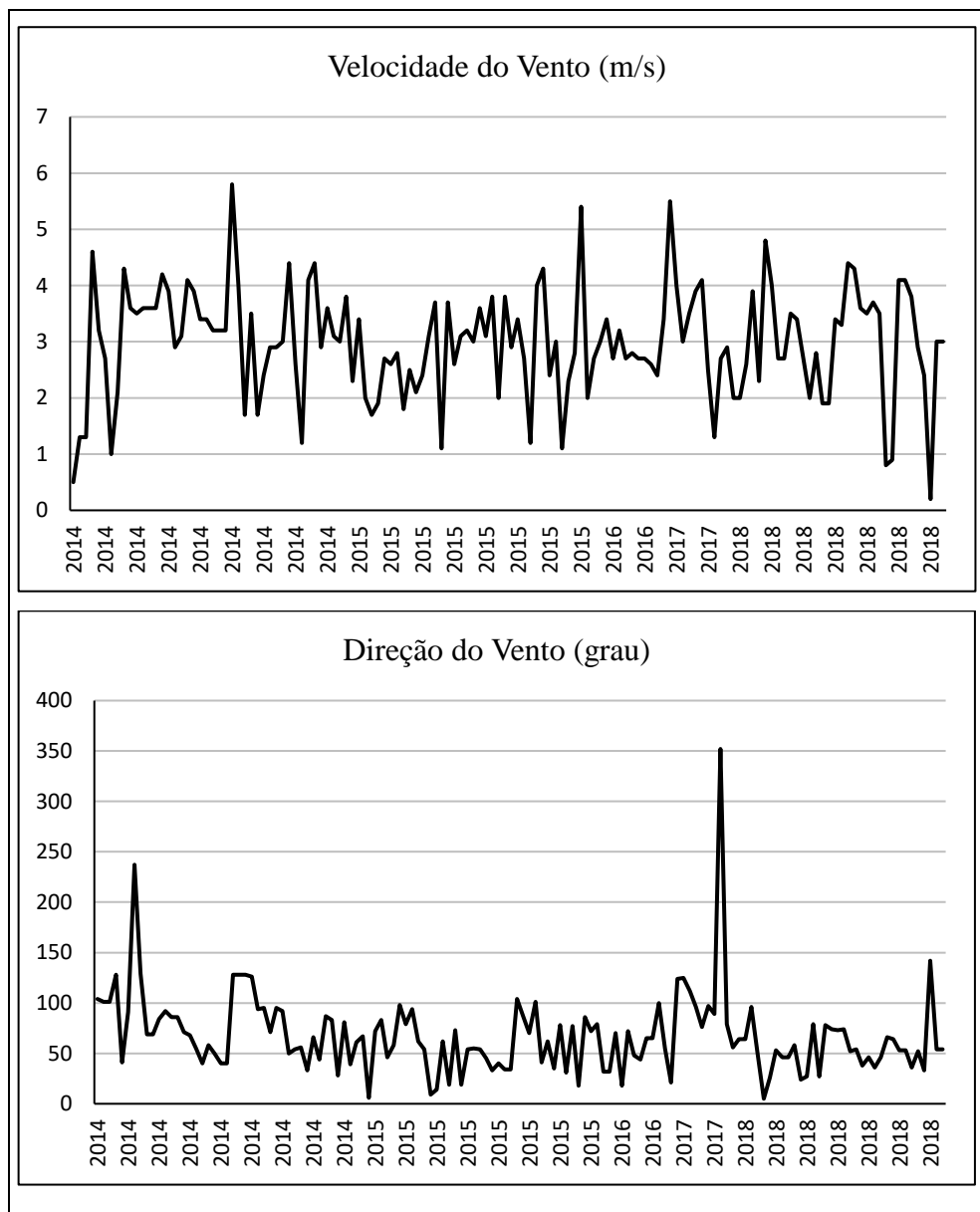
Fonte: Dados da pesquisa.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) menciona que os níveis abaixo de 60% de umidade relativa do ar não são adequados para o ser humano (CGE, 2019). De acordo com a classificação do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura

(Cepagri), a umidade pode apresentar os seguintes níveis de observação: Estado de Atenção (entre 21% a 30%), Estado de Alerta (12% a 20%) e Estado de Emergência (abaixo de 12%) (CGE, 2019). A partir destas informações verifica-se no Gráfico 8, uma concentração predominante de umidade relativa do ar entre 30 a 70% durante o período analisado, apontando níveis não indicados para a saúde humana. Estes níveis de umidade propiciam o clima seco provocando aumento na quantidade de casos de complicações respiratórias e alérgicas, irritação nos olhos, sangramento nasal, ressecamento da pele, além de favorecer o surgimento de incêndios florestais (CGE, 2019).

No Gráfico 9 estão as variáveis de desempenho da velocidade e direção do vento. Normalmente, a massa de ar possui uma rota que segue de ambientes com alta pressão e temperatura para locais onde estes índices são baixos (SOUZA; LIBERATO, 2019).

Gráfico 9 - Desempenho da velocidade e direção do vento.



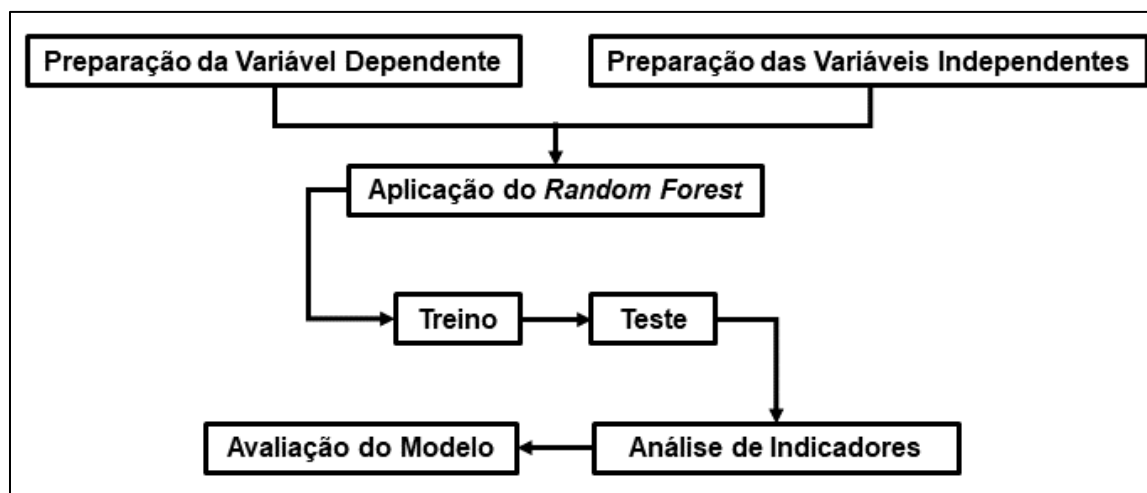
Fonte: Dados da pesquisa.

Segundo Souza e Liberato (2019), a direção do vento pode ser entendida como: 0° - Norte, 90° - Leste, 180° - Sul e 270° Oeste. No Gráfico 9 percebe-se a variação da direção do vento predominantemente entre 0° a 150°, indicando ventos que variam principalmente entre o Norte, Nordeste, Leste e Sudeste. Em relação à velocidade dos ventos, houve grandes oscilações em todo o período analisado, com frequência maior entre 1 m/s a 4 m/s.

4.2 Aplicação Random Forest

A utilização do *Random Forest* foi realizada conforme o esquema demonstrado na Figura 2. Foi feito o ajuste das variáveis independentes e dependente para tratamento da amostra pela linguagem R no *software* R Studio. A partir dos ajustes, a amostra foi separada em duas bases na proporção de 70% para Treino (97 observações) e 30% para Teste (41 observações), conforme estudos na literatura científica, realizados por Menezes (2019).

Figura 2 - Esquemática da aplicação do *Random Forest*



Fonte: Dados da pesquisa.

Após esta etapa, foi aplicado no R Studio o pacote *randomForest* e os testes de ajustes para definição da quantidade de árvores aleatórias (*ntree*) e números de atributos utilizados em cada árvore de decisão (*mtry*) a ser utilizada no algoritmo. De acordo com Lantz (2015), embora exista diversos pacotes para a aplicação do Random Forest no R Studio, o *randomForest* é o que apresenta resultados mais fidedignos ao estudo proposto por Breiman e Cutler, pioneiros na pesquisa do algoritmo. A melhor configuração apresentada nos testes resultou em um *ntree* com 300 árvores e *mtry* com 4 tipos de atributos.

O uso do *Random Forest* retrata dois fatores de aleatoriedade. A primeira, é a escolha de árvores de decisão de uma amostra por meio do método *bootstrap*, ou seja, a contabilização de cada árvore de decisão preditora para cada classe e a eleição da árvore de decisão com maior número de votos. O segundo fator, é que são realizados de forma aleatória cada nó da árvore de decisão, ou seja, são utilizados de forma estocástica um subconjunto de características para que seja encontrado o resultado ideal. Portanto, o *Random Forest* apresenta dupla aleatoriedade em seu bojo, devido ao *bootstrap* e a escolha aleatória das características

da amostra (LONG; SONG; CUI, 2017) (MARTINS et al., 2016). Para Martins *et al.* (2016), o *Random Forest* é um algoritmo robusto, rápido na execução, admite *outliers*, fornece informações relevantes de erros e são fáceis de serem implementados e comparados.

De acordo com Barbosa (2017), a robustez de um modelo, como por exemplo o uso do algoritmo *Random Forest*, pode ser avaliado utilizando-se de uma amostragem interna (treino) e outra externa (teste). A partir do resultado, são verificados indicadores que servem para mensurar o ajuste do modelo de classificação.

4.2.1 Indicadores do Modelo de Classificação

A identificação das variáveis da amostra em uma matriz de confusão propicia o entendimento de alguns indicadores de desempenho na mensuração do modelo. Neste estudo foram destacados três indicadores: a acurácia, a sensibilidade e a especificidade. Segundo Santos (2018, p.30), a matriz de confusão é “[...] representada pela tabulação cruzada de classes observadas e preditas para observações do conjunto de dados de teste [...]”, sendo normalmente utilizadas para visualização de erros. No Quadro 4 pode ser visualizada a matriz de confusão em uma classificação binária.

Quadro 4 - Matriz de confusão para análise de problemas classificatórios binários.

		Previsão	
		Sim	Não
Situação Real	Sim	Verdadeiro Positivo (VP)	Falso Positivo (FP)
	Não	Falso Negativo (FN)	Verdadeiro Negativo (VN)

Fonte: Santos (2018), adaptado pelo autor.

De acordo com Barros (2019, p.22), a matriz de confusão pode ser explicada da seguinte forma:

Quando há um resultado positivo tanto para a classe quanto para a predição, tem-se um verdadeiro positivo (VP); um resultado positivo para a classe, mas negativo para a predição, tem-se um falso negativo (FN); um resultado negativo para a classe, mas positivo para a predição, tem-se um falso positivo (FP); por fim, quando há um resultado negativo tanto para a classe quanto para a predição, tem-se um verdadeiro negativo (VN) [75]. A partir destas classificações, podem ser definidas três medidas mais comuns de desempenho preditivo: acurácia, sensibilidade e especificidade.

Os indicadores de desempenho preditivo podem ser entendidos como: acurácia – reflete a taxa de acertos gerados pelo modelo; sensibilidade – indica a probabilidade de detecção de uma característica que realmente contém no objeto analisado; especificidade – probabilidade

de detecção da ausência de uma característica em um objeto que realmente não possua determinada característica (Quadro 5) (BARBOSA, 2017) (BARROS, 2019).

Quadro 5 - Indicadores de desempenho preditivo.

Indicador	Equação
Acurácia	$A = \frac{VP + VN}{VP + FN + FP + VN}$
Sensibilidade	$S = \frac{VP}{VP + FN}$
Especificidade	$E = \frac{VN}{FP + VN}$

Fonte: Adaptado de Barbosa (2017).

Barboza (2015) destaca que a sensibilidade indica a *True Positive Rate*, ou seja, o valor preditivo positivo; a especificidade indica a *True Negative Rate* que representa o valor preditivo negativo.

4.2.2 Modelo I de Classificação Random Forest – Amostra Aleatória do Dano Ambiental

Os resultados da aplicação do *Random Forest* correspondentes ao corte aleatório do treino e teste da amostra são evidenciados na Tabela 8, dispostos no formato de matriz de confusão. Para apuração foi necessário o uso do pacote *caret* no *software* R Studio e o corte da amostra na proporção de 70% para treino e 30% para teste. Os valores sombreados de cinza em direção diagonal, indicam a quantidade de acertos preditivos do modelo para amostra de treino e teste.

Tabela 8 - Matriz de confusão da variável dano ambiental – Modelo I.

		Referência							
		Treino				Teste			
		Baixo	Moderado	Alto	Extremo	Baixo	Moderado	Alto	Extremo
Predição	Baixo	6	21	0	0	4	0	0	1
	Moderado	5	43	3	1	11	15	7	2
	Alto	0	9	0	0	0	0	1	0
	Extremo	3	6	0	0	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa.

Foram observados na treinamento da amostra o total de 49 (50,51%) classificações identificadas como corretas, podendo ser evidenciados uma taxa de acerto de 22,22% para predição do dano ambiental baixo e 82,7% para predição do dano ambiental considerado como moderado. Esses resultados revelam melhores resultados no treino para identificação de incêndios florestais com dano ambiental moderado. Não foram identificadas na treinamento classificações consideradas como corretas para os danos ambientais do tipo alto e extremo.

Com base na apuração do treino foi analisado a validação da amostra, como pode ser observado na Tabela 8. O teste obteve um total de 20 classificações corretas, ou seja, apresentou uma acurácia de 48,78%, sendo a taxa de acerto de 80% para a predição de dano ambiental baixo e 44,12% para predição de dano ambiental moderado. Na testagem houve melhores resultados para identificação do dano ambiental baixo e não houve predições consideradas como corretas para o nível dano ambiental extremo.

Na Tabela 9 são apresentados os indicadores de robustez do modelo para amostras de treino e teste aleatórias.

Tabela 9 - Indicadores preditivos – Modelo I.

	Baixo	Moderado	Alto	Extremo
Sensibilidade	0,2667	1,0000	0,1250	0,0000
Especificidade	0,9615	0,2308	1,0000	1,0000
Acurácia Balanceada	0,6141	0,6154	0,5625	0,5000

Fonte: Dados da pesquisa.

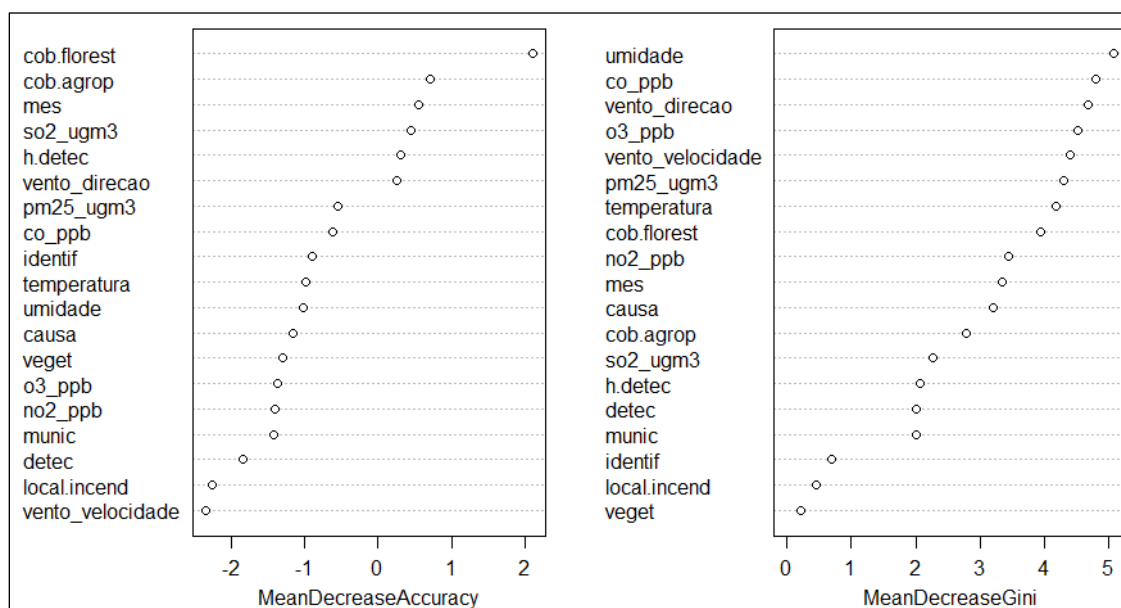
Os indicadores de robustez do total da amostra revelaram uma sensibilidade com resultados satisfatórios (100%) para a identificação correta de variáveis correspondentes ao nível moderado de dano ambiental. Em relação a especificidade, foi alcançado resultados satisfatórios para a identificação de variáveis que não se encontram nos níveis baixo (96,15%), alto (100%) e extremo (100%) do dano ambiental. As classificações alta e extrema foram associadas a uma taxa de especificidade alta em razão do modelo não ter encontrado variáveis significativas para compor a matriz de confusão, conforme observado na Tabela 7.

A média da especificidade e sensibilidade pode ser observada na acurácia balanceada que realiza o ajuste destes indicadores para mensurar a força preditiva dos resultados, sendo os resultados próximos a 1 (100%), o desejado. Na Tabela 8 foi verificado a acurácia balanceada mínima de 50% em relação ao modelo.

No intuito de verificar as variáveis com maiores influências na identificação do dano ambiental foi realizada a análise da importância das variáveis em dois modelos de

avaliação: *mean decrease accuracy* (MDA) e o *mean decrease Gini* (MDG) (Figura 3). De acordo com Palczewska *et al.* (2014), o MDA ou redução média da acurácia significa perda de acurácia quando os valores de determinada variável sofrem alterações de categorias e o MDG ou redução média Gini utiliza o critério de impureza Gini no desenvolvimento das árvores de decisão aleatórias presentes no *Random Forest*.

Figura 3 - Importância das variáveis – Modelo I.



Fonte: Elaborado e calculado no *software* R Studio versão 1.3.1073.

O significado das variáveis representadas pelos códigos descritos na Figura 3 podem ser encontrados no Apêndice A. Os marcadores indicam maior relevância no modelo à medida que estão posicionados para o lado direito da figura. As cinco variáveis de maior contribuição para a redução da acurácia do dano ambiental no modelo MDA são: cobertura floresta nacional (cob.florest), cobertura agropecuária (cob.agrop), mês (mes), concentração de dióxido de enxofre (SO₂_ugm3) e horário de identificação (h.detec). No modelo MDG, as variáveis de destaque são: umidade relativa do ar (umidade), concentração de monóxido de carbono (co_ppb), direção do vento (vento_direcao), concentração de ozônio (o3_ppb) e velocidade do vento (vento_velocidade). As variáveis destacadas são consideradas na análise como características determinantes para uma ocorrência do incêndio florestal.

4.2.3 Modelo II de Classificação Random Forest – Amostra Cronológica do Dano Ambiental

Para mensuração da confiabilidade dos resultados apresentados no modelo I foi feito a análise do modelo II de classificação *Random Forest*, aplicando-se o mesmo corte

amostral de 70% para treino e 30% para teste, sendo estes realizados de forma cronológica. Portanto, o modelo II considerou as características preditivas na medida que as ocorrências de incêndios foram identificadas no período de 2014 a 2018. Desta forma, o treino apresentou variáveis entre os anos 19/05/2014 a 07/09/2017 e o teste entre os anos 08/09/2017 a 15/10/2018.

Esta forma de análise aproxima a aplicação do *Random Forest* com a realidade dos fatos, uma vez que o algoritmo aprende o comportamento dos dados e os executa conforme os incêndios florestais são identificados. Os resultados auferidos podem ser verificados na matriz de confusão da Tabela 10. Os valores sombreados de cinza em direção diagonal, indicam a quantidade de acertos preditivos do modelo para amostra de treino e teste.

Tabela 10 - Matriz de confusão da variável dano ambiental – Modelo II.

		Referência							
		Treino				Teste			
		Baixo	Moderado	Alto	Extremo	Baixo	Moderado	Alto	Extremo
Predição	Baixo	9	15	0	1	11	9	0	1
	Moderado	9	34	5	1	6	9	3	2
	Alto	0	12	2	0	0	0	0	0
	Extremo	3	6	0	0	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa.

O treino obteve 45 (46,49%) predições consideradas como corretas, sendo uma taxa de acerto de 36% para dano ambiental baixo, 69,39% para o dano ambiental moderado e 14,29% para o dano ambiental alto. Em comparação ao modelo anterior, houve menor taxa de predição de acerto, entretanto, foram registradas um número maior de classes preditas como verdadeiro positivo.

Sobre o teste, foi verificada 20 predições consideradas como corretas, com uma taxa de acurácia de 48,78%, a mesma encontrada no modelo I. Dentre as classes, 52,38% foram preditas para o dano ambiental baixo e 45% para o dano ambiental moderado. O modelo II não gerou observações preditas para os níveis alto e extremo.

Os indicadores de robustez do modelo II são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Indicadores preditivos – Modelo II

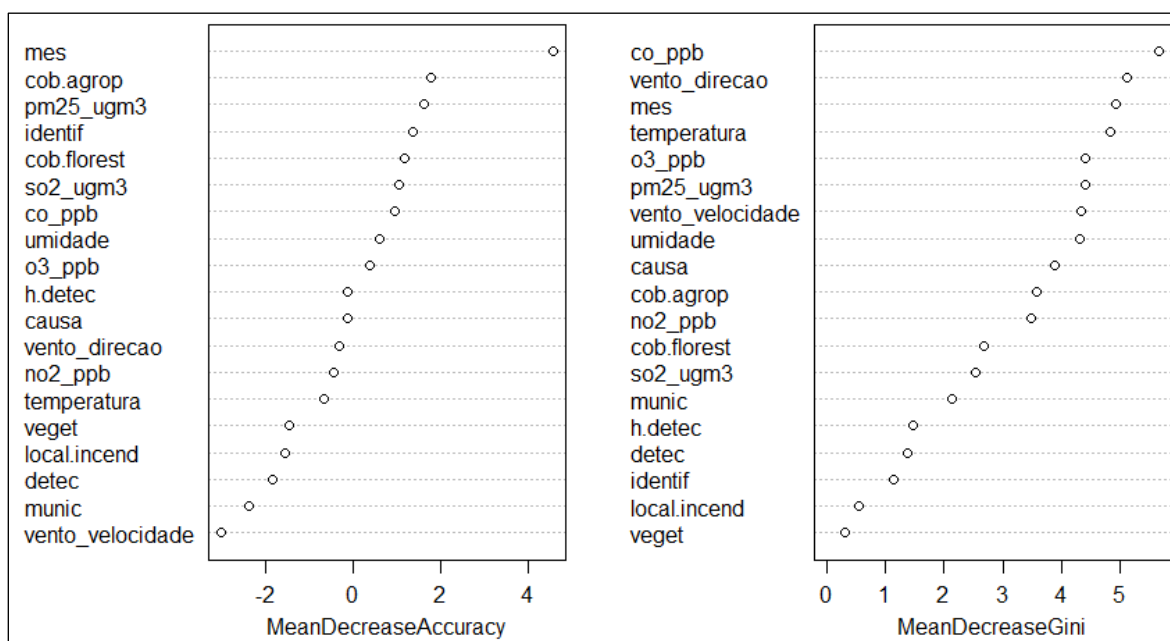
	Baixo	Moderado	Alto	Extremo
Sensibilidade	0,6471	0,5000	0,0000	0,0000
Especificidade	0,5833	0,5217	1,0000	1,0000
Acurácia Balanceada	0,6152	0,5109	0,5000	0,5000

Fonte: Dados da pesquisa.

A sensibilidade atingiu resultados de 64,71% e 50% para predições consideradas como corretas do dano ambiental baixo e moderado, respectivamente. Não houve resultados de sensibilidade para a classificação de dano ambiental alto e extremo que podem ser comprovados através da testagem na matriz de confusão (Tabela 10). Por esse motivo, os níveis alto e extremo obtiveram 100% de especificidade, ou seja, o modelo II considerou correta a ausência de variáveis nas referidas classes. Ainda sobre a especificidade, todos os níveis de dano ambiental alcançaram níveis acima de 50% de acerto.

A acurácia balanceada do modelo II revelou, de maneira ampla, melhores resultados para identificação do nível baixo de dano ambiental (61,52%), diferentemente do modelo I, que obteve melhores predições de acurácia balanceada para o dano ambiental moderado. A média da sensibilidade e especificidade alcançaram o mínimo de 50% de predições corretas para todas as classes do modelo II.

A importância das variáveis do modelo II pode ser verificada na Figura 4.

Figura 4 - Importância das variáveis – Modelo II.

Fonte: Elaborado e calculado no *software* R Studio versão 1.3.1073.

As variáveis que mais contribuíram para a acurácia média foram o mês (mes), cobertura agropecuária (cob.agrop), concentração de material particulado inalado (pm25_ugm3), identificação de incêndios (identif) e cobertura floresta natural (cob.florest). Em relação à contribuição para o índice Gini, as variáveis de destaque foram o monóxido de carbono (co_ppb), direção do vento (vento_direcao), mês (mês), temperatura (temperatura) e concentração de ozônio (o3_ppb).

4.2.4 Discussão dos modelos de análise *Random Forest*

A aplicação do *Random Forest* nos modelos I e II apresentaram comportamentos diferentes entre si (resultados da sensibilidade, especificidade, acurácia balanceada, matriz de confusão), entretanto, analisados conjuntamente foram verificadas concordâncias nos resultados auferidos. O aprendizado do algoritmo nas amostras do modelo I foi realizada de maneira aleatória e no modelo II segundo a cronologia das ocorrências de incêndio. Embora a metodologia tenha sido diferente, houve uma acurácia de 48,78% para ambos os testes realizados nos modelos, com destaque para predições corretas entre os níveis de dano ambiental baixo e moderado. Portanto, dentre os 138 ROI's analisados e distribuídos em 19 variáveis independentes, o algoritmo *Random Forest* tendenciou predições com maiores chances de acertos para danos ambientais do tipo baixo e moderado.

Segundo Lantz (2015), embora a aprendizagem de máquina não considere análises partindo da subjetividade, ela não necessariamente produz uma representação única e definitiva da realidade, como por exemplo, a analogia sobre a reprodução de respostas sob a ótica de um microscópio e de um telescópio. Significa dizer que, assim como uma análise pode apresentar resultados robustos dependendo do tipo de algoritmo utilizado, como é o caso do *Random Forest*, ela pode se desenvolver na medida que os dados são alimentados.

Os resultados do algoritmo *Random Forest* serão aperfeiçoados assim que novas ocorrências de incêndios florestais forem identificadas e incluídas no modelo, indicando evolução da acurácia, ou seja, maiores acertos preditivos. A aprendizagem de máquina executa decisões baseadas em experiências anteriores bem sucedidas (MONARD; BARANAUSKAS, 2003). Esse fato leva a compreender que os modelos apresentados são potenciais preditores para o dano ambiental na APA do Alto do Mucuri.

Durante a análise da importância de contribuição das variáveis nos modelos, foram verificados elementos em comum para a importância das variáveis no índice de acurácia média e o índice Gini (Quadro 6). No índice MDA, as variáveis cobertura agropecuária (cob.agrop), mês (mes) e cobertura floresta natural (cob.florest) se encontraram entre os cinco elementos

com maiores contribuições para ambos os modelos. Já no índice MDG, as variáveis representativas em comum ficaram a cargo da concentração de monóxido de carbono (co_ppb), direção do vento (vento_direcao) e concentração de ozônio (o3_ppb). O resultado analítico da importância das variáveis dos modelos I e II podem ser verificados no Apêndice B.

Quadro 6 - Variáveis representativas dos Modelos I e II.

Redução Média da Acurácia (MDA)	Redução Média GINI (MDG)
Cobertura Agropecuária	Concentração de Monóxido de Carbono
Mês	Direção do Vento
Cobertura Floresta Natural	Concentração de Ozônio

Fonte: Dados da pesquisa.

Interessante observar, que as variáveis representativas encontradas no MDA e no MDG, em sua maioria, não são encontradas no preenchimento do ROI. Dessa forma, conhecendo a influência que as variáveis possuem na detecção do dano ambiental na APA do Alto do Mucuri, percebe-se a necessidade de revisão do conteúdo do ROI, sobretudo, no que diz respeito a inclusão de elementos climáticos e de poluentes atmosféricos registrados em cada ocorrência. A adesão destas informações nos ROI's atrelada a aplicação do algoritmo *Random Forest* possibilitaria a tomada de decisões mais rápidas e precisas.

Após a análise dos modelos I e II constatou-se a necessidade da criação de uma ferramenta para tomada de decisões no combate aos incêndios florestais e estudo do comportamento das queimadas. Como sugestão para resolução desta demanda está a estruturação de um banco de dados de alimentação rotineira e formulários automatizados, contendo as informações dos ROI's. Assim, a proposta abrangeria a aplicação do modelo preditivo *Random Forest* no banco de dados, objetivando como resposta o nível de dano ambiental esperado em cada evento. Esta metodologia possibilitaria, por exemplo, prever a intensidade do incêndio florestal de determinada ocorrência e, por conseguinte, auxiliaria o gestor da unidade de conservação no direcionamento da quantidade de insumos e de combatentes a serem mobilizados para o combate do incêndio florestal. Por intermédio desta ferramenta de governo eletrônico, espera-se a redução tanto dos insumos gastos em combate de incêndios, como também da área desmatada, uma vez que haveria adequação de atividades para melhor desempenho na mobilização de combatentes para a debelação de incêndios florestais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como objetivo analisar a contribuição preditiva da ocorrência do dano ambiental na gestão pública da APA do Alto do Mucuri a partir da utilização do algoritmo *Random Forest*. A criação da unidade de conservação no ano de 2011 é considerada um marco para a preservação ambiental na região Nordeste de Minas Gerais. A regulamentação, ainda recente, revela a importância da biodiversidade para o bem-estar da sociedade da região e os desafios que envolvem a relação do ser humano e a natureza, sendo uma delas os incêndios florestais.

Para entender a representatividade da unidade de conservação no Brasil foi necessário discorrer o contexto das políticas públicas ambientais brasileiras que até a década de 1960 eram pouco discutidas. Neste processo, a criação do SNUC foi fundamental para a consolidação ambiental no Brasil, pois passou a ter uma normatização específica que veio definir a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. A APA do Alto do Mucuri está inserida como o tipo uso sustentável e possui como uma das prerrogativas a permissão da ocupação humana em sua área.

Para responder aos questionamentos da pesquisa, que envolvem os incêndios florestais na APA do Alto do Mucuri, foram necessários a utilização dos ROI's como fonte principal para compreensão e identificação de fatores que causam a depredação ambiental. A análise compreendeu os oito municípios da unidade de conservação entre os anos 2014 a 2018, abrangendo 138 registros. Como complemento foram retirados dados climáticos e de cobertura geográfica no portal SISAM e do projeto MapBiomas. A pesquisa consistiu na compreensão dos fatores responsáveis pela ocorrência do dano ambiental na APA do Alto do Mucuri, sendo representada pela relação do tempo de combate do incêndio florestal e a quantidade em hectares queimados de vegetação.

Realizada a tabulação dos dados amostrais foi possível verificar a análise descritiva das 21 variáveis. Dentre os resultados alcançados, a variável dependente dano ambiental obteve destaque com o total de ocorrências equivalentes a 14.729,92 hectares de vegetação queimada e 9.864,61 horas de combate a incêndios florestais. Em relação à intensidade do dano ambiental encontrado na amostra: 30,43% foram considerados baixos, 48,55% moderados, 12,32% altos e 8,70% extremos.

No campo das variáveis independentes, observou-se maiores ocorrências de incêndios florestais nos municípios de Ladainha (56,52%) e Itaipé (23,19%), sendo os anos 2014 (45), 2018 (37) e 2015 (36) as maiores incidências do evento. O período que se estendeu

entre agosto a novembro apresentou o pico de ROI's identificados, que coincidiu com o período crítico de incêndios florestais previstos em literatura científica.

A quantidade identificada de proprietários nas localidades afetadas pelo incêndio foi de 44,98%, sendo os principais motivos para as ocorrências: desconhecidas (55,07%) e decorrentes de atividades ligadas à agropecuária (28,26%). O início do incêndio florestal foi realizado, em sua maioria, por brigadistas (46,38%) e servidores do meio ambiente (26,09%) durante o turno vespertino, sobretudo, entre os horários de 14:00h às 16:00hs. A maior concentração de vegetação desmatada foi do tipo Floresta Estacional Semidecidual (94,93%), classificada como bioma Mata Atlântica.

Sobre os dados coletados do MapBiomas, foi verificada uma cobertura maior da agropecuária em relação à floresta natural nos municípios da APA do Alto do Mucuri, apresentando pequenas variações entre os anos 2014 a 2018. Essa variação culminou em uma redução de 0,37% da área de floresta natural e 0,17% da área de agropecuária em todo o período.

Os dados extraídos do SISAM revelaram níveis preocupantes do poluente atmosférico PM_{2,5} que chegou à máxima de 679,60 µg/m³, considerada situação de emergência. A temperatura registrou a média de 25,75° Celsius e uma predominância da umidade relativa do ar entre 30% a 70%, variação contendo níveis não adequados para a saúde humana.

A análise descritiva das variáveis permitiu compreender o perfil de incêndios florestais, clima, dados geográficos e poluentes atmosféricos da APA do Alto do Mucuri. Através dos resultados verificou-se na região um histórico de incêndios decorrentes principalmente da limpeza de áreas para o cultivo da agricultura e pecuária. Essas queimadas indicam a probabilidade de estarem associadas ao aumento de poluentes atmosféricos em determinadas ocorrências de incêndio e a reduções de umidade relativa do ar das circunscrições. Como consequência, foram observadas grandes perdas do bioma Mata Atlântica e o emprego de maiores recursos por parte da administração pública para conter os incêndios florestais.

O resultado descritivo das variáveis permitiu visualizar a importância e o desempenho de brigadistas no combate aos incêndios florestais, além de indicar as regiões da APA do Alto do Mucuri mais vulneráveis para ocorrência dos incêndios (municípios de Ladainha e Itaipé). Portanto, a análise estatística se configura em uma ferramenta de auxílio para a gestão pública, sendo sua atualização periódica, um meio para tomada de decisões mais condizentes com a realidade da unidade de conservação.

Em relação ao tratamento dos dados amostrais, foi utilizado o algoritmo *Random Forest*, considerada uma técnica de aprendizado de máquinas com resultados robustos na literatura científica. A aplicação do algoritmo no estudo consistiu em realizar a análise preditiva

das variáveis independentes para a ocorrência do dano ambiental. A técnica também permitiu evidenciar elementos relevantes para a geração do dano ambiental na unidade de conservação. A amostra foi dividida em cortes de treino e teste para o modelo aleatório (I) e cronológico (II) das ocorrências de incêndios.

Os resultados alcançados pela matriz de confusão indicaram maior quantidade de variáveis preditas como verdadeiro positivo para o dano ambiental de classe baixa e moderada, auferindo um nível de acurácia na fase de testagem de 48,78% para ambos os modelos. Dessa forma, o algoritmo atribuiu maiores chances de acertos para identificação de incêndios florestais considerados de intensidade baixa e moderada.

Quanto aos indicadores que mensuram a robustez preditiva, verificou-se resultados positivos para a especificidade das classes, ou seja, a apuração atingiu maior probabilidade na identificação de variáveis que não representam as classes dos modelos. Já a acurácia balanceada, média da sensibilidade e especificidade, apresentaram resultados mínimos de 50% de representatividade.

Ao analisar a importância das variáveis dos dois modelos, foram identificados no índice de acurácia média as seguintes variáveis em comum: cobertura agropecuária, mês e cobertura floresta natural respectivamente. No índice Gini, as variáveis em comum apuradas foram: concentração de monóxido de carbono, direção do vento e concentração de ozônio respectivamente. O resultado auferido demonstra que as referidas variáveis possuem maiores influências para classificação do dano ambiental, isto é, são determinantes para a ocorrência de incêndios florestais.

Dentre as variáveis consideradas importantes no modelo, somente o mês é oriundo do ROI. Este fato indica que características como condições climáticas e de cobertura geográfica são importantes para determinação da magnitude de um incêndio florestal, sendo fundamentais a inclusão no preenchimento dos ROI's. A adesão das variáveis climáticas e de cobertura geográfica nos ROI's se manuseadas corretamente, favorecem a tomada de decisões e, conseqüentemente, a redução de insumos empregados para combate de incêndios florestais e dano ambiental.

De maneira reflexiva, os resultados alcançados são positivos e a análise pode ser estendida para outras áreas de preservação ambiental. Para a melhoria da gestão das unidades de conservação sugere-se a revisão do formulário ROI no intuito de serem acrescentadas variáveis climáticas em seu bojo. Como resposta à problematização do estudo sobre a colaboração preditiva do dano ambiental para a gestão pública da APA do Alto do Mucuri, o estudo sugere a criação de um banco de dados eletrônico do ROI com a aplicação conjunta do algoritmo

Random Forest. Esse procedimento permitiria acesso histórico das ocorrências de incêndios com rapidez, possibilitaria a realização preditiva da mensuração do incêndio florestal, a análise do comportamento do fogo e, por conseguinte, o aperfeiçoamento nos métodos de combate das queimadas. A alimentação rotineira do banco de dados aumentaria a acurácia das predições aumentando o nível de confiança dos resultados.

Verifica-se que o estudo atingiu os objetivos pretendidos. Foi analisado os ROI's entre o período de 2014 a 2018 no tópico “4.1 Estatística Descritiva das Variáveis”; houve a mensuração do dano ambiental causado pelos incêndios florestais na APA do Alto do Mucuri, nos tópicos “3.2.1 Formulação do Dano Ambiental” e “4.1.1 Dano Ambiental”; no tópico “4.2 Aplicação *Random Forest*”, foi realizada a predição para o dano ambiental, identificando os fatores determinantes para o incêndio florestal na referida unidade de conservação e, no tópico “4.2.4 Discussão dos modelos de análise *Random Forest*”, foram propostas melhorias no acompanhamento e controle dos ROI's.

Por fim, os resultados permitiram maior conhecimento sobre a APA do Alto do Mucuri, uma unidade de conservação com pouco tempo de criação e pesquisas científicas. Contudo, reconhece-se limitações do estudo no que diz respeito à utilização de variáveis disponíveis para reconhecimento do incêndio florestal e a falta de análise de outros algoritmos para comparações de resultados. Nesse sentido, para futuras pesquisas, a adoção de mais variáveis e algoritmos possibilitaria resultados amplos e fomentaria a análise analítica da aprendizagem de máquina.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, S. O Código Florestal Brasileiro e o uso da terra: histórico, fundamentos e perspectivas (uma síntese introdutória). **EMBRAPA**, v. 6, n. 31, p. 19, 2005. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56574/1/SP5617.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2019.
- ANDERSON, L. O. *et al.* *Conceptual model of disaster risk management and warning system associated with wildfires and public policy challenges in Brazil*. **Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança**, n. 26 (I), p. 43–61, 2019. Disponível em: <<https://digitalis.uc.pt/handle/10316.2/46128>>. Acesso em: 28 abr. 2019.
- ANDERSON, L. O. *et al.* Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69/1, p. 163-177, 2017. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44038/23289>>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- BARBOSA, J. H. F. *Early Warning System para Distress Bancário no Brasil*. 2017. 210 f. **Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FACE)**. – UnB, Brasília, 2017.
- BARBOZA, F. L. DE M. Modelos computacionais e probabilísticos em riscos de crédito. **Tese de doutorado** – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/bitstream/tede/832/1/Flavio%20Luiz%20de%20Moaes%20Barboza_%20Portuguesprot.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2020.
- BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 3 ed. Sao Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- BARROS, C. B. Classificadores de Regressão Logística, *Naive Bayes* e *Random Forest* na análise do Tropismo do HIV-1 de subtipo B. **Dissertação de mestrado em Engenharia Biomédica**, COPPE, UFRJ: Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/13240/1/CesarBorgesBarros.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2020.
- BEIGHLEY, M.; HYDE A. C. Gestão dos incêndios florestais em Portugal numa Nova Era: avaliação dos riscos de incêndio, recursos e reformas. **Instituto Superior de Agronomia**, Universidade de Lisboa, Portugal, 2018. Disponível em: <https://www.isa.ulisboa.pt/files/events/pub/2018_Portugal-Wildfire-Management-in-a-New-Era_Portuguese.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2020.
- BONTEMPO, G. C. *et al.* Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI): evolução, desafios e recomendações. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 247-263–263, 30 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/revistaelectronica/index.php/BioBR/article/view/108>>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- BRAGA, L. V.; GOMES, R. C. Governo Eletrônico e seu relacionamento com o desenvolvimento econômico e humano: um estudo comparativo internacional. **Revista do Serviço Público**, v. 66, n. 4, p. 523–556, 2015.

- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- BRASIL. Decreto 23.793 de 23 de janeiro de 1934. 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793.htm>. Acesso em: 8 maio 2019.
- BRASIL. Decreto de 3 de abril de 2000. 2000b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/2000/Dnn8917.htm>. Acesso em: 26 abr. 2019.
- BRASIL. **Legislação Ambiental Básica**. Ministério do Meio Ambiente, UNESCO, Brasília: 2008.
- BRASIL. Lei 9.985, de 18 de julho de 2000 (Sistema Nacional de Unidades de Conservação). 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em: 13 abr. 2019.
- BRASIL. Resolução n. 491 de 19 de novembro de 2018. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2018. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- BREIMAN, L. *Random Forests*. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, 1 out. 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- CARMO, C. N.; HACON, S. S. Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/csc/v18n11/15.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- CGE. Umidade relativa do ar. 2019. Disponível em: <<https://www.cgesp.org/v3/umidade-relativa-do-ar.jsp>>. Acesso em: 09 out. 2020.
- COELHO, E. M. Governo eletrônico e seus impactos na estrutura e na força de trabalho das organizações públicas. **Revista do Serviço Público**, n.2, p. 28, 2001.
- COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. 12 ed., Porto Alegre: AMGH, 2016.
- CORTEZ, P.; MORAIS, A. J. R. *A data mining approach to predict forest fires using meteorological data*. Portugal, 2007.
- COSTA, G. G. O. **Curso de estatística básica: teoria e prática**. 2 ed., São Paulo: Atlas, 2015.
- CUNHA, A. L.; OLIVEIRA, A. P. C.; BARBALHO, M. G. S. Unidade de Conservação Ambiental. **Anais SNCMA**, v. 8, n. 1, 14 nov. 2017. Disponível em: <<http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/sncma/article/view/54>>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- DINIZ, E. H. *et al.* O governo eletrônico no Brasil: perspectiva histórica a partir de um modelo estruturado de análise. **Revista de Administração Pública**, v. 43, n. 1, p. 23–48, fev.

2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122009000100003&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 16 abr. 2019.

FAHEL, M. C. X.; LEITE, G. P.; TELES, L. R. Pobreza Multidimensional no estado de Minas Gerais: uma mensuração para além da renda. **Revista Brasileira de Monitoramento e Avaliação**, v. 8, p.50-69, 2014. Disponível em: <<https://www.rbaval.org.br/article/10.4322/rbma201408004/pdf/1598015026-8-50.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2020.

FEARNSIDE, P. M. Retrocessos sob o Presidente Bolsonaro: Um Desafio à Sustentabilidade na Amazônia. **Sustentabilidade International Science Journal**, v.1, n.1. 2019. Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2019/Fearnside-Retrocessos_sob_o_Presidente_Bolsonaro-Revista_Sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2020.

FELIPPE, M. F.; BUENO, J.; COSTA, A. Desmatamento na Bacia do Rio Mucuri (MG), Brasil no período de 1989 a 2008: uso de imagens Cbers e Landsat na espacialização dos remanescentes florestais. **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 16, p. 2713–2720, 2009.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de Estatística**. 6 ed., São Paulo: Atlas, 2011.

GIANNINI, T. C. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, v. 63, n. 3, 2012. Disponível em: <<https://rodriguesia-seer.jbrj.gov.br/index.php/rodriguesia/article/download/339/214>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

GODOY, L. R. C.; LEUZINGER, M. D. O financiamento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação no Brasil Características e tendências. **Revista de Informação Legislativa**, v. 52, n. 206, p. 223, 2015. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/52/206/ril_v52_n206_p223.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

GOMES, J. A. P.; LONGO, O. C. Cidades inteligentes sob a perspectiva da sustentabilidade: um desafio além da tecnologia. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.8, p.58805-58824, 2020. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/15094/12458>>. Acesso em: 14 out. 2020.

GONÇALVES, A. J. B.; LOURENÇO, L.; SILVA, J. D. Manifestação do risco de incêndio florestal, causas e investigação criminal. **Territorium**. n. 14, p. 81-87, 2007. Disponível em: <<https://eg.uc.pt/bitstream/10316/13294/1/Manifesta%20do%20risco%20de%20inc%20andio%20florestal.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

GUERRA, F. P.; MIRANDA R. M. Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM_{2,5} na RMRJ e na RMSP. **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, IBEA, Londrina - PR, 2011. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/IV-007.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2020.

HAIR JR., J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HOROCHOVSKI, R. R. *et al.* As mudanças no Código Florestal Brasileiro: uma análise de gênero, ideologia partidária e financiamento de campanha das bancadas parlamentares.

Guaju, Matinhos, v. 2, n. 2, p. 3–25, 15 dez. 2016. Disponível em:

<<https://revistas.ufpr.br/guaju/article/view/49758>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

IBAMA. Perfil dos Incêndios Florestais Acompanhados pelo Ibama. Prevfogo: 2010.

Disponível em:

<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/relatorios/incendios_florestais/prevfogo-incendios-florestais-perfil_dos_incendios_2009.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

IBAMA. Relatório de ocorrências de incêndios em Unidades de Conservação Federais 2005-2008. Prevfogo: 2009. Disponível em:

<http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2009_Ibama_Relatorio_FogoUCs_2005_08_DE3os.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

IBGE. Brasil em Síntese: Minas Gerais. 2017. Disponível em:

<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>>. Acesso em: 9 maio 2019.

INPE. Missão, Visão e Valores. 2017. Disponível em:

<http://www.inpe.br/institucional/sobre_inpe/missao.php>. Acesso em: 03 out. 2020.

INPE. Perguntas Frequentes. Programa Queimadas, 2020. Disponível em:

<<http://www.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

JANNUZZI, P. M.; CARLO, S. D. Da agenda de desenvolvimento do milênio ao desenvolvimento sustentável: oportunidades e desafios para planejamento e políticas públicas no século XXI. **BA&D Artigos**, Salvador, 2019. v. 28. Disponível em:

<<http://publicacoes.sei.ba.gov.br/index.php/bahiaanaliseedados/article/view/143>>. Acesso em: 9 abr. 2019.

KIRASICH, K.; SMITH, T.; SADLER, B. *Random Forest vs Logistic Regression: Binary Classification for Heterogeneous Datasets*. **SMU Data Science Review**, v. 1, n. 3, 2018.

Disponível em: <<https://scholar.smu.edu/datasciencereview/vol1/iss3/9/>>. Acesso em: 08 jan. 2021.

KLECHOWICZ, N. A. *et al.* Zoneamento de risco de incêndios florestais em municípios cortados pela rodovia BR-116 no Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, v.

7, n. 1, p.15-28, 2020. Disponível em: <<https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfresco-noauth/api/internal/shared/node/WDdojjf6T-uBZZNT4MVIXw/content/Zoneamento%20de%20risco%20de%20inc%C3%83%C2%AAAndios%20florestais%20em%20munic%C3%83%C2%ADpios%20cortados%20pela%20rodovia%20BR-116%20no%20Rio%20Grande%20do%20Sul.pdf>>.

Acesso em: 25 nov. 2020.

LAZZARI, A. R. Comparação de técnicas estatísticas para analisar a relação entre doenças respiratórias e concentrações de poluentes atmosféricos. **Ciência e Natura**, v. 35, n. 1, pp. 98-105, 2013. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546169010.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2020.

LANTZ, B. *Machine Learning with R*. 2 ed., Birmingham - UK, Packt Publishing, 2015.

- LEAL, F. A.; SOUZA, F. F. B.; LEAL, G. S. A. Zoneamento de riscos de incêndios florestais em regiões hot spot de focos de calor no estado do Acre. **Nativa - Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 3, p. 274-283, 2019. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6768>>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- LEITE, J. P. R.; ARAÚJO, D. L. S.; DUARTE, M. D. D. C. Reflexos e considerações sobre a implementação do cadastro nacional de unidades de conservação do estado do Piauí. **Sustentare**, v. 2, n. 1, p. 20–31, 30 jul. 2018. Disponível em: <<http://periodicos.unincor.br/index.php/sustentare/article/view/4413>>. Acesso em: 12 abr. 2019.
- LIMA, G. S. *et al.* Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 113–122, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/53550>>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- LIMA, G. S.; SOARES, R. V. Avaliação de eficiência de combate aos incêndios florestais no Brasil. **Floresta**, v. 22, n. 1/2, p. 25-38, 1992.
- LONG, W.; SONG, L.; CUI, L. *Relationship between capital operation and market value management of listed companies based on random forest algorithm*. **Procedia Computer Science**, v. 108, p. 1271–1280, 2017.
- MACHADO, N. G.; SILVA, F. C. P.; BIUDES, M. S. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 459-469, 2014. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546174022.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- MAPBIOMAS. O que é o MapBiomass. 2019. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/pages/about/about>>. Acesso em: 9 maio 2019.
- MARCELINO, M. M. Efeito dos incêndios florestais nas doenças respiratórias. **Dissertação de Mestrado em Bioquímica**, Universidade da Beira Interior: Covilhã, 2015. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/5738/1/4373_8402.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- MARTINS, C. H. B. *et al.* Da Rio-92 à Rio+20: avanços e retrocessos da agenda 21 no Brasil. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 42, n. 3, p. 97–108, 20 jan. 2015. Disponível em: <<https://revistas.dee.spgg.rs.gov.br/index.php/indicadores/article/view/3455>>. Acesso em 20 abr. 2019.
- MARTINS, D. H. C. S. S. Diagnóstico de falhas em máquinas rotativas utilizando *Random Forest*. **XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações**, Santarém - PA, 2016.
- MARTINS, J. V. R. O acesso à informação ambiental e a gestão hídrica: uma análise da implementação do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH). **Revista Eletrônica de Ciência Política**, v. 8, n. 3, 5 jan. 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/politica/article/view/57153>>. Acesso em: 27 abr. 2019.
- MARTINS, V. *et al.* Impacto dos incêndios florestais na qualidade do ar em Portugal no período 2003-2005. **Silva Lusitana**, v. 17, n. 2, p. 219-239, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/slu/v17n2/v17n2a07.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

MATIAS, V. R.; ANTUNES, G. O.; CAMPOS, M. A. L. Novas tecnologias e seus impactos na sociedade: o governo eletrônico em Belo Horizonte e promoção da cidadania a partir do orçamento participativo digital. **Compolítica**, p. 19, 2015. Disponível em: <http://www.compolitica.org/home/wp-content/uploads/2011/01/sc_ip-vandeir.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2019.

MATIAS-PEREIRA, J. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. 4 ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2016.

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no parque nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 157–168, 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/cienciaflorestal/article/viewFile/1815/1079>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MEDEIROS, R. Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 9, n. 1, p. 41–64, jun. 2006.

MENEZES, J. P. C. B. Fusões e aquisições, concorrência e concentração: investimento estrangeiro em saúde suplementar no Brasil. **Tese de Doutorado em Administração**, UFMG, Belo Horizonte, 2019.

MINAS GERAIS. Decreto nº 45.877, de 30 de Dezembro de 2011. 2011. Disponível em: <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=DEC&num=45877&comp=&ano=2011&texto=original>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

MINAS GERAIS. Decreto 45.960 de 02 de maio de 2012. 2012. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=DEC&num=45960&ano=2012>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Sociedade da informação no Brasil: livro verde. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. 2000. Disponível em: <<https://www.governodigital.gov.br/documentos-e-arquivos/livroverde.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Consulta - Relatórios de UC. 2019b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/consulta-gerar-relatorio-de-uc.html>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Mata Atlântica. 2019c. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atl%C3%A2ntica_emdesenvolvimento>. Acesso em: 19 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Tabela consolidada das Unidades de Conservação (Atualizada em: 28/01/2019). 2019. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80229/CNUC_FEV19%20-%20B_Cat.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. Governo Eletrônico. 2019. Disponível em: <<https://www.governodigital.gov.br/EGD/historico-1/historico>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

- MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por que é importante entender as inter-relações entre pessoas, fogo e áreas protegidas? **Biodiversidade Brasileira**, v. 0, n. 2, p. 40-49-49, 30 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/137>>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- MONARD, M. C.; BARANAUSKAS, J. A. Conceitos sobre aprendizado de máquina. **Sistemas inteligentes-Fundamentos e aplicações**, v. 1, n. 1, p. 32, 2003.
- MONOSOWSKI, E. Políticas ambientais e desenvolvimento no Brasil. **Cadernos Fundap**, v. 9, n. 16, p. 15-24, 1989.
- MORAIS, J. C. M. de. Tecnologia de combate aos incêndios florestais. **Floresta**, v. 34, n. 2, 2004. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2398>>. Acesso em: 21 abr. 2019.
- MOURA, A. M. M. Dimensionamento e acompanhamento do gasto ambiental federal. **IPEA**, Boletim Regional, Urbano e Ambiental, n. 15, jul.-dez. 2016. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7118/1/BRU_n15_Dimensionamento.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2020.
- NUNES, A. Principais causas dos incêndios florestais em Portugal: variação espacial no período 2001/12. **Territorium**, n. 21, p. 135-146, 2014. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5773187>>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- OLIVEIRA, A. A.; BURSZTYNB, M. Avaliação de impacto ambiental de políticas públicas. **Interações**, Campo Grande, v. 2, n. 3, 29 fev. 2016. Disponível em: <<http://www.interacoes.ucdb.br/article/view/586>>. Acesso em: 9 abr. 2019.
- OLIVEIRA, A. L. S. *et al.* Comparação e validação da modelagem espacial de riscos de incêndios considerando diferentes métodos de predição. **BCG - Bulletin of Geodetic Sciences- On-Line version**, v. 23, no4, p.556 - 577, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/bcg/v23n4/1982-2170-bcg-23-04-00556.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2020.
- OSHIRO, T. M. Uma abordagem para a construção de uma única árvore a partir de uma *Random Forest* para classificação de bases de expressão gênica. 2013. **Dissertação de Mestrado**, Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/95/95131/tde-15102013-183234/>>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- PECCATIELLO, A. F. O. Políticas públicas ambientais no Brasil: da administração dos recursos naturais (1930) à criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (2000). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 24, n. 0, 28 dez. 2011. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/21542>>. Acesso em: 7 abr. 2019.
- PALCZEWSKA, A. *et al.* *Interpreting random forest classification models using a feature contribution method*. In: BOUABANA-TEBIBEL, T.; RUBIN, S. H. **Integration of reusable systems**. [S.l.]: Springer, 2014. p. 193-218.
- PEREIRA, J. M. Políticas públicas florestal e de proteção à biodiversidade em prol da APA do Alto do Mucuri. 2016. **Dissertação de Mestrado em Tecnologia, Ambiente e Sociedade**

– UFVJM, Teófilo Otoni - MG, 2016. Disponível em:
<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5393296#>. Acesso em: 19 abr. 2019.

PEREIRA, R. S. Avanços e desafios em áreas protegidas: um estudo da APA do Alto do Mucuri no município de Ladainha -MG. 2018. **Dissertação de Mestrado em Administração Pública** – UFVJM, Teófilo Otoni - MG, 2018. Disponível em:
<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7053229#>. Acesso em: 19 abr. 2019.

PIGA, T. R.; MANSANO, S. R. V.; MOSTAGE, N. C. Ascensão e declínio da Agenda 21: uma análise política. **Perspectivas Contemporâneas**, v. 14, n. 3, p. 74–92, 3 jan. 2019. Disponível em:
<<http://revista2.grupointegrado.br/revista/index.php/perspectivascontemporaneas/article/view/2795>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

PRAES, E. O. Código florestal brasileiro: evolução histórica e discussões atuais sobre o novo código florestal. **VI Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade"**, São Cristovão - SE, p. 14, 2012. Disponível em:
<http://educonse.com.br/2012/eixo_19/PDF/20.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2019.

RAMOS, R. M.; FONSECA, R. L.; MORELLO, T. F. Unidades de conservação e proteção contra incêndios florestais: relação entre focos de calor e ações articuladas pelas brigadas contratadas. **Revista Biodiversidade Brasileira**, n.2, 2016. Disponível em:
<<https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/article/view/558>>. Acesso em: 01 out. 2020.

REZENDE, D. A. Planejamento de informações públicas municipais: sistemas de informação e de conhecimento, informática e governo eletrônico integrados aos planejamentos das prefeituras e municípios. **Revista de Administração Pública**, v. 41, n. 3, p. 505–536, jun. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122007000300007&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 16 abr. 2019.

RODRIGUES, M. M. T. Integração das variáveis de natureza social na avaliação do risco de incêndio florestal na região de Trás-os-Montes e Alto Douro. **Dissertação de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza**, Universidade de Açores, Bragança, 2009. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/1230/1/TESEfinalmarisa.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

RORIZ, P. A. C.; FEARNSSIDE, P. M. A construção do Código Florestal Brasileiro e as diferentes perspectivas para a proteção das florestas. **Novos Cadernos NAEA**, v. 18, n. 2, 28 dez. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/1866>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

SANTOS, H. G. Comparação da performance de algoritmos de *machine learning* para a análise preditiva em saúde pública e medicina. 2018. **Doutorado em Epidemiologia** – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6141/tde-09102018-132826/>>. Acesso em: 8 maio 2019.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, v. 36, n.1, p. 93-100, 2006. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/5510/4040>>. Acesso em: 26 set. 2020.

SANTOS, W. S. S.; SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S. Riscos de incêndios florestais em Unidades de Conservação no bioma Mata Atlântica, Paraíba, Brasil. **Agropecuária Científica no Semiárido**, V. 14, N. 4, 2018. Disponível em: <<http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/1030/pdf>>. Acesso em: 01 out. 2020.

SAUER, S. N.; FRANÇA, F. C. Código Florestal, função socioambiental da terra e soberania alimentar. **Caderno crh**, v. 25, n. 65, 2012. Disponível em: <<https://rigs.ufba.br/index.php/crh/article/view/19253>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

SCHENINI, D. P. C.; COSTA, A. M.; CASARIN, V. W. Unidades de Conservação: aspectos históricos e sua evolução. **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, UFSC Florianópolis, p. 7, 2004. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/wp-content/uploads/cea/PedroCarlosS.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

SILVA, E. C. G. Metodologia para quantificação de gastos públicos no combate a incêndios florestais em unidades de conservação. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Espírito Santo, 21 dez. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.ufes.br/jspui/handle/10/6946>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SILVA, T. C.; SILVA, K.; COELHO, M. A. P. O uso da tecnologia da informação e comunicação na educação básica. **Anais do Encontro Virtual de Documentação em Software Livre e Congresso Internacional de Linguagem e Tecnologia Online**, v. 5, n. 1, 9 jun. 2016. Disponível em: <http://www.periodicos.letras.ufmg.br/index.php/anais_linguagem_tecnologia/article/view/10553>. Acesso em: 23 abr. 2019.

SISAM. O que é? 2020a. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/>>. Acesso em: 03 out 2020.

SISAM. Descrição. 2020b. Disponível em: <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/dados/descricao/>>. Acesso em: 05 out 2020.

SORIANO, B. M. A.; NARCISO, M. G. Sistema de alerta de risco de incêndio para o Pantanal. **Embrapa**, O Meio Ambiente e a Interface dos Sistemas Social e Natural, cap. 8, 2020. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216268/1/SistemaAlertaRisco2020.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

SOUZA, A. P.; CASAVECCHIA, B. H.; STANGERLIN, D. M. Avaliação dos riscos de ocorrência de incêndios florestais nas regiões Norte e Noroeste da Amazônia Matogrossense. **Scientia Plena**, v. 8, n. 5, 2012. Disponível em: <<https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/553/491>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

SOUZA, C. J.; LIBERATO, A. M. Análise da velocidade e direção do vento em Vilhena, Rondônia. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v.11, n.3, especial, 2019. Disponível em: <<https://www.periodicos.unir.br/index.php/rara/article/view/4750/3074>>. Acesso em: 09 out. 2020.

STOTT, J. R. W. **Crer é também pensar**. São Paulo: ABU, 2001.

TEIXEIRA, E. C.; CORRÊA, G. H. R. Gastos públicos em infraestrutura e pobreza: uma análise para o estado de Minas Gerais. **Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho**, v. 8, n. 2, 2019. Disponível em <<https://periodicos.ufrn.br/rerut/article/view/20357/12826>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

TORRES, F. T. P. Influência do relevo nos incêndios em vegetação em Juiz de Fora (MG). **Geographia**, ano 18, n. 36, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Fillipe_Torres/publication/311086080_Influencia_do_relevo_nos_incendios_em_vegetacao_em_Juiz_de_Fora_MG/links/583d67ed08ae502a85e55c48/Influencia-do-relevo-nos-incendios-em-vegetacao-em-Juiz-de-Fora-MG.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

UOL. Queimadas no Pantanal e na Amazônia: carta aberta de países europeus a Mourão protesta contra política ambiental brasileira. 2020. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/bbc/2020/09/16/queimadas-no-pantanal-e-na-amazonia-carta-aberta-de-paises-da-europa-a-mourao-protesta-contra-politica-ambiental-brasileira.htm>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

VALLE, B. M. Tecnologia da informação no contexto organizacional. **Ciência da Informação**, v. 25, n. 1, 1996. Disponível em: <<http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/669>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

VOSGERAU, J. L. *et al.* Avaliação dos registros de incêndios florestais do estado do Paraná no período de 1991 a 2001. **Floresta**, v. 36, n. 1, 2006. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/5608/4086>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S. Queimadas controladas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 a 2015. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 46, n. 4, p. 561-570, 2016. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/47036/30156>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

ZORZAL, L.; RODRIGUES, G. M. Transparência das informações ambientais nas universidades públicas brasileiras. **Simpósio Internacional de Educação e Comunicação - SIMEDUC**, n. 8, 2017. Disponível em: <<https://eventos.set.edu.br/index.php/simeduc/article/view/8631>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

APÊNDICE A

Quadro 7 - Significado dos códigos das variáveis aplicadas no R Studio

Variável Dependente	
Código	Descrição
danoycod1	Dano Ambiental
Variável Independente	
Código	Descrição
causa	Causa
co_ppb	Concentração de CO
cob.agrop	Cobertura Agropecuária
cob.florest	Cobertura Floresta Natural
detec	Deteção
h.detec	Horário de Deteção
identif	Identificação
local.incend	Localidade
mes	Mês
munic	Município
no2_ppb	Concentração de NO ₂
o3_ppb	Concentração de O ₃
pm25_ugm3	Concentração de PM _{2,5}
so2_ugm3	Concentração de SO ₂
temperatura	Temperatura
umidade	Umidade
veget	Vegetação
vento_direcao	Direção do Vento
vento_velocidade	Velocidade do Vento

Fonte: Dados da pesquisa.

APÊNDICE B

Figura 5 - Resultado analítico da importância das variáveis - Modelo I

	BAIXO 1	MODERADO 2	ALTO 3	EXTREMO 4	MeanDecreaseAccuracy	MeanDecreaseGini
munic	-0.4286742	-0.9147733	-1.24394041	1.6744367	-1.4274149	2.0026628
local.incend	-2.3641021	-1.5754818	-0.10153636	1.0016708	-2.2683665	0.4515484
detec	-2.8701586	0.8151396	-2.74045455	-1.9387607	-1.8541805	2.0070945
h.detec	0.8029688	0.5520014	-1.94917587	-0.5737769	0.3038026	2.0664519
veget	-0.8843612	-1.1985683	0.00000000	0.0000000	-1.3076472	0.2111905
causa	-2.8237167	0.9450019	1.28873166	-0.9577535	-1.1592743	3.2157436
identif	-0.6778225	-0.2456195	0.13245711	-0.6589810	-0.8997776	0.6975236
cob.agrop	1.6967472	0.1321786	-3.22479182	0.7356624	0.7136814	2.7963620
cob.florest	-0.8240484	3.4682932	-1.65637403	1.1953818	2.1046494	3.9480832
mes	2.4884135	-0.7634297	0.09271588	-0.1279503	0.5581511	3.3370192
co_ppb	-0.3871917	-0.3600895	1.40546273	-0.6627821	-0.6189172	4.8080256
no2_ppb	-0.3007301	-1.0919910	-1.97947893	1.5428840	-1.4069522	3.4475786
o3_ppb	-2.1385963	1.1302214	-0.51940338	-1.2660952	-1.3767516	4.5282669
pm25_ugm3	-2.0090372	-0.1743685	1.03807919	2.4854717	-0.5544885	4.3130402
so2_ugm3	0.5809699	1.0943034	-1.99680471	0.9232163	0.4457025	2.2750354
temperatura	1.9796830	-3.6104417	-1.41224828	2.3446340	-0.9824611	4.1822793
umidade	-3.7272388	2.4778000	-3.25914176	0.9657589	-1.0191273	5.0856949
vento_direcao	-0.4711168	0.5865107	-0.09475516	0.5739465	0.2465973	4.6851022
vento_velocidade	0.9705947	-2.6256420	-1.06246990	-0.6268383	-2.3571795	4.3996674

Fonte: Elaborado e calculado no *software* R Studio versão 1.3.1073.

Figura 6 - Resultado analítico da importância das variáveis - Modelo II

	BAIXO 1	MODERADO 2	ALTO 3	EXTREMO 4	MeanDecreaseAccuracy	MeanDecreaseGini
munic	-1.07774212	-2.64893315	0.7984349	2.09900380	-2.3678068	2.1270261
local.incend	-1.74232260	-0.99893882	-0.2654867	0.00000000	-1.5683893	0.5325385
detec	-1.38659166	-1.76403311	0.5682810	0.75417283	-1.8274204	1.3769748
h.detec	-2.47519491	0.77826519	1.3307068	-0.59603600	-0.1086223	1.4578193
veget	-2.14193118	-0.89700708	0.00000000	1.00167084	-1.4742709	0.2949193
causa	-0.97467410	-0.61582432	3.2966806	-1.03697704	-0.1164935	3.8995752
identif	0.60460131	0.74957245	2.4558316	0.19804245	1.3589729	1.1223564
cob.agrop	1.77782134	-0.13856189	0.6087677	1.76547353	1.7931660	3.5781299
cob.florest	2.24401521	0.17849145	-0.3015610	-0.69285313	1.1658318	2.6847962
mes	6.45693300	1.66354010	0.7740400	0.38333562	4.5765895	4.9411936
co_ppb	1.70892418	-1.31819703	5.2779882	-1.65447450	0.9662538	5.6627752
no2_ppb	0.99630369	-0.46759576	-1.1861733	-0.88945031	-0.4520516	3.4885217
o3_ppb	0.07683893	1.42636857	-2.2327017	-0.52399310	0.3822644	4.4184739
pm25_ugm3	4.55770264	-0.84014123	0.7517118	-0.52185520	1.6243707	4.4097574
so2_ugm3	2.11180646	0.87091827	-0.7637402	-1.18820426	1.0460977	2.5428867
temperatura	3.54401885	-3.63532406	-0.9581266	0.04505503	-0.6620613	4.8444680
umidade	1.13497357	0.01944012	-0.7558863	0.53770549	0.6006379	4.3047103
vento_direcao	-0.57919401	-1.96936200	3.3987411	0.21738233	-0.3191934	5.1116145
vento_velocidade	-1.64685584	-1.78346174	-0.2297696	-1.68592234	-3.0096472	4.3475177

Fonte: Elaborado e calculado no *software* R Studio versão 1.3.1073.

ANEXO A

Figura 7 - Formulário ROI – Parte 1

ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO ALTO DO MUCURI									
Relatório de Ocorrência de Incêndio Florestal nº --/2018									
Número REDS ou BOS:									
Número RI:		<input type="checkbox"/>	BO CUR		<input type="checkbox"/>	SB JAN			
Municípios envolvidos:									
Gerente da Unidade:									
Responsável pelo preenchimento:									
Telefone de Contato:									
Nome do local do início do incêndio:									
Localização provável do início do incêndio: <input type="checkbox"/> Área interna <input type="checkbox"/> Entorno / Z.A. Distância: metros									
1. FORMA DE DETECÇÃO									
Quem?					Data		Hora		
<input type="checkbox"/> Gerente da UC <input type="checkbox"/> Funcionário da UC <input type="checkbox"/> Brigadista Previncêndio <input type="checkbox"/> Brigadista Parceiro <input type="checkbox"/> Morador da UC <input type="checkbox"/> Morador do Entorno <input type="checkbox"/> Denúncia Anônima <input type="checkbox"/> Monitoramento Aéreo <input type="checkbox"/> Satélite de Monitoramento <input type="checkbox"/> Outros:									
2. OPERAÇÃO DE COMBATE									
2.1. Coordenadas Geográficas do local do incêndio:									
Coordenadas Geográficas		Lat. (S)							
		Long. (W)							
2.2. Evolução da operação de combate									
DATA	INICIO	FIM	QUANTIDADE DE PESSOAS ENVOLVIDAS						
			UC	FTP	PARCEIROS	BRIGADA VOLUNTÁRIA	PM	BM	TOTAL
3. VEÍCULOS DA UC UTILIZADOS (QUANTIDADE)									
UC	Outros	Veículos				Nome da Instituição (em caso de Outros)			
		Veículo 4x2							
		Veículo 4x4							
		Van							
		Motocicleta							
		Trator							
		Caminhão pipa							
		Helicóptero - Nome(s):							
		"Air Tractor" - Nome(s):							
		Outros:							

Fonte: Adaptado do IEF/ Portal de Acesso à Informação do Governo Federal no ano 2019.

Figura 8 - Formulário ROI - Parte 2

4. VEGETAÇÃO E ÁREA ATINGIDA PELO INCÊNDIO			
Hectares	Tipo:	Hectares	Tipo:
0,00 ha	Floresta Estacional Decidual	0,00 ha	Campo cerrado
0,00 ha	Floresta Estacional Semidecidual	0,00 ha	Campo de altitude
0,00 ha	Floresta Ombrófila	0,00 ha	Cerrado sensu stricto
0,00 ha	Campo Rupestre	0,00 ha	Cerradão
0,00 ha	Área antrópica	0,00 ha	Vereda
0,00 ha	Outros Especificar neste campo.		
Área interna		0,00 ha	Entorno/Z.A.: 0,00 ha
		Total de área queimada: ha	

4.1. Fonte da informação
 UC ZEE

4.2. Zona(s) definida(s) no Plano de Manejo atingida(s)

5. PROVÁVEIS CAUSAS DO INCÊNDIO	
<input type="checkbox"/> Desconhecida	Extrativismo
<input type="checkbox"/> Natural (incêndio causado por raio)	<input type="checkbox"/> Caça
Acidente	<input type="checkbox"/> Extração de Espécie Vegetal
<input type="checkbox"/> Cabo de Alta Tensão	<input type="checkbox"/> Extração de Madeira
<input type="checkbox"/> Fagulha de Máquinas	Outras Causas
Atividade agropecuária	<input type="checkbox"/> Fogos de artifício
<input type="checkbox"/> Limpeza de área para cultivo	<input type="checkbox"/> Fogueira de acampamento
<input type="checkbox"/> Renovação de pastagem natural	<input type="checkbox"/> Ritual religioso
<input type="checkbox"/> Renovação de pastagem plantada	<input type="checkbox"/> Queima de lixo
<input type="checkbox"/> Queima de Restos de Exploração	<input type="checkbox"/> Vandalismo
5.1. Provável Agente Causal	<input type="checkbox"/> Litigio com IEF / Unidade de Conservação
<input type="checkbox"/> Indeterminado	<input type="checkbox"/> Limpeza de estradas / rodovias / ferrovias
<input type="checkbox"/> Descarga Elétrica (raio)	<input type="checkbox"/> Outro:
<input type="checkbox"/> Descarga Elétrica (rede de alta tensão)	<input type="checkbox"/> Proprietário ou Funcionário de Fazenda
<input type="checkbox"/> Assentado	<input type="checkbox"/> Garimpeiro
<input type="checkbox"/> Brigadista	<input type="checkbox"/> Incendiário/Piromaniaco
<input type="checkbox"/> Caçador/Pescador	<input type="checkbox"/> Invasor
<input type="checkbox"/> Empresa Florestal	<input type="checkbox"/> Motorista/Operador de Máquina
<input type="checkbox"/> Extrativista Vegetal	<input type="checkbox"/> Transeunte
<input type="checkbox"/> Festeiro (uso de fogos de artifício)	<input type="checkbox"/> Posseiro
<input type="checkbox"/> Morador da UC	<input type="checkbox"/> Religioso
<input type="checkbox"/> Morador do Entorno	<input type="checkbox"/> Turista
<input type="checkbox"/> Outros:	<input type="checkbox"/> Madeireiro

Fonte: Adaptado do IEF/ Portal de Acesso à Informação do Governo Federal no ano 2019.

Figura 9 - Formulário ROI utilizado no ano 2018 - Parte 3

6. FAUNA ATINGIDA				
Quantidade	Identificação de animais mortos		Coordenadas Geográficas do Local	
	Nome		Lat.	0° 0' 0,00"
			Long.	0° 0' 0,00"
7. DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA				
8. IDENTIFICAÇÃO DO PROPRIETÁRIO OU POSSEIRO DA ÁREA DE OCORRÊNCIA				
9. DIFICULDADES ENCONTRADAS				
10. ALIMENTAÇÃO				
10.1.	Houve fornecimento de alimentação? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
10.2.	Quantidade:	Café da Manhã	Almoço	Café da Tarde
				Jantar
11. ANEXAR FOTOS				
12. POLÍGONO GEORREFERENCIADO DA ÁREA QUEIMADA				

Fonte: Adaptado do IEF/ Portal de Acesso à Informação do Governo Federal no ano 2019.