

As contribuições preditivas do dano ambiental para gestão pública de unidades de conservação: estudo de caso da APA do Alto do Mucuri em Minas Gerais

The predictive contributions of environmental damage to the public management of conservation units: case study of APA do Alto do Mucuri in Minas Gerais

Diego da Silva Passos¹, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0571-7727>; João Paulo Calembó Batista Menezes², Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4739-839X>; Bruno de Almeida Vilela³, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2388-1034>; Jorge Fulgencio Silva Chaves⁴, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1653-3069>

1. Mestre em Administração Pública e graduado em Ciências Contábeis pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM. Atua na área Administrativa e Financeira como Analista Ambiental - Núcleo de Ciências Gerenciais do Instituto Estadual de Florestas - IEF em Minas Gerais.. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Diamantina/MG, Brasil. E-mail: diegosilvapassos@hotmail.com

2. Graduação em Contabilidade (2004) e Administração (2016) pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas, graduação em Ciências Econômicas pela Faculdade Arnaldo (2020), especialista em finanças pelo IBMEC-MG (2006), especialista em Ciência de dados e Big Data pela PUC Minas (2023), mestrado em Contabilidade, Fiscalidade e Finanças pela Universidade Técnica de Lisboa (2011) e doutorado em Administração pela Universidade Federal de Minas Gerais (2019). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Diamantina/MG, Brasil. E-mail: joao.calembob@gmail.com

3. Doutor pelo Centro de Pesquisas e Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Minas Gerais. Doutorado sanduíche pela Technische Universität Braunschweig, no Institut für Controlling & Unternehmensrechnung. Mestrado pelo Centro de Pesquisas e Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Minas Gerais (2015), na linha de Mercadologia, Estratégia e Operações. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, Brasil. E-mail: bruno.vilela@ufes.br

4. Graduação em Direito pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (1998), especialização em Controle Externo (Administração Pública) pela Escola de Contas Professor Pedro Aleixo do Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais (2001) e mestrado em Direito Público pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2004). Doutorado em Direito Público Internacional pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Diamantina/MG, Brasil. E-mail: jorgefulgencio@yahoo.com.br

Resumo

O relacionamento entre os governos e os cidadãos pode ser a saída para contornar a crise ambiental na qual o mundo está inserido, principalmente na reformulação da ideia de que os recursos naturais são inesgotáveis e podem ser explorados deliberadamente. Buscou-se analisar as contribuições preditivas do dano ambiental para a gestão pública no combate a incêndios florestais da APA do Alto do Mucuri, no período de 2014 a 2018. Foi utilizado o algoritmo *Random Forest* como técnica preditiva em 138 Registros de Ocorrências de Incêndios (ROI) da unidade de conservação. Os resultados evidenciaram 14.729,92 hectares de vegetação queimada na região, predominantemente do tipo Floresta Estacional Semidecidual e análise com melhor capacidade preditiva para danos ambientais do tipo baixo e moderado. Dessa forma, conclui-se pela necessidade de reformulação do ROI e a adoção do algoritmo *Random Forest* na tomada de decisões no combate a incêndios florestais.

Palavras-chave: Unidade de Conservação; Incêndios Florestais; Registro de Ocorrência de Incêndio; APA do Alto do Mucuri.

Abstract

The relationship between governments and citizens can be the solution to get around the environmental crisis in which the world is inserted, mainly in the reformulation of the idea that natural resources are inexhaustible and can be deliberately exploited. The article sought to analyze the predictive contributions of environmental damage to public management in combating forest fires in the APA do Alto do Mucuri from 2014 to 2018. The Random Forest algorithm was used as a predictive technique in 138 Fire Occurrence Records (ROIs) of the conservation unit. The results show 14,729.92 hectares of burned vegetation in the region, predominantly of the Semideciduous Seasonal Forest type and analysis with better predictive capacity for low and moderate environmental damage. Thus, it is concluded the need to reformulate the ROI and the adoption of the Random Forest algorithm in decision-making in fighting forest fires.

Keywords: Conservation Unit; Forest Fires; Record of Fire Occurrence; APA Alto do Mucuri.

Citation: Passos D. S., Menezes J.P.C.B., Vilela, B.A., Chaves J.F.S. (2023). As contribuições preditivas do dano ambiental para gestão pública de unidades de conservação: estudo de caso da APA do Alto do Mucuri em Minas Gerais. *Gestão & Regionalidade*, 39, e20238159. <https://doi.org/10.13037/gr.vol39.e20238159>

1 Introdução

A crise ambiental no mundo, decorrente, principalmente, da ideologia errônea de que os recursos naturais são inesgotáveis e da exploração de maneira deliberada, começou a ser debatida a partir do surgimento de movimentos ambientalistas. A nova visão ambiental evidenciou a dificuldade da estabilidade da natureza em face da extração desordenada do ser humano e da necessidade do desenvolvimento sustentável para o bem-estar da sociedade (Praes, 2012). Como desdobramento, percebeu-se o crescimento de políticas ambientais voltadas para a temática da proteção ambiental.

No Brasil, a intensificação de políticas ambientais ocorreu no século XX, a partir da década de 1960, com normatizações que promoviam a interação sustentável entre o ser humano e a natureza, e que perduram até os dias atuais (Peccatiello, 2011). Dentre elas, pode ser citada a Lei nº 9.985/00, conhecida como Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que regulamenta a criação e a gestão de unidades de conservação no Brasil, delimitando características para cada tipologia a ser preservada. Os artigos 8 e 14 da Lei nº 9.985/00 parametrizam 12 categorias de áreas para proteção ambiental, podendo ser destacada a Área de Preservação Ambiental (APA).

A tipologia Área de Preservação Ambiental está elencada no SNUC como uma unidade de conservação de uso sustentável, dotada de riquezas naturais e responsável pela integração sustentável do homem e da natureza (Brasil, 2000). A partir da relevância da APA para a sociedade, foi realizado o estudo de caso da APA do Alto do Mucuri, área situada no nordeste de Minas Gerais e de grande importância para o desenvolvimento socioambiental e econômico da região.

A APA do Alto do Mucuri, assim como as demais unidades de conservação, enfrenta desafios que colocam em risco a sua sobrevivência. O incêndio florestal é uma dessas problemáticas, responsáveis por gerarem, anualmente, prejuízos inestimáveis para os cofres públicos e à biodiversidade (Anderson et al., 2019). De acordo com Santos, Soares, e Batista (2006), estima-se a perda de 85.735,02 hectares de vegetação, verificada em 19.377 registros de incêndios em unidades de preservação ambiental no Brasil, entre os anos de 1998 a 2002. Nos últimos anos, os incêndios florestais estão cada vez mais evidenciados nos meios de comunicação, normalmente provocados pelo próprio ser humano, transmitindo a ideia de impunidade e retrocesso nas políticas ambientais.

Uma das formas de combate ao incêndio florestal é conhecer o perfil das ocorrências de incêndios para a prevenção, o controle e o auxílio na tomada de decisões da gestão pública (Ibama, 2009). Uma das ferramentas para o alcance desses resultados é a utilização do Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI). Os ROIs são formulários preenchidos por brigadistas ou gestores de unidade de conservação contendo informações que vão desde a identificação do incêndio florestal até a sua debelação (Bontempo et al., 2011).

A partir dos fatos elucidados, no presente estudo, propôs-se analisar as contribuições preditivas que o dano ambiental pode gerar para a gestão pública no combate a incêndios florestais, utilizando os ROIs auferidos pela APA do Alto do Mucuri, no período de 2014 a 2018. Para isso, a pesquisa se pautou na utilização do algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest* como técnica e ferramenta potencial para a administração de unidades de conservação. Em complemento aos resultados, foram abordados, ainda, a estatística descritiva dos elementos obtidos dos ROIs e os fatores determinantes para a ocorrência dos incêndios florestais da APA do Alto do Mucuri.

2 O SNUC e sua importância no contexto ambiental

No decorrer da história humana, podem-se constatar as perdas de espécies da fauna e flora à medida que a urbanização e a industrialização foram se ampliando mundialmente. De acordo com Godoy e Leuzinger (2015), muitos cientistas defendem e relatam a necessidade da criação de áreas protegidas de maneira legal para a contenção dessa depredação ambiental, como é o caso das unidades de conservação no Brasil. O país é detentor de riquezas e belezas naturais, registrando uma das maiores biodiversidades do planeta, ainda em crescimento à medida que são feitas novas descobertas.

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) (Cunha, Oliveira, & Barbalho, 2017, p. 2).

Um instrumento importante para a consolidação da regulamentação de unidades de conservação no Brasil é o Código Florestal Brasileiro, que teve três promulgações, nos anos de 1934, 1965 e 2012, sendo esta última a que se encontra em vigor. De acordo com Medeiros (2006), o Código Florestal de 1934 foi o primeiro instrumento ambiental que definiu claramente tipologias de áreas com necessidades de preservação, classificadas em protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento.

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 (Medeiros, 2006, p. 10).

Sob fortes críticas, relacionadas principalmente ao favorecimento do mercado madeireiro e à ineficácia da normatização no âmbito nacional, o Código Florestal de 1934 foi substituído pelo Código Florestal de 1965 (Roriz, & Fearnside, 2015). Este, por sua vez, instituiu as tipologias de áreas florestais de Parque Nacional e a Floresta Nacional (Medeiros, 2006), criou o conceito de Área de Preservação Permanente (APP) e fortaleceu a regulação da Reserva Legal.

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 (Sauer, & França, 2012, p. 287).

Durante a vigência do Código Florestal de 1965 foram instituídos outros dispositivos legais importantes para a temática ambiental, como, por exemplo, a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei nº. 6.938/81, com o objetivo de atender à preservação, melhorar a recuperação

ambiental, assegurando condições para o desenvolvimento sustentável aliado à melhoria da economia, da segurança nacional e da proteção da dignidade da vida humana (Brasil, 1981), e a Constituição Federal de 1988, que ressaltou, em seu art. 225, que:

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, art. 225).

No período de vigência do Código Florestal de 1965 foi ainda sancionado um importante instrumento para a preservação ambiental. Buscando suprir a necessidade de conservação dos recursos naturais brasileiros foi instituída, no dia 18 de julho de 2000, a Lei nº 9.985, conhecida como o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), com os objetivos de promover a manutenção da diversidade biológica, a proteção de espécies ameaçadas de extinção, a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais, a promoção do desenvolvimento sustentável, a recuperação dos recursos naturais e a valorização socioeconômica da diversidade biológica (Brasil, 2000).

Uma novidade que o SNUC trouxe consigo foi a divisão das características de cada unidade de conservação em dois grandes blocos, sendo:

- a) Proteção Integral – permite apenas o uso indireto dos recursos naturais, salvo os casos previstos em lei, classificados em Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Nacional e Refúgio de Vida Silvestre;
- b) Uso Sustentável – relacionado ao equilíbrio entre o uso sustentável de parte dos recursos naturais com a conservação da biodiversidade do ambiente, compreende 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).

O SNUC é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e executado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Sua gestão se baseia em um conjunto de unidades de conservação cadastradas em âmbito municipal, estadual e nacional (Brasil, 2000).

De acordo com Leite, Araújo, e Duarte (2018), para melhor controle e transparência na gestão das unidades de conservação, foi criado, pelo MMA, o Cadastro Nacional das Unidades de Conservação (CNUC), que reúne os dados de unidades de conservação registradas no Brasil, incluindo também a implementação de ações governamentais nas localidades. Esses dados são disponibilizados, por meio de acesso amplo, para os cidadãos interessados, em ambiente virtual do governo federal.

Na próxima seção aborda-se a unidade de conservação do tipo Área de Proteção Ambiental, cuja extensão territorial representa, aproximadamente, 51,86% do total de unidades cadastradas no Brasil (MMA, 2019). Como cerne da pesquisa, foram utilizados dados da APA do Alto do Mucuri, no intuito de aprofundar o conhecimento sobre o objeto de estudo.

3 A APA do Alto do Mucuri

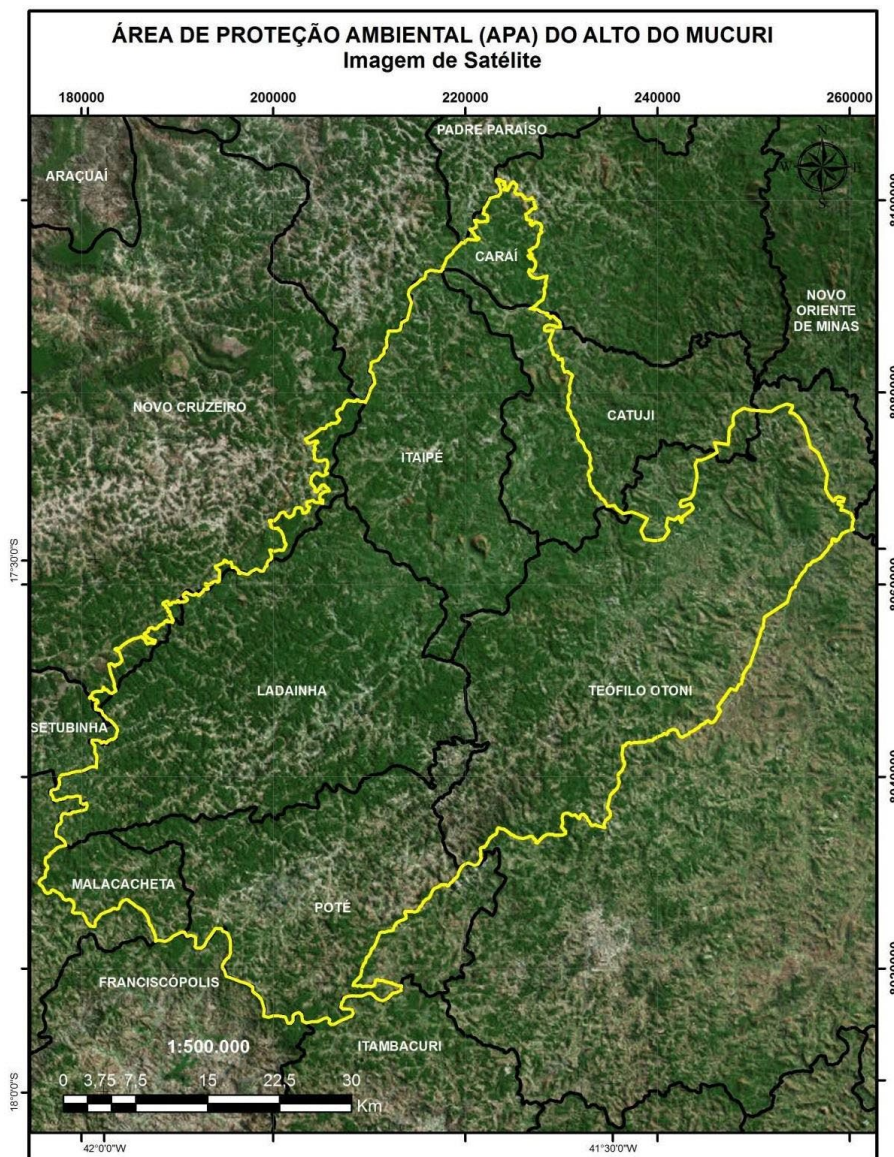
A APA do Alto do Mucuri foi criada pelo Decreto nº. 45.877, no dia 30 de dezembro de 2011 e está classificada como uma unidade de conservação do tipo Uso Sustentável. Localizada no Vale do Mucuri, região nordeste de Minas Gerais, ela abrange uma área correspondente a 325.148,8883 ha (Figura 1). Seu território compreende oito municípios, incluindo Caraiá, Catuji,



Novo Cruzeiro, Malacacheta, Poté, Teófilo Otoni, Itaipé e Ladainha, sendo os dois últimos totalmente inseridos na circunscrição da unidade (Minas Gerais, 2011).

A região é caracterizada pela grande concentração do bioma Mata Atlântica, sobretudo da fitofisionomia Floresta Estacional Semidecidual, vegetação conhecida pela perda de folhagens durante períodos de estiagem e grande quantidade de nutrientes depositados no solo (Pereira, 2016). É uma das principais responsáveis pela recarga hídrica da bacia do rio Mucuri, com extensão de, aproximadamente, 14 mil km², no território mineiro e colabora no abastecimento de água regional (Felippe, Bueno, & Costa, 2009). Sob o aspecto socioeconômico, na APA do Alto do Mucuri a atividade principal é a agropecuária em propriedades rurais, sendo relevante fonte para a subsistência de pequenos agricultores familiares (Pereira, 2016). Segundo Fahel, Leite, e Teles (2014), a região do Jequitinhonha/Mucuri é considerada uma das mais pobres de Minas Gerais, o que evidencia a carência de políticas públicas voltadas para a população local.

Figura 1 - Localização da APA do Alto do Mucuri



Fonte: Pereira (2016).

Com a criação da APA do Alto do Mucuri, sua gestão e implantação foram direcionadas ao Instituto Estadual de Florestas (IEF), responsável por auxiliar no alcance de objetivos como a proteção e a recuperação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da região; a proteção do solo, da flora e da fauna, aliada à recuperação das áreas degradadas e à conectividade dos fragmentos florestais, além da promoção de atividades econômicas compatíveis com a sustentabilidade ambiental (Minas Gerais, 2011).

Para Pereira (2018), um dos avanços para atingir os objetivos e fortalecer a APA do Alto do Mucuri foi a formulação do seu Plano de Manejo, iniciado em agosto de 2016 e finalizado em setembro de 2017. O Plano de Manejo é um documento que define normas que delimitam o gerenciamento da unidade de conservação, como a forma de manejo dos recursos naturais e a sua estrutura. O Plano de Manejo da APA do Alto do Mucuri foi construído de forma participativa, contando com vários agentes da sociedade civil, representantes do poder público municipal, organizações não governamentais, sindicatos e associações, entre outros (Pereira, 2018).

Em contraste com as riquezas naturais existentes na APA do Alto do Mucuri, podem ser verificados na região desafios que dificultam o desenvolvimento sustentável. De acordo com Pereira (2018), podem ser identificados na área intervenções ambientais ilegais, posse e distribuição das propriedades privadas, problemas gerados no processo de fiscalização e influência da cultura e da tradição local, dentre outros. Esses desafios remetem à necessidade de maior participação ativa da população para a manutenção da unidade de conservação, o que envolve a superação de obstáculos culturais e de comunicação, a conscientização ambiental e a conciliação de conflitos de interesses referentes à posse de terras na circunscrição da unidade de conservação.

O incêndio na APA do Alto do Mucuri é um tipo de intervenção ambiental realizada de maneira ilegal. De acordo com o seu Plano de Manejo, um dos objetivos estratégicos de atuação da unidade de conservação é a redução de incêndios gerados em sua região. Para o alcance dos resultados, alguns objetivos podem ser elencados, entre eles o monitoramento ambiental diário em períodos críticos de incêndios, o repasse de orientações à população local sobre queima controlada, a promoção de ações de educação ambiental e sensibilização dos moradores na região para a prevenção de incêndios, a criação de aceiros em pontos vulneráveis do fogo e a elaboração de placas instrutivas e de material didático (IEF, 2017).

4 Sistemas de Indexação de Incêndios Florestais e o Registro de Ocorrência de Incêndio

O incêndio florestal é um desastre ambiental presente em diversos países e suas consequências alcançam não só a natureza, como também a economia e a vida humana local. Nesse contexto, alguns países se destacam pela proporção e frequência das queimadas ambientais, como por exemplo, podem ser ressaltadas as ocorrências na Austrália e EUA:

Os incêndios florestais australianos (setembro de 2019 a fevereiro de 2020) se destacaram, com a morte de 32 pessoas e de 500 milhões de animais, mais de seis milhões de hectares de floresta e arbusto queimados, milhares de casas destruídas e centenas de milhares de pessoas deslocadas. Na Califórnia, EUA, incêndios ocorreram em outubro e, embora com baixo impacto humano (cinco mortes), causaram US\$ 25 bilhões de perda econômica [...] (Cred, 2020 apud Parizzi, 2022, p. 9).

Na Europa, pode ser citado Portugal, um dos países com maiores incidências anuais de incêndios florestais do continente. Segundo Beighley e Hyde (2018), os estudos climáticos estimam que as queimadas florestais em Portugal e demais países do sul da Europa tendem a piorar nos próximos anos com o aumento da temperatura e redução da precipitação na região.

Para intervenção dos incêndios florestais nesses países são utilizados alguns indexadores que norteiam o perfil das queimadas. Nos EUA, foi atualizado em 1978 o sistema nacional de indexação de perigo de incêndio (NFDR - *Nacional Fire Danger Rating*), responsável pela mensuração de componentes envolvendo ignição, propagação e liberação de energia, cálculos meteorológicos, dentre outras características relacionadas a queimadas (Macedo et al., 1987 apud Rodrigues, 2009). Na Austrália, devido à sua diversidade climatológica são utilizados diversos tipos de indexação de incêndios florestais, de acordo com cada região do país, podendo ser destacado o índice de seca e o de perigo de incêndio (Vélez et al., 2000; Wagner, 1987; Macedo et al., 1987; Soares, 1972 apud Rodrigues, 2009). Em Portugal, a indexação é realizada pelo Instituto de Meteorologia que inicialmente utilizava dados de umidade relativa do ar e temperatura para os cálculos do índice e posteriormente foram acrescentando novas características em sua análise, como por exemplo, velocidade e direção do vento, precipitação acumulada, ocupação do solo, entre outros (Igeo, 2008; Viegas et al., 1999; Macedo et al., 1987 apud Rodrigues, 2009).

No Brasil, a frequência dos incêndios florestais tem se acentuado, destaque para ocorrências nos biomas da Amazônia e Cerrado, entre os anos 2003 a 2017, e o bioma Pantanal, no ano 2020 (Jesus et al., 2020). De acordo com os dados do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram verificados na região do Pantanal, 22.116 focos de incêndios florestais no ano de 2020, crescimento de aproximadamente 120,61% em relação a 2019 (10.025 focos) (INPE, 2022). O Programa Queimadas do INPE é uma importante ferramenta para conhecimento e combate dos incêndios florestais, pois disponibiliza publicamente e diariamente em seu portal eletrônico, imagens capturadas de satélites com a detecção de focos de queima de vegetação ocorridas no Brasil, entre outros dados envolvendo a temática (INPE, 2020).

Segundo Lima et al. (2018), para aplicação de medidas contra os incêndios florestais é fundamental, primeiramente, conhecer o perfil das queimadas e propor estratégias de prevenção e combate. O autor menciona o Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI) como um mecanismo para alcançar esses objetivos, pois ele possibilita a obtenção de diversas informações durante uma ocorrência, como “[...] a localização do incêndio, dados geográficos do terreno, dados meteorológicos durante o evento, polígono da área queimada, dados de combate, origem, causa e danos” (Lima et al., 2018, p. 114).

Os ROIs são preenchidos pelos indivíduos que atuam no combate a incêndios florestais, normalmente o gestor da unidade de conservação ou o brigadista atuante na ocorrência. Para evitar perdas de informações, recomenda-se a confecção do ROI o mais breve possível, o que inclui a coleta dos dados logo no início do incêndio florestal. Portanto, a qualidade do ROI depende do zelo e do cuidado no preenchimento, a fim de evitar o registro incompleto de dados e a falta de clareza no documento (Bontempo et al., 2011).

Segundo Bontempo et al. (2011), a utilização dos ROIs nas unidades de conservação encontrou respaldo em políticas públicas e foi se aperfeiçoando com o passar do tempo, sendo ajustado conforme a realidade presenciada em eventos de incêndios. Para o IBAMA (2010), a adoção dos ROIs em unidades de conservação tem apresentado resultados positivos na redução dos incêndios florestais, apesar de as queimadas serem ainda um grande problema ambiental no Brasil.

5 Procedimentos Metodológicos

A coleta de dados dos ROIs da APA do Alto do Mucuri foi realizada por meio de solicitação enviada ao Instituto Estadual de Florestas, no portal eletrônico de Acesso à



Informação do Governo Federal, protocolo nº. 02100000001201970. Foram selecionados 138 ROIs, entre os anos 2014 a 2018, com a seguinte distribuição de ocorrências: 45 (2014), 36 (2015), 13 (2016), 7 (2017) e 37 (2018). O período se estende desde o início da adoção dessa ferramenta nas atividades da unidade de conservação até a data em que havia dados disponíveis.

Como complemento, foram coletados dados climáticos e de poluentes atmosféricos do Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde (SISAM) e cobertura florestal natural e agropecuária da região por meio do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas). Esses dados são disponibilizados para amplo acesso da sociedade e foram obtidos nos respectivos portais eletrônicos.

A técnica de análise dos dados utilizada no estudo foi o algoritmo *Random Forest* ou *Random Decision Forest* (em português, Florestas Aleatórias ou Florestas de Decisão Aleatórias). Considerada uma técnica de aprendizagem de máquina, utiliza Árvores de Decisão para a realização de predições de eventos. Nesse trabalho, a predição de ocorrências de incêndios se deu com o objetivo de identificar as variáveis determinantes do dano ambiental. Para a aplicação da técnica foi utilizado o *software* R Studio, versão 1.3.1073, que utiliza a linguagem R para a geração de cálculos e gráficos estatísticos.

5.1 Algoritmo *Random Forest*

Segundo Breiman (2001), responsável pela disseminação da técnica, o *Random Forest* tem a capacidade de gerar resultados robustos, de maneira rápida e com bom desempenho, em comparação a outros algoritmos preditivos. Para Oshiro (2013, p. 14-15), o *Random Forest* se configura em um método em que se:

[...] 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.

Para aplicação do algoritmo foram selecionadas e tratadas 20 variáveis, sendo uma variável dependente chamada de dano ambiental e 19 variáveis independentes (nove obtidas do SISAM, oito obtidas do ROI e duas obtidas do MapBiomas).

Completado o tratamento dos dados, aplicou-se o corte amostral em duas bases, na proporção de 70% para treino (97 observações) e 30% para teste (41 observações). Dessa forma, aplicou-se, primeiramente, o algoritmo nas observações de treinamento e, em seguida, a testagem, no intuito de identificar o nível de confiança e de confirmação dos resultados encontrados na fase do treino. Em outras palavras, o treino da amostra identificou o padrão dos dados analisados, originando um modelo de cálculo que posteriormente foi utilizado para verificar, por intermédio da testagem, o seu nível de confiabilidade.

O corte amostral foi ainda utilizado para a comparação de resultados, com base em dois modelos de aplicação do algoritmo *Random Forest*, sendo:

- a) Modelo I – análise aleatória, ou seja, tanto o treino quanto o teste podem apresentar dados em qualquer data do período 2014 a 2018;
- b) Modelo II – análise cronológica, ou seja, o treino apresentou variáveis entre 19/05/2014 a 07/09/2017 e o teste, entre 08/09/2017 a 15/10/2018.

A sustentação dos resultados dos Modelos I e II se pautou na avaliação da matriz de confusão, em indicadores de desempenho preditivos e em índices de avaliação da importância das variáveis.

5.2 Dano Ambiental – Variável Dependente

O dano ambiental é identificado como o quociente entre o atributo Área Queimada (AQ), que é a quantidade de vegetação queimada em hectares e o atributo Tempo de Combate (TC), indicado pelo total de minutos empregados por brigadista para a debelação do incêndio. Os dados foram obtidos dos ROIs e informam que quanto maior for a razão entre AQ e TC, menor será a eficiência do combate aos incêndios e, conseqüentemente, maior o dano ambiental.

A junção dos dois atributos tem o objetivo de fornecer uma forma alternativa para a mensuração da eficiência do combate de incêndios florestais. Encontrou-se, portanto, respaldo nas obras de Lima e Soares (1992) e de Santos, Soares, e Batista (2006) para a formulação das classes de distribuição apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - 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 (2021).

Foram constatadas nos ROIs analisados, após identificação das classes do dano ambiental, as intensidades de 30,43% - baixo (42), 48,55% - moderado (67), 12,32% - alto (17) e 8,70% - extremo (12).

5.3 Variáveis Independentes

As 19 variáveis independentes 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, como, por exemplo, a indicação de dados climáticos e a caracterização do local do incêndio. Elas foram obtidas devido à confiabilidade dos dados históricos e à disponibilidade de acesso nos portais eletrônicos. No Quadro 1 apresenta-se a origem de cada uma delas.

Quadro 1 - Variáveis independentes da amostra

(continua)

Origem	Variáveis	Descrição
ROI	Município	Município atingido pelo incêndio florestal
	Localidade	Tipo de localidade atingida pelo incêndio florestal
	Causa	Causa identificada para a ocorrência do incêndio florestal
	Identificação	Informa se houve identificação do proprietário do local atingido pelo incêndio florestal
	Vegetação	Tipo de vegetação atingida pelo incêndio florestal
	Mês	Mês da ocorrência do incêndio florestal
	Detecção	Tipo de detecção do incêndio florestal
	Horário da detecção	Horário em que foi realizada a detecção do incêndio florestal

(conclusão)

MapBiomass	Cobertura agropecuária	Porção territorial identificada como agropecuária (em hectares)
	Cobertura floresta natural	Porção territorial identificada como formação florestal natural (em hectares)
SISAM	Concentração CO	Concentração de monóxido de carbono (parte por bilhão - ppb)
	Concentração NO ₂	Concentração de dióxido de nitrogênio (parte por bilhão - ppb)
	Concentração O ₃	Concentração de ozônio (parte por bilhão - ppb)
	Concentração PM _{2,5}	Concentração de material particulado inalado fino (micrograma por metro cúbico - µgm ³)
	Concentração SO ₂	Concentração de dióxido de enxofre (micrograma por metro cúbico - µgm ³)
	Temperatura	Temperatura do ar (em grau Celsius)
	Umidade	Umidade relativa do ar (em porcentagem)
	Direção do vento	Direção do vento (em graus)
	Velocidade do vento	Velocidade do vento (em metro por segundo - m/s)

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Tanto as variáveis dependentes quanto as variáveis independentes são elementos importantes para a obtenção de resultados concisos e confiáveis. Esses elementos têm alguma ligação com o incêndio florestal (direta ou indireta), seja das condições climáticas e topográficas ou das características encontradas na ocorrência de incêndio.

6 Análise de Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos após análise estatística descritiva dos ROIs e aplicação do algoritmo *Random Forest* nos modelos preditivos.

6.1 Estatística Descritiva Condensada dos ROIs

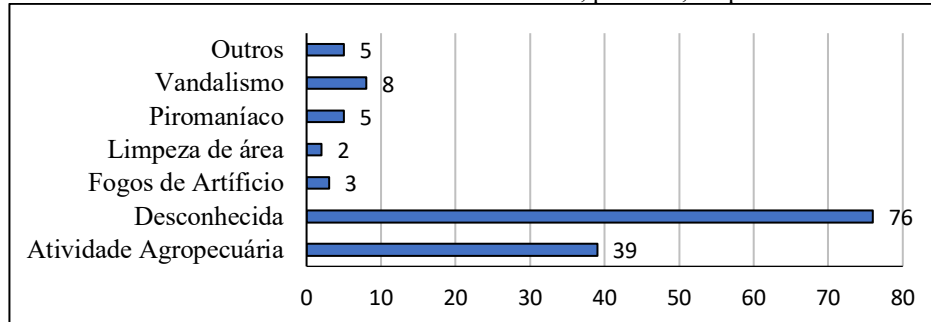
As estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na aplicação metodológica do estudo permitem compreender as características da APA do Alto do Mucuri e, conseqüentemente, traçar o perfil de ocorrências de incêndios florestais dessa unidade de conservação. Esse fato pode ser evidenciado, inicialmente, pelos atributos do dano ambiental. Foi verificado o total de 14.729,92 hectares de vegetação queimada, equivalentes a 20.630,14 campos de futebol (0,714 ha/campo). Essa área queimada representou 4,53% do território da APA do Alto do Mucuri. Em relação ao Tempo de Combate, foram empregadas 9.864,61 horas (591.877 minutos), no período de 2014 a 2018.

As maiores quantidades de ocorrências de incêndios foram nos anos 2014 (45), 2018 (37) e 2015 (36), sendo os municípios de Ladainha (56,52%) e Itaipé (23,19%) detentores dos maiores percentuais de ROIs registrados. Cerca de 90,58% (125) dos registros analisados ocorreram nas zonas rurais dos municípios. Segundo Medeiros e Fiedler (2004) e Mistry e Bizerril (2011), os incêndios em áreas rurais podem estar relacionados a atividades de renovação de pastagens, limpeza para agricultura, caça de animais, extrativismo ilegal,



contrabando de madeira ou utilização na fabricação de carvão. Essa situação pode ser observada nos dados da Figura 2, na qual se observa que a atividade agropecuária obteve relevante resultado (28,26%), juntamente com as causas desconhecidas (55,07%).

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

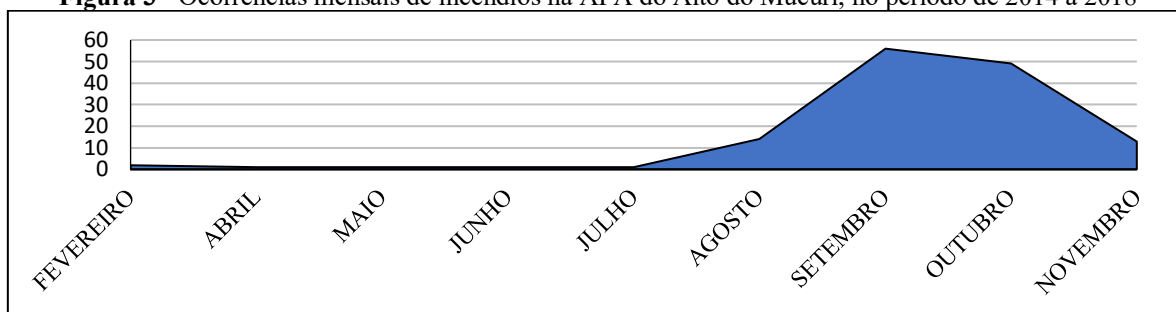


Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Em relação à vegetação desmatada, 94,93% (131) foram identificadas como Floresta Estacional Semidecidual, tipologia pertencente ao bioma Mata Atlântica e relatada por Pereira (2016) como espécie de vegetação abundante na região. Durante os cinco anos analisados, foi encontrada uma taxa de 44,98% de identificação dos proprietários de terras onde ocorreram as queimadas, o que indica uma quantidade representativa de medidas preventivas aplicadas para evitar a reincidência de ocorrências, como multas, conscientização, busca de infratores, etc.

O histórico mensal das ocorrências de incêndios florestais coincidiu com o período crítico relatado em literatura científica. Para Santos, Souto, e Souto (2018), esse período crítico ocorre entre os meses de agosto a setembro, predominantemente de clima sazonal seco, o que favorece a incidência de queimadas. Na Figura 3 é possível perceber maiores índices de incêndios florestais entre os meses de agosto a novembro, com destaque para os meses de setembro e outubro, que atingiram os percentuais de 40,58% (56) e 35,51% (49), respectivamente, em relação às ocorrências de incêndios totais.

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



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Ao longo do período foi observada evolução da participação da população local na identificação de incêndios florestais. O crescimento dessa participação representa aspecto positivo no engajamento da população residente nas questões ambientais da APA do Alto do Mucuri. Esse crescimento está refletido nos índices anuais de participação de residentes na identificação de incêndios: 16,67% (2015), 15,38% (2016), 28,57% (2017) e 35,13% (2018).

6.2 Aplicação do algoritmo *Random Forest*

Para a aplicação do algoritmo *Random Forest* foi necessário o tratamento dos dados, dividindo-os em dois cortes amostrais, na proporção de 70% para treino (97 observações) e 30% para teste (41 observações). Concluída essa etapa, foi necessário realizar ajustes para a definição da quantidade de árvores aleatórias (ntree) e números de atributos utilizados em cada árvore de decisão (mtry) a ser utilizada no algoritmo. Por intermédio do R Studio, a melhor configuração obtida com os ajustes foram ntree, com 300 árvores e mtry, com quatro tipos de atributos. Com a compilação dos dados organizados, foi possível executar a aplicação e a interpretação dos modelos preditivos demonstrados nos próximos tópicos.

6.2.1 Indicadores para interpretação dos Modelos I e II

Consideraram-se três indicadores de classificação para a interpretação dos Modelos I (aleatório) e II (cronológico) na aplicação do algoritmo *Random Forest*, conforme se observa no Quadro 2.

Quadro 2 - Indicadores de desempenho preditivo

Indicador	Equação	Descrição
Acurácia	$A = \frac{VP + VN}{VP + FN + FP + VN}$	Taxa de acertos gerados pelo modelo.
Sensibilidade	$S = \frac{VP}{VP + FN}$	Probabilidade de detecção de uma característica que realmente existe no objeto analisado.
Especificidade	$E = \frac{VN}{FP + VN}$	Probabilidade de detecção da ausência de uma característica em um objeto que realmente não possua determinada característica.

Fonte: Adaptado de Barbosa (2017) e Barros (2019).

Os indicadores são extraídos da matriz de confusão, sendo esta “[...] representada pela tabulação cruzada de classes observadas e preditas para observações do conjunto de dados de teste [...]” (Santos, 2018, p.30). No Quadro 3 está retratada uma matriz de confusão binária.

Quadro 3 - 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: Adaptado de Santos (2018).

Para a análise apresentada, o desejável são as situações consideradas como verdadeiros positivos (VP) e verdadeiros negativos (VN), ou seja, significa os acertos preditivos gerados no modelo. Nos próximos tópicos são desenvolvidos esses conceitos para a compreensão dos resultados.

6.2.2 Modelo I – *Random Forest* Aleatório

A partir do corte amostral 70% para treino e 30% para teste, chegou-se aos resultados elencados na Tabela 2 para o Modelo I. Os valores sombreados da matriz de confusão indicam

os acertos preditivos do modelo. Observou-se, na treinamento da amostra, o total de 49 (50,51%) classificações identificadas como corretas, sendo 43 (82,7%) para predição do dano ambiental do tipo moderado (em relação aos demais valores preditos como moderado).

Tabela 2 - Matriz de confusão e indicadores preditivos – 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
		Indicadores preditivos							
		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 (2021).

Para a validação dos resultados, foi feita a treinamento dos valores, resultando em 20 classificações corretas. Referente à classificação correta, houve a acurácia de 48,78% dos valores, sendo a taxa de acerto de 80% para a predição de dano ambiental baixo e 44,12% para predição de dano ambiental moderado. A treinamento apresentou melhor predição para o dano ambiental baixo e não houve predição considerada como correta para o dano do tipo extremo.

Em relação aos indicadores preditivos, os resultados apontam serem eles satisfatórios para sensibilidade para dano do tipo moderado (100%), especificidade para dano do tipo baixo (96,15%), alto (100%) e extremo (100%). Os altos níveis de especificidade estão associados ao alto índice de assertividade quanto a variáveis consideradas ausentes no modelo. A acurácia balanceada (média dos resultados da sensibilidade e especificidade) indica os danos do tipo baixo e moderado como melhores desempenhos preditivos.

6.2.3 Modelo II – *Random Forest* Cronológico

Os resultados do Modelo II podem ser considerados os que mais se aproximam da realidade, uma vez que são temporais, ou seja, o algoritmo realiza o cálculo à medida que os eventos são registrados. Os resultados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de confusão e indicadores preditivos – Modelo II

		Treino				Teste			
		Baixo	Moderado	Alto	Extremo	Baixo	Moderado	Alto	Extremo
		Predição	Baixo	9	15	0	1	11	9
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
		Indicadores preditivos							

	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 (2021).

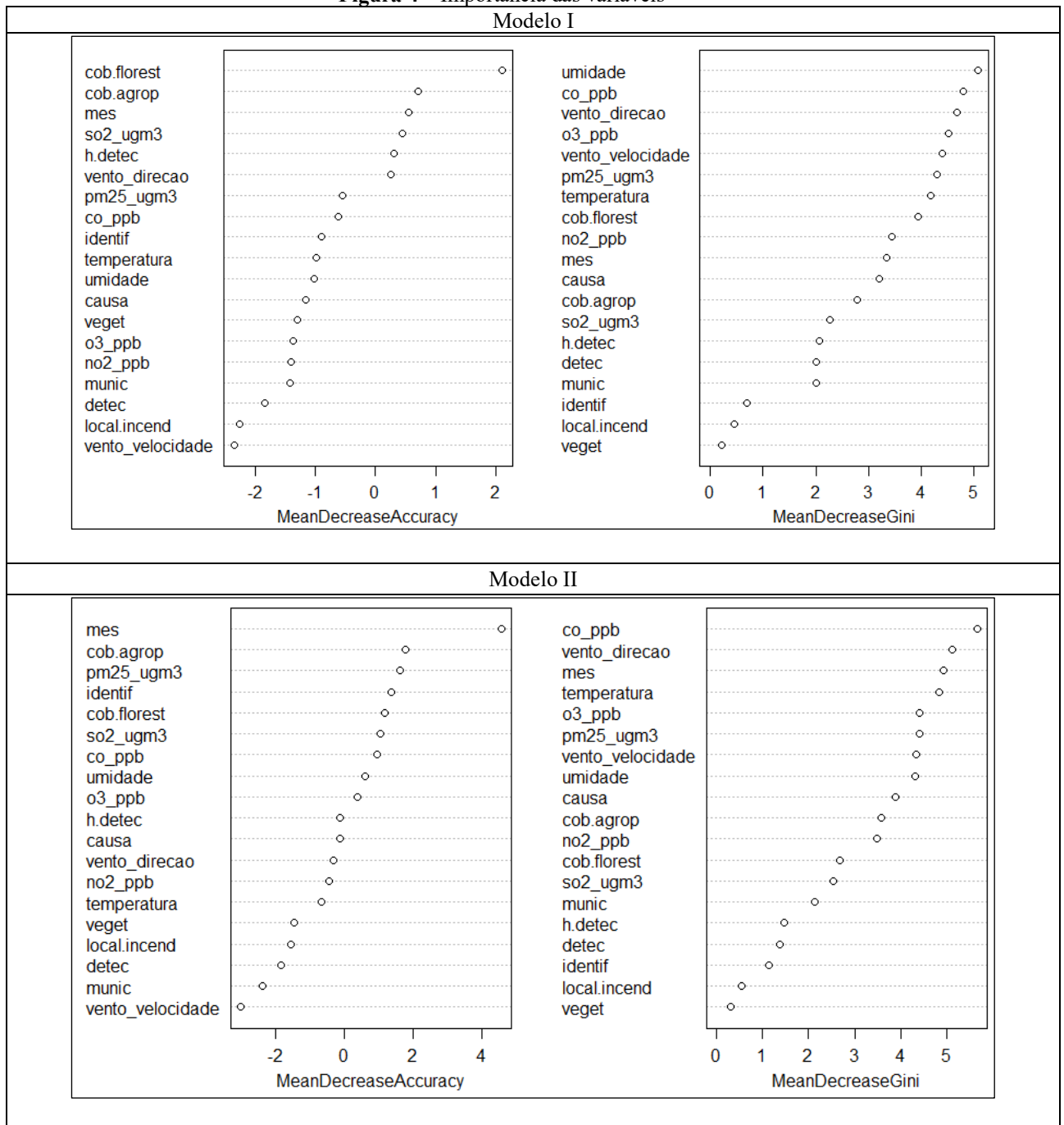
Na fase do treino, a matriz de confusão obteve 45 (46,49%) predições consideradas como corretas. A taxa de acerto com maior percentual foi destinada ao dano ambiental do tipo moderado (69,39%). Já na fase da testagem, o modelo gerou 20 predições consideradas como corretas, o que resultou em uma taxa de acurácia de 48,78%, igualmente encontrada no modelo I. Desses acertos, 52,38% foram preditos para o dano do tipo baixo e 45% para o dano do tipo moderado (percentuais com base nos valores totais preditos de cada classe).

Os indicadores de robustez da predição revelaram melhores resultados de acurácia balanceada para os danos do tipo baixo (61,52%) e moderado (51,09%), ou seja, as referidas classes de dano ambiental apresentaram maiores forças preditivas em relação às demais. Ressalta-se que a sensibilidade gerou resultados em 0% para os danos do tipo alto e extremo e, portanto, a combinação predita pode ter influenciado os altos índices de especificidade para as mesmas classes. Essa situação demonstra uma especificidade com predição correta de 100% para ausência de valores das classes.

6.3 Importância das Variáveis

A análise procurou relacionar as variáveis com maiores influências para a predição do dano ambiental. Foram utilizados dois parâmetros para avaliação de desempenho, sendo o *mean decrease accuracy* (MDA) e o *mean decrease Gini* (MDG) (Figura 4). O MDA, em português redução média da acurácia, é definido como a 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 na elaboração das árvores de decisão aleatórias presentes no *Random Forest* (Palczewska et al., 2014).

Figura 4 – Importância das variáveis



Fonte: Elaborado e calculado no *software* R Studio versão 1.3.1073 (2021).

É possível perceber, na Figura 4, que as variáveis com maiores influências nos modelos apresentados possuem marcadores posicionados para o lado direito do quadro. Verifica-se, ao fazer a confrontação das cinco primeiras variáveis de cada parâmetro entre os Modelos I e II, a seguinte apuração da importância:

- MDA – Cobertura agropecuária (cob.agrop), Mês (mes) e Cobertura floresta natural (cob.florest);
- MDG – Monóxido de carbono (co_ppb), Direção do vento (vento direcao) e Concentração de ozônio (o3_ppb).

As variáveis relatadas têm maior influência entre as demais, para a predição das classes de dano ambiental. Dessa forma, as oscilações de resultados das referidas variáveis terão maior impacto na definição de determinado tipo de dano ambiental, em relação às demais variáveis com níveis de importância menores.

6.4 Discussão dos Modelos I e II

Os Modelos I e II convergiram características que são necessárias para a compreensão e à adoção de medidas na gestão da APA do Alto do Mucuri. Ambos os modelos alcançaram acurácia de predição de dano ambiental em 48,78% na fase de teste, refletindo em uma capacidade preditiva melhor para o dano do tipo baixo e moderado. Sendo assim, caso o algoritmo *Random Forest* venha a classificar determinada ocorrência de incêndio como dano do tipo baixo ou moderado, há maiores chances de a predição estar correta, se comparada à classificação de dano ambiental do tipo alto ou extremo.

Na prática, isso significa dizer que, ao tomar conhecimento das características de um incêndio florestal, o gestor da unidade de conservação poderá utilizar o algoritmo *Random Forest* para realizar a predição da possível dimensão do dano ambiental e, por conseguinte, estabelecer a alocação de recursos necessários para o combate do incêndio florestal. Desse modo, a previsão auxiliará na tomada de decisões de maneira eficiente, uma vez que o conhecimento da proporção do incêndio florestal propiciará a distribuição de recursos humanos, materiais, equipamentos e transportes com maior efetividade e menor gasto público.

Ressalta-se que o algoritmo *Random Forest*, por ser uma técnica de aprendizado de máquina, tende a gerar resultados cada vez mais assertivos em relação ao poder preditivo, à medida que a sua base de dados seja alimentada. A aprendizagem de máquina executa decisões baseadas no sucesso de experiências anteriores (Monard & Baranauskas, 2003). Isso significa que a acurácia dos Modelos I e II obterá evolução positiva de resultados com o acréscimo contínuo dos ROIs na compilação de dados a serem aplicados pelo algoritmo *Random Forest*.

Quanto à investigação da importância das variáveis, verificou-se que as variáveis de destaque são, principalmente, do grupo condições climáticas, poluentes atmosféricos e dados de cobertura agropecuária e floresta natural. Importante mencionar que os referidos grupos de informações não são encontrados nos atuais formulários de preenchimento do ROI. Logo, sugere a reformulação do registro de ocorrência de incêndio, no intuito de incorporar esses elementos relevantes para o perfil de incêndio.

7 Considerações Finais

Com o objetivo de analisar as contribuições preditivas do dano ambiental para a gestão pública no combate a incêndios florestais, abordou-se a utilização do algoritmo *Random Forest* como potencial ferramenta para gestão da APA do Alto do Mucuri. Assim sendo, foram utilizados, como base amostral, os ROIs apresentados pela unidade de conservação entre os anos 2014 a 2018.

Por intermédio dos ROIs foi traçado o perfil dos incêndios florestais da APA do Alto do Mucuri. Foi identificado o registro de 14.729,92 hectares de vegetação queimada, sendo, principalmente, do tipo Floresta Estacional Semidecidual (bioma Mata Atlântica). Sobre os municípios com maiores incidências de queimadas foram destacados Ladainha (56,52%) e Itaipé (23,19%), localidades totalmente inseridas dentro da área da APA do Alto do Mucuri e que demandam maior atenção para medidas preventivas desse tipo de evento.

Durante os cinco anos estudados, observou-se um período crítico de incêndios florestais entre os meses de agosto a novembro. A principal causa relatada das ocorrências dos eventos

foram desconhecidas (55,07%) e atividade agropecuária (28,26%). Segundo Ramos, Fonseca, e Morello (2016), normalmente, há a contratação de brigadistas para o alívio da demanda de combate de incêndios durante o período crítico.

Sobre a aplicação do *Random Forest* nos Modelos I (aleatório) e II (cronológico), verificou-se acurácia de 48,78% em ambos, com melhores capacidades preditivas para o dano ambiental do tipo baixo e moderado. Os fatores determinantes para a ocorrência de incêndio foram medidos em dois parâmetros: o MDA, que resultou nas variáveis mais relevantes Cobertura agropecuária, Mês e Cobertura floresta natural e o MDG, com as variáveis Monóxido de carbono, Direção do vento e Concentração de ozônio, como as mais importantes do modelo.

Foi observado que as variáveis mais importantes para a predição do dano ambiental não são encontradas nos atuais formulários ROI da APA do Alto do Mucuri. Esses elementos são fatores necessários para a melhor compreensão das queimadas e, portanto, sugere-se a reformulação do formulário ROI para a inclusão dessas características nas ocorrências.

A utilização do algoritmo *Random Forest* na administração pública servirá para ajudar a definir melhores decisões a serem tomadas diante dos incêndios florestais. Em situação hipotética, entre duas ocorrências de incêndios florestais, o gestor da unidade de conservação poderá alocar um número maior de brigadistas, equipamentos e transportes no evento que demonstrar maior dimensão de dano ambiental, após classificação de dano ambiental pelo algoritmo *Random Forest*. Dessa forma, a tendência é a melhor distribuição de recursos disponíveis e a adoção de logísticas com maior eficiência de combate às queimadas.

Os resultados alcançados são positivos e tendem a ser aperfeiçoados, conforme a base de dados é alimentada. Ressalta-se que a análise de predição de dano ambiental pode ser estendida às demais unidades de conservação, demonstrando flexibilidade na utilização de mais ou menos variáveis. Como delimitação do estudo, não foram encontrados dados confiáveis para a utilização de outros fatores que pudessem colaborar no desempenho dos modelos preditos, como, por exemplo, dados de precipitação e temperatura.

Por fim, propõe-se a adoção da técnica de aprendizado de máquina para administração pública de unidades de conservação, sobretudo para o combate de incêndios florestais. Para isso, é recomendado o registro contínuo dos ROIs em uma base de dados sistemática e on-line com amplo acesso das partes interessadas, interligada a um *software* de fácil manuseio para utilização do algoritmo *Random Forest*.

Referências

- Anderson, L. O., et al. (2019). 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*, 1(26), 43–61. [Link](#)
- Barbosa, J. H. de F. (2017). Early Warning System para Distress Bancário no Brasil (Tese de Doutorado). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade (FACE), Universidade de Brasília. [Link](#)
- Barros, C. B. (2019). Classificadores de regressão logística, Naive Bayes e Random Forest na análise do Tropismo do HIV-1 de subtipo B (Dissertação de Mestrado). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. [Link](#)

- Beighley, M., & Hyde, A. C. (2018). Portugal Wildfire Management in a New Era: Assessing Fire Risks, Resources and Reforms. *Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa*. [Link](#)
- Bontempo, G. C., et al. (2011). Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI): evolução, desafios e recomendações. *Biodiversidade Brasileira*, n.(2), 247-263. [Link](#)
- Brasil. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. *Diário Oficial da União*, 1, 05 out. 1988. [Link](#)
- Brasil. (1981). Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 16509, 02 set. 1981. [Link](#)
- Brasil. (2000). Lei 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 1, 19 Jul. 2000. [Link](#)
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. [Link](#)
- Cunha, A. L., Oliveira, A. P. C., & Barbalho, M. G. S. (2017). Unidade de Conservação Ambiental. *Anais SNCMA*, 8(1). [Link](#)
- Fahel, M. C. X., Leite, G. P., & Teles, L. R. (2014). Pobreza multidimensional no estado de Minas Gerais: uma mensuração para além da renda. *Revista Brasileira de Monitoramento e Avaliação*, 8, 50-69. [Link](#)
- Felippe, M. F., Bueno, J., & Costa, A. (2009). 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)*, 16, 2713–2720.
- Godoy, L. R. C., & Leuzinger, M. D. (2015). O financiamento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação no Brasil: características e tendências. *Revista de Informação Legislativa*, 52(206), 223. [Link](#)
- IBAMA. (2010). Perfil dos Incêndios Florestais Acompanhados pelo IBAMA. Prevfogo. [Link](#)
- IBAMA. (2009). Relatório de ocorrências de incêndios em Unidades de Conservação Federais 2005-2008. Prevfogo. [Link](#)
- IEF. (2017). Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Alto do Mucuri. Encarte 2 – planejamento. Belo Horizonte, MG.
- INPE. (2022). Monitoramento dos focos ativos por Estado. [Link](#)
- INPE. (2020). Perguntas frequentes. Programa Queimadas. [Link](#)

- Jesus, J. B., et al. (2020). Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. *Ciência Florestal*, 30(1), 176-191. [Link](#)
- Leite, J. P. R., Araújo, D. L. S., & Duarte, M. D. D. C. (2018). Reflexos e considerações sobre a implementação do cadastro nacional de unidades de conservação do estado do Piauí. *Sustentare*, 2(1), 20–31. [Link](#)
- Lima, G. S., et al. (2018). Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. *Floresta*, 48(1), 113–122. [Link](#)
- Lima, G. S., & Soares, R. V. (1992). Avaliação de eficiência de combate aos incêndios florestais no Brasil. *Floresta*, 22(1/2), 25-38.
- Medeiros, M. B. DE, & Fiedler, N. C. (2004). Incêndios florestais no parque nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. *Ciência Florestal*, 14(2), 157–168. [Link](#)
- Medeiros, R. (2006). Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, 9(1), 41–64.
- Minas Gerais. (2011). Decreto no 45.877, de 30 de dezembro de 2011. Fica criada como Área de Proteção Ambiental – APA – do Alto do Mucuri a área situada nos Municípios de Carai, Catuji, Itaipé, Ladainha, Novo Cruzeiro, Malacacheta, Poté e Teófilo Otoni. Diário do Executivo. [Link](#)
- Mistry, J., & Bizerril, M. (2011). Por que é importante entender as inter-relações entre pessoas, fogo e áreas protegidas? *Biodiversidade Brasileira*, n.(2), 40-49. [Link](#)
- Monard, M. C., & Baranauskas, J. A. (2003). Conceitos sobre aprendizado de máquina. *Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações*, 1(1), 32.
- MMA. (2019). Consulta - Relatórios de UC. [Link](#)
- Oshiro, T. M. (2013). Uma abordagem para a construção de uma única árvore a partir de uma Random Forest para classificação de bases de expressão gênica (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo. [Link](#)
- Palczewska, A., et al. (2014). Interpreting random forest classification models using a feature contribution method. In: *Integration of reusable systems*, 193–218. [Link](#)
- Parizzi, M. G. (2022). Panorama dos desastres climatológicos, hidrológicos, meteorológicos e geológicos durante o período de 2010 – 2019. *Derbyana*, 43. [Link](#)
- Peccatiello, A. F. O. (2011). 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*, 24. [Link](#)

- Pereira, J. M. (2016). Políticas públicas florestal e de proteção à biodiversidade em prol da APA do Alto do Mucuri (Dissertação de Mestrado). UFVJM. [Link](#)
- Pereira, R. S. (2018). Avanços e desafios em áreas protegidas: um estudo da APA do Alto do Mucuri no município de Ladainha - MG (Dissertação de Mestrado em Administração Pública). UFVJM. [Link](#)
- Praes, E. O. (2012). Código florestal brasileiro: evolução histórica e discussões atuais sobre o novo código florestal. *VI Colóquio Internacional "Educação e Contemporaneidade"*. [Link](#)
- Ramos, R. M., Fonseca, R. L., & Morello, T. F. (2016). Unidades de conservação e proteção contra incêndios florestais: relação entre focos de calor e ações articuladas pelas
- Ramos, R. M., Fonseca, R. L., & Morello, T. F. (2016). Unidades de conservação e proteção contra incêndios florestais: relação entre focos de calor e ações articuladas pelas brigadas contratadas. *Revista Biodiversidade Brasileira*, *n*(2). [Link](#)
- Rodrigues, M. M. T. (2009). 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). Universidade de Açores, Bragança. [Link](#)
- Roriz, P. A. C., & Fearnside, P. M. (2015). A construção do Código Florestal Brasileiro e as diferentes perspectivas para a proteção das florestas. *Novos Cadernos NAEA*, *18*(2), 28 dez. 2015. [Link](#)
- Santos, H. G. (2018). Comparação da performance de algoritmos de machine learning para a análise preditiva em saúde pública e medicina (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo. [Link](#)
- Santos, J. F., Soares, R. V., & Batista, A. C. (2006). Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. *Floresta*, *36*(1), 93-100. [Link](#)
- Santos, W. S. S., Souto, P. C., & Souto, J. S. (2018). Riscos de incêndios florestais em unidades de conservação no bioma Mata Atlântica, Paraíba, Brasil. *Agropecuária Científica no Semiárido*, *14*(4). [Link](#)
- Sauer, S. N., & França, F. C. (2012). Código Florestal, função socioambiental da terra e soberania alimentar. *Caderno CRH*, *25*(65). [Link](#)