

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

DANÚSIA AMORIM SOUTO

**GESTÃO DO FOGO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, MINAS
GERAIS**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

DANÚSIA AMORIM SOUTO

**GESTÃO DO FOGO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, MINAS
GERAIS**

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

Orientador: Gumercindo Souza Lima
Coorientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

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

T

S728g
2021 Souto, Danúcia Amorim. 1994-
Gestão do fogo no Parque Nacional da Serra da Canastra,
Minas Gerais / Danúcia Amorim Souto. – Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (50 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Gumercindo Souza Lima.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.092>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Incêndios florestais - Minas Gerais. 2. Áreas protegidas -
Minas Gerais. 3. Florestas - Manejo - Minas Gerais. 4. Parque
Nacional da Serra da Canastra (MG). I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.943

DANÚSIA AMORIM SOUTO

**GESTÃO DO FOGO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, MINAS
GERAIS**

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

APROVADA: 15 de julho de 2021.

Assentimento:



Danúsia Amorim Souto
Autora



Gumercindo Souza Lima
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida pela vida, pelas bênçãos e ensinamentos no caminho até aqui. À tudo e todos que me iluminam e dão forças.

À minha mãe Angela M. A. Siqueira, por ter dedicado sua vida a criar e amar meu irmão e eu, por continuar a fazer isso com toda sua empolgação e alegria até hoje, independente do caminho que eu tome sei que me acompanha seja de perto ou pelas orações.

Ao meu pai Daniel F. Souto, por construir comigo meu caráter, pela infância encantada pelos filmes assistidos juntos, por todo suporte aos meus estudos e por confiar nas minhas escolhas me apoiando por toda vida.

Ao meu irmão Daniel Defilipe, pela cumplicidade, pelo acolhimento e liberdade para compartilhar todas as minhas fases sem julgamentos.

Ao meu namorado Rafael Alves, por todos esses anos me apoiando em cada nova jornada, sempre com muito carinho e atenção, por se fazer presente até mesmo à distância.

Aos meus anjos, minhas avós Angélica e Maria, meus avôs Antônio e Vicente, minha madrinha Dóris, por cada momento e memória cheios de amor. Aos tios e tias, primas e primos que são muitos e formam minha rede de apoio.

À Amanda Pinheiro minha melhor amiga desde sempre, por me levar para Viçosa, por ouvir, ajudar, participar, compartilhar e me tirar as melhores risadas.

Ao meu trio da Gestão Ambiental, Talita Ferreira e Máira Anacleto, minhas parceiras da faculdade para vida, obrigada por dividirem tantos momentos incríveis comigo.

Ao meu trio do mestrado, Fábria Souza e Ítalo Nunes, que contribuíram com este trabalho, com meu crescimento pessoal e com todos os momentos de amizade estudando na salinha, lanchando no RU ou só batendo papo no laboratório.

Às mulheres que me inspiram na pesquisa e na vida, Lydiane Bastos, Mayra de Castro e Ana Nogueira. Ao maior e mais amado grupão do DEF, que animou os dias e noites de estudo na salinha da pós e se tornou uma família em Viçosa.

Ao GEIA Mata que me acolheu na UFV e se tornou parte essencial da minha vida e uma experiência inestimável para além do meu currículo.

Ao meu orientador Gumercindo Lima que sempre acolheu minhas ideias, pelos ensinamentos, sempre muito paciente e humano. Ao meu coorientador Fillipe Torres pela prontidão em ajudar em todos os momentos e dedicar-se a melhoria deste trabalho.

À Pós-Graduação em Ciência Florestal.

À Universidade Federal de Viçosa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

SOUTO, Danúsia Amorim, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Gestão do fogo no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais**. Orientador: Gumercindo Souza Lima. Coorientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres.

Esta pesquisa teve como área de estudo o Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), situado no estado de Minas Gerais, Brasil e analisou dados inerentes às ocorrências de fogo e às características naturais do parque, a fim de otimizar o planejamento de prevenção e combate ao fogo. Este estudo foi dividido em dois capítulos, no primeiro objetivou-se avaliar a eficiência de combate a incêndios e analisar as causas do fogo, traçando um perfil dos incêndios no PNSC do ano de 2008 a 2018, utilizando os Registros de Ocorrências de Incêndios (ROI). Os dados dos registros foram tabulados gerando as estatísticas sobre área queimada, causas, tempo de ataque e de combate e número de combatentes. Resultados de maior número de ocorrências, três anos empataram com 15 (2008, 2011 e 2012) e 2012 a maior área queimada. Pela classificação por tamanho, a maioria dos anos enquadraram-se na classe V (>200 ha). Na análise do número de ocorrências e área queimada por causas, respectivamente, registrou-se queima de limpeza (41%, 21%), diversos (22%, 46%), raios (17%, 1%) e incendiários (16%, 31%). Houveram mais ocorrências na área não regularizada do PNSC, porém a regularizada queimou mais. Quanto ao tempo de ataque, a maioria dos anos enquadra-se na classe de tempo IV. No tempo de combate repete-se classe IV e os anos 2017 e 2012 tiveram maiores durações. As causas relacionadas as ações antrópicas se destacaram em número e área queimada. A eficiência no tempo de ataque e combate a incêndios diminuiu, necessitando melhoria nos planos de ação, contratação e treinamento de funcionários e brigadistas, para atender uma área tão extensa e complexa como a do PNSC. No segundo capítulo objetivou-se definir um mapa de suscetibilidade a incêndios, analisando a influência de fatores como relevo, clima, cobertura do solo e ocorrências de incêndio utilizando um sistema de informações geográficas. Foram produzidos mapas de declividade, exposição de vertentes, radiação solar e o mapa de uso e cobertura do solo, adaptado do projeto MapBiomas, seguindo três modelos que distribuem notas para cada variável, cruzaram-se os mapas gerando seis cartogramas que foram sobrepostos aos focos de calor do INPE para validação. Os fatores analisados demonstraram como as características do PNSC influenciam na ignição e propagação do fogo, as pastagens apresentam maior área e número de focos (47% e 37%), a formação campestre (25%) aparenta reincidência de incêndios pelo alto número de focos (34%), as particularidades da área quanto a baixa declividade (73%) e alta radiação solar (51%) nos Chapadões delimitam as áreas de alta

e altíssima suscetibilidade. O mapa 4 do modelo 2, teve maior eficiência para previsão da suscetibilidade a incêndios, com número de focos por hectare crescente da classe de baixíssima para a de altíssima suscetibilidade, tendo mais de 70% da área nas classes de baixa suscetibilidade e o maior número de focos estão nas classes de média e altíssima suscetibilidade. Por tanto, o mapa de suscetibilidade gerado será eficiente para prever e entender a suscetibilidade ao fogo no PNSC e poderá auxiliar nas tomadas de decisão dos gestores.

Palavras-chave: Áreas protegidas. Incêndios florestais. Gestão.

ABSTRACT

SOUTO, Danúcia Amorim, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2021. **Fire management in Serra da Canastra National Park, Minas Gerais.** Advisor: Gumerindo Souza Lima. Co-advisor: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres.

This research had as study area the Serra da Canastra National Park (PNSC), located in the state of Minas Gerais, Brazil. It analyzed data on fire occurrences and the park's natural characteristics, in order to optimize fire prevention and combat planning. This study was divided into two chapters, the first aimed at evaluating the efficiency of firefighting and analyzing the causes of fire, drawing a profile of fires in the PNSC from 2008 to 2018, using the Fire Occurrence Records. Data were tabulated generating statistics on burned area, causes, attack and combat time and number of combatants. In the results, the highest number of occurrences, with 15 per year, tied for three years (2008, 2011 and 2012) and 2012 had the largest burned area. By size classification, most years fall into class V (>200 ha). In the analysis of the number of occurrences and area burnt by causes, respectively, there was cleaning burning (41%; 21%), various (22%; 46%), lightning (17%; 1%) and arsonist (16%; 31%). There were more occurrences in the non-regulated area of the PNSC, but the regularized area burned more. As for the attack time, most years fall into time class IV. In combat time, it is class IV and the years 2017 and 2012, had longer durations. The causes related to man stood out in number and burned area. Efficiency in the time of attack and firefighting decreased, necessitating improvement in action plans, hiring and training employees and firefighters, to serve an area as extensive and complex as that of the PNSC. The second chapter aimed to define a fire susceptibility map, analyzing the influence of factors such as relief, climate, land cover and fire occurrences using a geographic information system. Maps of slope, slope exposure, solar radiation were produced; the land use and land cover map was adapted from the MapBiomias project. Following three models that distribute grades for each variable, the maps were crossed generating six cartograms that will be superimposed on the INPE heat sources for validation. The factors analyzed demonstrated how the characteristics of the PNSC influence the ignition and spread of fire. The pastures have a larger area and number of hot spots (47% and 37%), the rural formation (25%), appears to have a recurrence of fire due to the high number of hot spots (34%). The particularities of the area in terms of low slope (73%) and high solar radiation (51%) in Chapadões delimit the areas of high and very high susceptibility. Map 4 of model 2 had greater efficiency in predicting fire susceptibility, with increasing number of outbreaks per hectare from the very low to the very high susceptibility class, having more than 70% of the

area in the low susceptibility classes and the largest number of hot spots are in the medium and very high susceptibility classes. Therefore, the generated map will be efficient to predict the susceptibility to fire in the PNSC and can help in decision-making by managers.

Keywords: Protected area. Forest fire. Management.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	13
RESUMO	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE COMBATE A INCÊNDIOS E ANÁLISE DE CAUSAS DO FOGO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, MINAS GERAIS.	17
1.0. INTRODUÇÃO.....	17
2.0. METODOLOGIA.....	18
2.1. Área de estudo	18
2.2. Análise dos Registros de Ocorrências de Incêndio	18
3.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.0. CONCLUSÃO.....	28
5.0. REFERÊNCIAS	29
RESUMO	31
ABSTRACT	32
CAPÍTULO II - MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE A INCÊNDIOS NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, MINAS GERAIS.	33
1.0. INTRODUÇÃO.....	33
2.0. METODOLOGIA.....	34
2.1. Área de estudo	34
2.2. Elaboração dos mapas	35
2.3. Distribuição de notas	37
2.4. Álgebra de mapas	39
3.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.0. CONCLUSÃO.....	47
5.0. REFERÊNCIAS	48
CONCLUSÕES GERAIS	50

INTRODUÇÃO GERAL

O fogo, a princípio, é um distúrbio natural e somente acontece na presença de um combustível (madeira, papel, gasolina), um comburente (geralmente o oxigênio) e uma fonte de calor para sua ignição. Apesar de natural, representa um grande perigo em muitas regiões do mundo, moldando e alterando a estrutura da cobertura vegetal, regulando a distribuição de ecossistemas e ainda representa uma ameaça aos humanos (Zumbrunnen et al. 2011)

A utilização do fogo acompanha o ser humano desde os tempos mais antigos da civilização, para o próprio aquecimento ao uso na vida cotidiana, como ferramenta para limpeza do terreno, ou para melhorar a fertilidade do solo (Camargos et al. 2010; Heydari et al. 2016). No entanto, com o uso indiscriminado e a falta de conhecimento sobre o comportamento do fogo, criou-se um dos principais conflitos ambientais, tornando os incêndios florestais uma questão ambiental e ecológica de importância mundial (Zhang et al. 2016).

Muito estuda-se sobre os regimes de fogo (Bradstock, 2010; Ferreira-leite et al. 2013; Adamek et al. 2015; Aquilué et al. 2019; Fernández-García et al. 2020), na tentativa de entender seu comportamento, quais fatores influenciam, sua interação com o clima, vegetação, topografia e como a mudança dessas variáveis os afetam. Principalmente a fim de aplicar esse conhecimento para prevenir os grandes danos que um incêndio sem controle pode causar.

O regime de fogo pode ser definido como a combinação de características como frequência, intensidade, sazonalidade, tipo e tamanho dos incêndios ocorridos em dado local (Argibay et al. 2020). E com a atual crise climática que a Terra está inserida, a preocupação com a mudança nesses regimes de fogo tem aumentado, visto que o clima tem forte relação com características dos incêndios, podendo aumentar a frequência e a intensidade desses eventos.

No Brasil os números de áreas queimadas vêm aumentando anualmente. Incêndios queimando biomas que não queimariam naturalmente, como a Amazônia e o Pantanal, que são biomas que abrigam ecossistemas biodiversos, mas sem nenhuma afinidade com o fogo. Encontram-se então as causas antrópicas do fogo, como queima de lixo, queima para limpeza em pastagens, desmatamento ilegal, vandalismo, fogos de recreação ou festividades.

Os incêndios são um dos principais conflitos enfrentados pelas Unidades de Conservação (UCs) no Brasil. As UCs são áreas destinadas a conservação da biodiversidade e ao uso sustentável dos seus recursos e além desses, seus objetivos variam de acordo com o tipo de Unidade, Proteção Integral ou Uso Sustentável, com o bioma que está inserida e suas principais características (Brasil, 2000). No entanto, os incêndios colocam em risco todos esses

objetivos, tornando-se necessário, ter grande conhecimento sobre as características ambientais da área e do histórico de ocorrência de incêndios, para manejar de forma mais eficiente os próximos eventos.

O planejamento de prevenção, detecção e combate aos incêndios deve ser um elemento básico em todas as UCs, geralmente requer investimentos em manutenção de aceiros, campanhas de educação ambiental, sistema de alerta e fiscalização, comunicação, ferramentas, máquinas e equipamentos de combate, contratação e treinamento de pessoal e brigada de incêndios (Tebaldi et al. 2013).

O Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI) foi criado na década de 90 e tinha como objetivo sistematizar as ocorrências de fogo nas UCs e facilitar o planejamento de ações de prevenção e combate a incêndios florestais (Bontempo, 2011). Ainda nos tempos atuais o preenchimento e a utilização dos ROIs ainda são um problema e um desafio. Mas os dados contidos nesses registros ainda contribuem muito para o entendimento do perfil dos incêndios ocorridos na UC e quando bem analisados dão um parâmetro da situação da gestão do fogo.

Outra forma de analisar e tentar prever os incêndios, faz-se aplicando as tecnologias de geoprocessamento, por sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas que permitem manipular uma grande quantidade de informações, sendo considerados uma ferramenta poderosa para a visualização de diferentes tipos de dados, como vegetação, uso e cobertura do solo, hidrografia, topografia e outros (Ahmad e Goparaju, 2018). Com grande potencial de monitorar, detectar focos de calor e gerar mapas de suscetibilidade ou risco, ultrapassando as limitações físicas e financeiras que os gestores enfrentam nas UCs.

Nesse sentido encontram-se algumas pesquisas sobre o planejamento e combate aos incêndios em Unidades de Conservação, a nível Nacional nos estudos de Torres e colaboradores (2016) e de Lima e colaboradores (2018), pelos Biomas da Amazônia (Nóbrega Spínola et al. 2020), Mata Atlântica (Aximoff et al. 2011; Torres et al. 2018) e Cerrado (Fiedler et al. 2006; Magalhães et al. 2012; Carvalho et al. 2017; Silva et al. 2018) com um grande número de pesquisas demonstrando a importância de estudar de forma específica cada Unidade.

O Parque Nacional da Serra da Canastra é uma UC bastante emblemática desde sua criação e o fogo é tanto um problema como um aliado desde então. Criado pelo Decreto nº 70.355 de 1972, possuindo 197.787,00 hectares, no entanto a regularização fundiária só ocorreu em 71.525,00 ha, onde está inserido o Chapadão da Canastra, o chamado Chapadão da Babilônia continua não regularizado e ainda encontram-se propriedades particulares (IBAMA, 2005).

O processo de desapropriação do PNSC foi conturbado e provocou conflitos territoriais, devido a problemas de regularização fundiária e a dificuldades de acesso e fiscalização, diversas vezes se discutiu sobre a permanência ou retirada das áreas do Chapadão da Babilônia do total do Parque. Um dos motivos de conflito com a população, em sua maioria produtores rurais, foram as restrições atribuídas ao manejo tradicional, que incluía a utilização de queimadas para a renovação das pastagens no período de inverno, essa mudança na visão dos produtores se tornaria um prejuízo (Messias e Ferreira, 2019).

Perante tal conflito o fogo passa a ser um problema maior do que o deveria ser, já que o PNSC está dentro do Bioma do Cerrado que é conhecido pela afinidade ou resistência de algumas espécies ao fogo. Porém quando provocado de forma não natural e sem controle, diferente do fogo natural e benéfico para tais espécies, acaba por criar incêndios florestais de grande extensão e severidade (Magalhães et al. 2012). Juntamente a mudança no uso e ocupação da terra nessas áreas, faz-se cada vez mais necessário estudar o histórico do fogo, planejar e atualizar ações de prevenção e combate a incêndios.

Diante do exposto, esse trabalho fornece informações sobre o perfil dos incêndios, a eficiência de combate ao fogo, análise das características ambientais mais influentes na suscetibilidade a incêndios e produz um mapa de suscetibilidade para o Parque Nacional da Serra da Canastra, com objetivo de acumular maior conhecimento sobre a gestão do fogo no Parque e contribuir para melhoria do planejamento de prevenção e combate a incêndios.

REFERÊNCIAS

- ADÁMEK, M., BOBEK, P., HADINCOVÁ, V., WILD, J., KOPECKÝ, M. Forest fires within a temperate landscape: A decadal and millennial perspective from a sandstone region in Central Europe. **Forest Ecology and Management**, v. 336, 2015.
- AHMAD, F., GOPARAJU, L. Climate change and its impact on Forest Fire in the state of Himachal Pradesh and Uttarakhand states of India: Remote Sensing and GIS Analysis. **Contemporary Trends In Geoscience**, v. 7, 2018.
- AQUILUÉ, N., FORTIN, M. J., MESSIER, C., BROTONS, L. The Potential of Agricultural Conversion to Shape Forest Fire Regimes in Mediterranean Landscapes. **Ecosystems**, v. 23, 2019.
- ARGIBAY, D. S., SPARACINO, J., ESPINDOLA, G. M. A long-term assessment of fire regimes in a Brazilian ecotone between seasonally dry tropical forests and savannah. **Ecological Indicators**, v. 113, 2020.
- AXIMOFF, I., RODRIGUES, R. C. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. **Ciência Florestal**, v. 21, 2011.
- BONTEMPO, G. C., LIMA, G. S., RIBEIRO, G. A., DOULA, S. M., SILVA, E. Registro de Ocorrência de Incêndio (ROD): evolução, desafios e recomendações. **Biodiversidade Brasileira**, v. 1, 2011.
- BRADSTOCK, R. A. A biogeographic model of fire regimes in Australia: current and future implications. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, 2010.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 jul. 2000. Seção 1, p. 45-48.
- CAMARGOS, V. L., MARTINS, S. V., RIBEIRO, G. A., CARMO, F. M. S., SILVA, A. F. Avaliação do impacto do fogo no estrato de regeneração em um trecho de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 34, 2010.
- CARVALHO, E. V., BATISTA, A. C., COELHO, M. C. B., NEVES, C. O. M., SANTOS, G. R., GIONGO, M. Caracterização de áreas queimadas no estado do Tocantins no ano de 2014. **Floresta**, v. 47, 2017.
- FERREIRA-LEITE, F., BENTO-GONÇALVES, A., LOURENÇO, L., ÚBEDA, X., VIEIRA, A. Grandes incêndios florestais em Portugal continental como resultado das perturbações nos regimes de fogo no mundo Mediterrâneo. **Silva Lusitana**, v. 21, 2013.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, V., MARCOS, E., FULÉ, P. Z., REYES, O., SANTANA, V. M., CALVO, L. Fire regimes shape diversity and traits of vegetation under different climatic conditions. **Science of the Total Environment**, v. 716, 2020.

- FIEDLER, N. C., MERLO, D. A., MEDEIROS, M. B. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, v. 16, 2006.
- HEYDARI, M., FARAMARZI, M., POTHIER, D. Post-fire recovery of herbaceous species composition and diversity, and soil quality indicators one year after wildfire in a semi-arid oak woodland. **Ecology Eng**, v. 94, 2016.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Plano de manejo do parque Nacional da Serra da Canastra. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2005.**
- LIMA, G. S., TORRES, F. T. P., COSTA, A. G., FÉLIX, G. A., JUNIOR, M. R. S. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. **Floresta**, v. 48, 2018.
- MAGALHÃES, S. R., LIMA, G. S., RIBEIRO, G. A. Avaliação dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional da Serra da Canastra – Minas Gerais. **Cerne**, v. 18, 2012.
- MESSIAS, C. G., FERREIRA, M. C. Parque Nacional da Serra da Canastra: Aspectos físicos e socioeconômicos. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia**, v. 15, 2019.
- NÓBREGA SPÍNOLA, J., SILVA, M. J. S., SILVA, J. R. A., BARLOW, J., FERREIRA, J. A shared perspective on managing Amazonian sustainable-use reserves in an era of megafires. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, 2020.
- SILVA, A. A. C., VIDAL, J. M. C., SILVA, R. A., LACORTE, G. A. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra e a implementação de manejo integrado do fogo. **ForScience**, v. 6, 2018.
- TEBALDI, A. L. C., FIEDLER, N. C., JUVANHOL, R. S., DIAS, H. M. Ações de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais nas Unidades de Conservação Estaduais do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 20, 2013.
- TORRES, F. T. P., LIMA, G. S., COSTA, A. G., FÉLIX, G. A., JUNIOR, M. R. S. Perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. **Floresta**, v. 46, 2016.
- TORRES, F. T. P., TORRES, C. M. M. E., LIMA, G. S., MARTINS, S. V., MENDES, A. E. O., PADOVANI, M. T., SIQUEIRA, R. G., MOREIRA, G. F., VALVERDE, S. R. Análise do perfil dos incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e entorno (MG). **Ciência Florestal**, v. 28, 2018.
- ZHANG, Y., LIM, S., SHARPLES, J. J. Modelling spatial patterns of wildfire occurrence in South-Eastern Australia. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, 2016.
- ZUMBRUNNEN, T., PEZZATTI, G. B., MENÉNDEZ, P., BUGMANN, H., BÜRGI, M., CONEDERA, M. Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. **Forest Ecology and Management**, v. 261, 2011.

RESUMO

SOUTO, Danúsia Amorim, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Avaliação da eficiência de combate a incêndios e análise de causas do fogo no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais.** Orientador: Gumercindo Souza Lima. Coorientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres.

Os regimes de fogo estão mudando e a tendência de incêndios mais frequentes coloca em alerta áreas naturais protegidas, como as Unidades de Conservação. Objetivou-se avaliar a eficiência de combate ao fogo e definir o perfil dos incêndios entre 2008 e 2018 no Parque Nacional da Serra da Canastra, utilizando os Registros de Ocorrências de Incêndios. Os dados dos registros foram tabulados gerando as estatísticas sobre área queimada, causas, tempo de ataque e de combate e número de combatentes. Resultados quanto ao maior número de ocorrências três anos empataram com 15 (2008, 2011 e 2012) e em 2012 a maior área queimada. Pela classificação por tamanho, a maioria dos anos enquadraram-se na classe V (>200 ha). Na análise do número de ocorrências e área queimada por causas, respectivamente, registrou-se queima de limpeza (41%, 21%), Diversos (22%, 46%), raios (17%, 1%) e incendiários (16%, 31%). Houveram mais ocorrências na área não regularizada do PNSC, porém a regularizada queimou mais. Quanto ao tempo de ataque o ano 2018 se destaca com 1.010 min, a maioria dos anos enquadra-se na classe de tempo IV. No tempo de combate a classe IV se repete e os anos de 2017 e 2012 tiveram maiores durações. O gráfico de correlações aponta relação positiva entre número de combatentes, área queimada e tempo de combate, indicando que mesmo com mais homens o combate tem durado mais e queimado mais. Percebe-se que os incêndios no PNSC acontecem no período de seca e tem queimado em média menos áreas do que nos anos anteriores, mas ainda classificam-se maiores que os estudados no Brasil. As causas relacionadas ao homem se destacaram em número e área queimada. A eficiência no tempo de ataque e combate a incêndios diminuiu, necessitando melhoria nos planos de ação, contratação e treinamento de funcionários e brigadistas, para atender uma área tão extensa e complexa como a do PNSC.

Palavras-chave: Cerrado. Regime de fogo. Prevenção de incêndios.

ABSTRACT

SOUTO, Danúcia Amorim, M.Sc., Federal University of Viçosa, July 2021. **Evaluation of firefighting efficiency and analysis of fire causes in Serra da Canastra National Park, Minas Gerais.** Advisor: Gumercindo Souza Lima. Co-advisor: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres.

Fire regimes are changing and the trend of more frequent fires puts areas destined for nature conservation, such as Conservation Units, on the alert. The objective was to evaluate the firefighting efficiency and define the fire profile from 2008 to 2018 in the Serra da Canastra National Park, using the Fire Occurrence Records. Data from the records were tabulated, generating statistics on burned area, causes, time of attack and combat, and number of combatants. Data were tabulated generating statistics on burned area, causes, attack and combat time and number of combatants. In the results, the highest number of occurrences, with 15 per year, tied for three years (2008, 2011 and 2012) and 2012 had the largest burned area. By size classification, most years fall into class V (>200 ha). In the analysis of the number of occurrences and area burnt by causes, respectively, there was cleaning burning (41%; 21%), various (22%; 46%), lightning (17%; 1%) and arsonist (16%; 31%). There were more occurrences in the non-regulated area of the PNSC, but the regularized area burned more. There were more occurrences in the non-regulated area of the PNSC, but the regularized area burned more. As for the attack time, most years fall into time class IV. In combat time, it is class IV and the years 2017 and 2012, had longer durations. The correlation graph shows a positive relationship between the number of combatants, burned area and combat time, indicating that even with more men the combat has lasted longer and burned longer. It is noticed that fires in the PNSC occur during the dry season, and it has burned on average fewer areas than in previous years, but still ranked larger than those studied in Brazil. The causes related to man stood out in number and burned area. Efficiency in the time of attack and firefighting decreased, necessitating improvement in action plans, hiring and training employees and firefighters, to serve an area as extensive and complex as that of the PNSC.

Keywords: Cerrado. Fire regime. Fire prevention.

CAPÍTULO I - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE COMBATE A INCÊNDIOS E ANÁLISE DE CAUSAS DO FOGO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, MINAS GERAIS.

1.0. INTRODUÇÃO

O fogo é um processo essencial e inevitável, seu comportamento depende do encontro entre as condições do combustível, dos padrões climáticos e as fontes de ignição (Rogers et al. 2020). Os combustíveis são delimitados pela quantidade e tipo da vegetação disponível, mas para o fogo ter início basicamente encontram-se duas fontes de ignição, a natural (a mais comum são os raios) e a antrópica que é consequência da ação humana (Bradstock, 2010). O fator climático exerce forte influência na ocorrência de fogo e em sua propagação pela alteração da umidade, períodos de seca, aumento das temperaturas médias, entre outros fatores que podem intensificar o regime de fogo (Dupuy et al. 2020).

Devido às mudanças climáticas, conversão do uso e cobertura da terra e outros fatores combinados, os regimes de incêndio estão mudando e, na maioria dos casos, se intensificando (Mueller et al. 2020). A tendência de incêndios mais frequentes coloca em estado de alerta áreas destinadas a conservação da natureza, como as Unidades de Conservação (UC).

O fogo é uma ameaça habitual para UCs no Cerrado, bioma brasileiro conhecido por sua relação benéfica com o fogo, porém o aumento na frequência dos incêndios pode afetar negativamente seu desenvolvimento (Magalhães et al. 2012), mudanças no regime de fogo podem alterar a estrutura vegetal e diminuir a diversidade (Férrandez-García et al. 2020).

Por tanto é essencial que os gestores conheçam toda a amplitude dos fatores que influenciam no comportamento do fogo e sua resposta às condições naturais da UC, a fim de otimizar o planejamento de prevenção e combate a incêndios (Linn et al. 2012).

O conhecimento do perfil dos incêndios e da logística associada ao seu combate é fundamental para se traçarem estratégias eficientes para o planejamento de ações de prevenção e combate (Lima et al. 2018). Entender o histórico de causas, onde e qual a extensão das áreas queimadas, a duração do combate, são dados que dão embasamento a tomada de decisão quanto à distribuição de recursos e planos de ação (Torres et al. 2016).

Existem pesquisas nesse sentido em diversos países que também sofrem com a reincidência do fogo, como Portugal (Ferreira-Leite et al. 2013; Nunes et al. 2014; Castro et al. 2020), Canadá (Kato et al. 2020), Estados Unidos (Mueller et al. 2020), regiões da Ásia por Ahmad e colaboradores (2019) e da Europa (Adamek et al. 2015; Dupuy et al. 2020).

Encontram-se pesquisas no Brasil nos dois sentidos, de perfil de incêndios e de avaliação do seu combate em UC, a nível nacional nos estudos de Torres e colaboradores (2016) e de Lima e colaboradores (2018), pelos biomas da Amazônia (Nóbrega Spínola et al. 2020), Mata Atlântica (Aximoff et al. 2011; Torres et al. 2018) e Cerrado (Fiedler et al. 2006; Magalhães et al. 2012; Carvalho et al. 2017; Silva et al. 2018) com um grande número de pesquisas demonstrando a importância de estudar de forma específica cada Unidade.

Existindo a necessidade de trabalhar de forma conjunta toda a relação do fogo com a UC, este estudo objetiva avaliar a eficiência de combate ao fogo no Parque Nacional da Serra da Canastra e analisar o perfil dos incêndios ocorridos de 2008 a 2018.

2.0. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A área de estudo concentra-se no Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), criado pelo Decreto nº 70.355 de 1972 com o intuito de proteger as nascentes e afluentes do rio São Francisco e as riquezas do bioma cerrado. Em seu decreto o parque possuía 197.787,00 hectares, no entanto a regularização fundiária só ocorreu em 71.525,00 ha, onde está inserido o Chapadão da Canastra, o chamado Chapadão da Babilônia continua não regularizado e ainda se encontram propriedades particulares (IBAMA, 2005). Mas existem ações na tentativa de regularizar mais áreas, que já somam aproximadamente 86 mil hectares (Silva et al., 2018).

O clima é classificado como tropical sazonal, com média anual de 22 a 23°C, máxima de 40°C e mínimas próximas de zero ou até abaixo desse valor. Quanto a precipitação, a região é caracterizada por duas estações definidas, uma chuvosa e outra seca entre os meses de maio e setembro, onde os índices podem chegar a zero, mesmo com grande sazonalidade a média anual fica entre 1.200 e 1.800mm. A vegetação é típica do cerrado, com formações campestres (campo-sujo, campo rupestre e campo limpo) e por formações savânicas (cerrado sentido restrito). Quanto às formações florestais, observa-se que suas distribuições estão ligadas diretamente com a disponibilidade de umidade e com a fertilidade do solo, onde se formam matas de galeria e matas ciliares (IBAMA, 2005).

2.2. Análise dos Registros de Ocorrências de Incêndio

As análises foram realizadas com base nos Registros de Ocorrências de Incêndios (ROIs) de 2008 a 2018, coletados em parceria e diretamente com a gerência do PNSC. Os

registros fazem referência a incêndios ocorridos nas áreas com regularização fundiária, não regularizadas e zona de amortecimento do Parque. Dispõe de informações sobre localização do fogo, dados de combate (logística de equipe, materiais e ferramentas, data e hora: da detecção, deslocamento, ataque, controle e extinção do fogo), dados do terreno e meteorológicos, área queimada, origem, possível causa e danos. Os dados foram agrupados em planilha e tabulados para traçar os perfis de causas e eficiência de combate.

Foram coletados 116 registros, porém os que não continham todos os dados sobre os parâmetros indispensáveis para a avaliação da eficiência de combate ou análise de causas foram descartados, assim 79 registros de 2008 a 2018 foram analisados por essa metodologia, excluindo os anos de 2014 e 2016 que não tiveram seus registros originais encontrados. O banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (SISFOGO) do Centro Nacional de Prevenção aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), mantido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) se encontra fora do ar desde o ano de 2016, impossibilitando a busca pelos ROIs.

As causas foram organizadas em 8 categorias, descritas pela *Food and Agriculture of Organization* (FAO): raios, incendiários, queima para limpeza, fumantes, fogos de recreação, estradas de ferro, operações florestais e diversos. A classificação por tamanho da área queimada foi feita em cinco classes, de acordo com *Canadian Forest Service* (CFS): classe I, < 0,1 ha; classe II, 0,1 a 4,0 ha; classe III, 4,1 a 40,0 ha; classe IV, 40,1 a 200,0 ha; e classe V, > 200,0 ha (Torres et al. 2016).

Os parâmetros adotados para avaliar a eficiência de combate foram, área queimada (AQ), tempo até o primeiro ataque ou tempo de ataque (TA), tempo de combate (TC) e número de combatentes (NC). A análise de eficiência quanto ao parâmetro de área queimada também utilizou as classes do *Canadian Forest Service* (CFS), sendo maior a eficiência nas primeiras classes de tamanho (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação por tamanho de área queimada, pelo *Canadian Forest Service* (CFS).

Classe de tamanho	Área queimada (hectares)
I	0 a 0,09
II	0,1 a 4,0
III	4,1 a 40,0
IV	40,1 a 200,0
V	Acima de 200,0

O tempo de ataque corresponde ao tempo gasto do momento da detecção do fogo até a chegada e primeiro ataque ao incêndio. Por tanto é analisado conforme a Tabela 2, levando em

consideração que quanto menor o TA sendo classificado nas primeiras classes, mais eficiente é o combate (Lima et al. 2018).

Tabela 2: Classificação por duração de tempo para o ataque, conforme Lima e colaboradores (2018).

Classe de duração	Tempo de ataque (min)
I	0 a 30
II	31 a 60
III	61 a 120
IV	121 a 480
V	Acima de 480

A terceira análise é feita sobre o tempo de combate, que foi dividido em quatro classes de tempo e assim como os parâmetros anteriores, demonstra maior eficiência de combate quando se encontra nas primeiras classes (Lima et al. 2018).

Tabela 3: Classificação por duração de tempo de combate, conforme Lima e colaboradores (2018).

Classe de duração	Tempo de combate (minutos)
I	0 a 60
II	61 a 120
III	121 a 480
IV	Acima de 480

Por meio de análise no software R de estatísticas, foi gerado um gráfico para explicar a correlação entre os diversos fatores tabulados a partir dos ROIs.

3.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Traçando o perfil dos incêndios ocorridos no PNSC, foram obtidos os resultados de número de ocorrências, área queimada, média de área queimada por ocorrência e as médias de ocorrências e área queimada por ano. Além da classificação por tamanho de acordo com *Canadian Forest Service* (CFS).

O PNSC teve valor de área queimada por ocorrência mais alto que o encontrado para as UCs Federais estudadas por Torres e colaboradores (2016) nos anos de 2008 a 2012, média de 193 hectares por ocorrência enquanto tem-se 1.802 ha para o PNSC. A média de área queimada por ano foi de 15.824 hectares, sendo um valor relativamente alto, porém menor que o encontrado em estudo anterior na mesma área. Analisando os registros de 1988 a 2008 Magalhães e colaboradores (2012) encontraram uma média de 19.789 ha queimados por ano e

também observaram um valor maior de ocorrências por ano, média de 10,4 ocorrências comparadas às 8,7 do atual trabalho. Podendo demonstrar uma menor frequência de incêndios ou a deficiência de registros das ocorrências de incêndios.

Tabela 4: Número de ocorrências, área queimada, média do tamanho da área queimada por ocorrência e classe de tamanho por ano de 2008 a 2018 no Parque Nacional da Serra da Canastra.

Ano	Número de ocorrências	Área queimada (ha)	Área queimada/Ocorrência	Classe de tamanho
2008	15	5.832	388,80	V
2009	5	206	41,20	IV
2010	13	27.554	2.119,54	V
2011	15	4.367	291,13	V
2012	15	59.938	3.995,87	V
2013	6	71	11,83	III
2014	-	-	-	-
2015	1	11.500	11.500	V
2016	-	-	-	-
2017	3	5.374	1.791,33	V
2018	6	27.582	4.597	V
Total	79	142.424	1.802,84	-
Média/Ano	8,7	15.824,89	-	-

A distribuição e porcentagem de ocorrências de incêndios e área queimada pelos meses do ano identificou os três meses com mais registros (Julho, Agosto e Setembro), sendo agosto o mês com mais ocorrências registradas (36%) e o mês de setembro apresenta a maior área queimada (67.854 ha) (Tabela 5).

O clima na região do PNSC contribui para esse resultado, já que na estação seca entre maio e setembro, a precipitação reduz de maneira drástica, podendo chegar a zero durante meses. A umidade relativa do ar também é bastante baixa nos meses de agosto, setembro e outubro (Messias e Ferreira, 2019b). Combinando os efeitos do clima com a vegetação campestre, facilita a ignição e tem-se um ambiente vulnerável ao fogo.

Tabela 5: Distribuição das ocorrências e áreas queimadas através dos meses dos anos entre 2008 e 2018.

Meses	Ocorrências		Área Queimada	
	n°	%	ha	%
Janeiro	0	0,00	0	0,00
Fevereiro	4	5,06	104	0,07
Março	3	3,80	250	0,18

Abril	0	0,00	0	0,00
Mai	0	0,00	0	0,00
Junho	0	0,00	0	0,00
Julho	18	22,78	16.640	11,68
Agosto	29	36,71	53.068	37,26
Setembro	18	22,78	67.854	47,64
Outubro	4	5,06	4.440	3,12
Novembro	2	2,53	29	0,02
Dezembro	1	1,27	40	0,03

A causa mais encontrada nos registros foi de queima para limpeza, seguida pela categoria diversos, que em sua maioria são as ocorrências com causa indefinida, causa que também corresponde a maior área queimada, a causa incendiários tem a segunda maior área queimada, seguida pela queima de limpeza. Os raios foram a terceira maior causa, mas pela própria característica desses incêndios tiveram a menor área queimada (excluindo a ocorrência única em operações florestais) (Tabela 6). Os incêndios causados por raios tem tendência a afetar áreas menores e ser pouco intensos, já que as camadas de ar e de combustível são mais úmidas, com vegetação mais verde na época chuvosa. Sendo muitas vezes apagados pela própria chuva (Medeiros e Fiedler, 2004)

Em Portugal as causas desconhecidas tiveram mais destaque, chamando atenção para o déficit de informações registradas sobre os incêndios, a causa por incendiários teve o segundo maior número (Castro et al., 2020). A falta de registro ou o preenchimento incompleto dos dados é também um problema recorrente nos registros de ocorrência de incêndios nas Unidades de Conservação do Brasil e dificulta o conhecimento e o planejamento contra incêndios.

No Brasil em UCs Federais a causa mais registrada foi a diversos, seguida de queima por limpeza e incendiários, a causa com maior área queimada foi de queima de limpeza. (Torres et al., 2016). Em UCs do estado do Espírito Santo as causas mais registradas foram, respectivamente, queima para limpeza, incendiários e raios (Tebaldi et al. 2013).

Tabela 6: Porcentagens do número de incêndios e do tamanho da área queimada, dos incêndios ocorridos entre 2008 e 2018 no PNSC de acordo com as causas determinadas pela *Food and Agriculture of Organization*.

Causas FAO	Ocorrências		Área Queimada	
	nº	%	ha	%
Queima para limpeza	33	41,77	29.990	21,05
Diversos	18	22,78	65.561	46,03

Raios	14	17,72	1.627	1,14
Incendiários	13	16,45	45.244	31,76
Operações florestais	1	1,26	2	0,001

Para o PNSC de 1987 a 2001 as causas humanas foram metade dos registros, sendo elas: incendiários, indefinidas e queima de limpeza, respectivamente, as mais encontradas. Na outra metade 44% foram raios e 6% desconhecidas (Medeiros e Fiedler, 2004). Essa tendência se repete no estudo de Magalhães e colaboradores (2012) até o ano de 2008, mas ainda demonstra que apesar dos raios apresentarem mais ocorrências, a área queimada por raios é muito inferior a área queimada por incendiários, que é o segundo em ocorrências registradas.

Neste estudo houve uma inversão e a queima para limpeza é a causa mais registrada, o que pode estar relacionado a situação fundiária do parque. No Chapadão da Babilônia, onde o grau de regularização é baixo, o uso de queimadas controladas no manejo das pastagens é tradicional, enquanto no Chapadão da Canastra a queima de limpeza não deveria ocorrer, mas aumenta a frequência de fogo por incendiários (Messias e Ferreira, 2019a).

Assim pode-se estabelecer uma relação entre o maior número de ocorrências, porém com menor área total queimada no Chapadão da Babilônia (Tabela 7) com o uso tradicional do fogo pelos moradores. Esse tipo de queima controlada se feita corretamente pode contribuir para prevenção de grandes incêndios, uma vez que nela se consome e controla o material combustível acumulado, tendo um resultado positivo que se pode perceber quando nesse estudo temos o total de área queimada no Chapadão da Babilônia menor que o total do Chapadão da Canastra, neste último o uso de manejo de fogo só se iniciou com projetos de Manejo Integrado do Fogo (MIF) pelo ICMBio em 2016 (Silva et. Al, 2018), apesar de ser liberado por meio de autorizações para os moradores desde 2002 (Berlinck e Lima, 2021)

O MIF começou a ser estudado e utilizado em UCs por volta do ano de 2010 e consiste em ações de prevenção com e sem uso de fogo, como na construção de aceiros, controle de combustível e proteção de ambientes e espécies sensíveis, também favorecendo ambientes e espécies adaptados, envolvendo as comunidades em processos de educação ambiental, treinamento, tomada de decisão, padronização e autorização de uso de fogo. Também são incluídas ações de combate a incêndios visando a exclusão de incêndios florestais (Berlinck e Lima, 2021). Quando bem adaptado a demanda de cada UC pode mudar a situação do fogo, de inimigo para aliado contra os grandes incêndios florestais.

Nos ROIs foram observados os locais onde ocorreram os incêndios e divididos pelo zoneamento do PNSC em área regularizada, área não regularizada e zona de amortecimento, sendo indicado também quando o incêndio ultrapassa esses limites e acontece em mais de uma dessas zonas (Tabela 7).

Tabela 7: Número de ocorrências e área queimada de acordo com a situação fundiária do local do incêndio, sendo setorizados em área Regularizada (R), Não regularizada (NR), Zona de amortecimento (ZA) e suas interseções.

Local	Ocorrências	Área Queimada
Regularizada	30	49.735
Não regularizada	36	35.945
Zona de amortecimento	8	196
R e NR	3	52.546
R e ZA	1	952
R, NR e ZA	1	3.050

A área não regularizada, que em suma corresponde ao Chapadão da Babilônia, teve maior número de ocorrências, fato que pode ter relação com as atividades conflitantes que existem na área, como atividades agropecuárias, linhas de transmissão, estradas, exploração de quartzito, atividades turísticas e queima de limpeza em pastagens (Messias e Ferreira, 2019a). Referente à maior área queimada, encontrou-se nos incêndios ocorridos entre área regularizada e não regularizada mais de 52 mil hectares queimados, sendo um caso particular em que um único incêndio queimou 50.000ha e sua causa é desconhecida.

O fator humano é muitas vezes imprevisível e o que mais tem causado danos as UCs, uma forma de minimizar esse conflito se daria com a aproximação entre população e gerência do Parque, maior investimento em ações de educação ambiental e sobre o manejo de fogo.

Na análise a respeito das classes de tamanho observou-se que nenhum ano se encaixou na Classe I e a partir dela houve um crescimento do número de ocorrências em cada classe, mais de 60% dos incêndios estão nas Classes IV e V (Tabela 8).

Tabela 8: Porcentagens do número de incêndios ocorridos no PNSC, de acordo com as classes de tamanho do *Canadian Forest Service* (CFS).

Ano	Classe I		Classe II		Classe III		Classe IV		Classe V		Total n°
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	
2008	0	0	2	13,33	1	6,67	6	40	6	40	15
2009	0	0	1	20	3	60	1	20	0	0	5
2010	0	0	0	0	2	15,38	7	53,84	4	30,76	13
2011	0	0	2	13,33	6	40	4	26,66	3	20	15

2012	0	0	0	0	5	33,33	4	26,66	6	40	15
2013	0	0	3	50	3	50	0	0	0	0	6
2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100	1
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	0	0	0	0	0	0	1	33,33	2	66,66	3
2018	0	0	0	0	0	0	2	33,33	4	66,66	6
Soma	0		8		20		25		26		79
%	0,00		10,13		25,32		31,65		32,91		100

Em análise das UCs Federais nos anos de 2008 a 2012 observou-se maior número de ocorrências na classe II e III (Torres et al., 2016). No período de 88 a 08 a maior parte dos incêndios do PNSC se concentraram nas classes III e IV, mas também não houve nenhum incêndio na classe I (Magalhães et al., 2012). Comparando com estudos anteriores percebe-se uma piora na classificação, incêndios com maior extensão, que retratam um retrocesso na eficiência de combate.

Referente a eficiência de combate e a classificação por tempo de duração de acordo com Lima e colaboradores (2018), tem-se os seguintes resultados apresentados na Tabela 9. Em termos de média de tempo de ataque no PNSC, houve um crescimento na duração da mobilização de 2008 para 2018, a classe mais recorrente foi a IV (121 a 480 minutos). Corroborando a este resultado, nas UCs do Brasil observou-se um tempo médio para o ataque de 194,82 minutos, também referente a classe IV (Lima et al., 2018).

Tabela 9: Médias de tempo para o ataque e tempo de combate em minutos e classes de duração de 2008 a 2018 para o Parque Nacional da Serra da Canastra.

Ano	Tempo de Ataque	Classe	Tempo de Combate	Classe
2008	90,00	III	677,33	IV
2009	114,00	III	732,00	IV
2010	151,54	IV	1126,54	IV
2011	142,33	IV	1403,67	IV
2012	436,33	IV	2319,67	IV
2013	125,00	IV	225,00	III
2014	-	-	-	-
2015	0,00	I	6630,00	IV
2016	-	-	-	-
2017	160,00	IV	2340,00	IV
2018	1010,83	V	1418,33	IV

O tempo de ataque é diretamente afetado pela extensão da Unidade e dificuldade de acesso às áreas mais propícias ao fogo, o PNSC possui mais de 197 mil hectares e se divide em

área regularizada e não regularizada, neste último a brigada de incêndios tem mais dificuldade para atuar, dada as distâncias, a resistência por parte de proprietários e a prioridade em atender a área regularizada (Messias e Ferreira, 2019a).

No que se refere ao tempo de combate as médias foram muito altas para quase todos os anos estudados e se classificaram na classe de duração IV, com mais de oito horas de combate. Apenas o ano de 2013 se encaixou na classe III, com média de combate de 225 minutos. O déficit de recursos e de pessoal tem grande impacto na eficiência de combate, o número reduzido de combatentes pode aumentar consideravelmente a duração do combate ao fogo, o tornando ineficiente (Tebaldi et al., 2013).

A Tabela 10 apresenta as frequências e porcentagens de incêndios por classe de tempo para o ataque (da detecção até o primeiro ataque) no período analisado. Em 43% das ocorrências levaram de 121 a 480 minutos para o primeiro ataque ao fogo (classe IV), em 22% gastaram de uma a duas horas (classe III), 25% das ocorrências levaram até uma hora (classes I e II) e só aproximadamente 8% gastou mais de oito horas para o ataque (classe V).

Tabela 10: Frequência e porcentagem dos incêndios por classe de tempo para o ataque.

Classe de duração (min)	Ocorrências	%
I (0 a 30)	8	10,12
II (31 a 60)	12	15,18
III (61 a 120)	18	22,78
IV (121 a 480)	34	43,03
V (acima de 480)	7	8,86

As frequências e porcentagens de incêndios por classe de tempo de combate (desde o primeiro ataque até a extinção) são observadas na Tabela 11. Em 46% da ocorrências gastou-se mais de oito horas no combate ao fogo (classe IV), em 45% levaram de duas a oito horas (classe III) e aproximadamente 7% levou até duas horas (classe I e II).

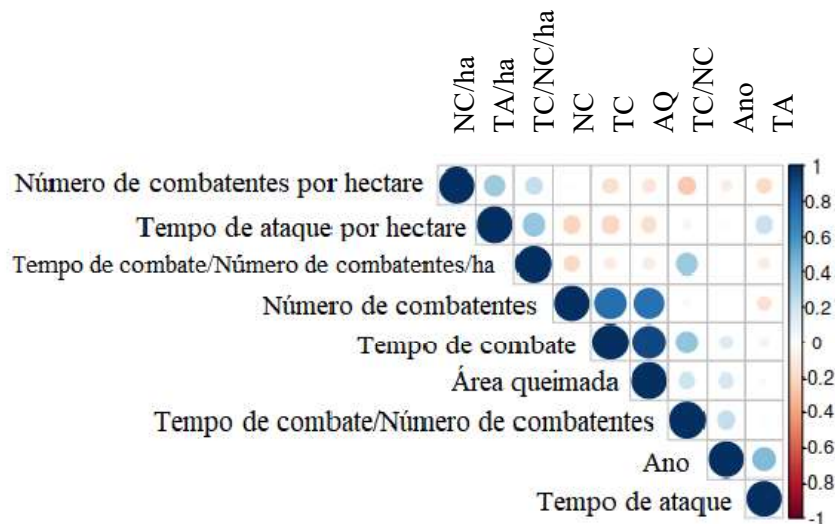
Tabela 11: Frequência e porcentagem dos incêndios florestais por classe de tempo de combate.

Classe de duração (min)	Ocorrências	%
I (0 a 60)	3	3,79
II (61 a 120)	3	3,79
III (121 a 480)	36	45,56
IV (acima de 480)	37	46,83

Por fim foi gerado um gráfico para demonstrar a correlação entre os fatores de área queimada, número de homens, tempo de ataque, tempo de combate e algumas variações

calculadas a partir dos dados tabulados (Figura 1), a fim de compreender se há ou não relação (negativa ou positiva) entre os fatores, onde círculos vermelhos indicam correlações negativas e azuis positivas, quanto mais forte a cor e maior o tamanho do círculo, mais forte a correlação.

Figura 1 - Gráfico de correlação simples entre os fatores da eficiência de combate para os anos de 2008 a 2018.



Legenda: NC/ha = Número de combatentes por hectare; TA/ha = Tempo de ataque por hectare; TC/NC/ha = Tempo de combate por Número de combatentes por ha; NC = Número de combatentes; TC = Tempo de combate; AQ = Área queimada; TC/NC = Tempo de combate por Número de combatentes; TA = Tempo de ataque.

As correlações positivas mais significantes apontam que quanto mais combatentes mais tempo de combate é gasto, o que vai ao contrário do desejado para a maior eficácia do combate. Quanto maior a área queimada mais combatentes são necessários e quanto maior a área queimada mais tempo em combate gastou-se. Confirmando que a eficiência de combate no PNSC é baixa, tornam-se importantes os investimentos em contratação de brigada e no treinamento do pessoal, renovação de equipamentos e do plano de ações de combate para todas as área do Parque.

4.0. CONCLUSÃO

Por meio do estudo dos registros de ocorrência de incêndios do Parque nacional da Serra da Canastra, conclui-se que:

- A média de área queimada por ano foi de 15.824 hectares, sendo um valor relativamente alto, porém menor que o encontrado em estudo anterior, logo demonstra uma melhoria nesse aspecto.
- Os meses com mais registros em número e área queimada, são os correspondentes ao período de seca na região (julho, agosto e setembro).
- Diferente dos estudos anteriores, a causa mais registrada foi a de queima para limpeza, mas a que mais queimou foi de causa diversos, seguida por incendiários. Podendo inferir que apesar da quantidade de registros a relação de moradores com a queima de limpeza pode estar evoluindo para um resultado positivo, mais controlado e com menor área afetada, e devem ser reforçadas as ações de educação ambiental e do manejo do fogo.
- Houveram mais ocorrências na área não regularizada do PNSC, porém a regularizada queimou mais, esse resultado mostra uma necessidade de reforçar ações de manejo integrado do fogo que se iniciaram no Parque, juntamente a outras técnicas de prevenção e controle de incêndios.
- Mais de 60% dos incêndios se enquadram nas classes de tamanho IV e V, indicando grandes extensões queimadas e baixa efetividade do combate.
- As médias do tempo de ataque no PNSC se aproximam da encontrada em estudo no Brasil e 43% das ocorrências encontram-se na classe IV.
- As médias de tempo de combate são altas, podendo ter relação com o número reduzido de combatentes para a grande extensão do parque.
- Existe correlação entre área queimada, número de combatentes e tempo de combate, indicando baixa eficiência no combate e a necessidade de aumentar o contingente da brigada, melhorar o treinamento e os planos de ações de combate.
- A falta ou preenchimento incompleto dos ROIs dificulta no conhecimento e análise do perfil de incêndios e das ações de combate.

5.0. REFERÊNCIAS

- AHMAD, F., UDDIN, M. M., GOPARAJU, L. Fire risk assessment along the climate, vegetation type variability over the part of Asian region: a geospatial approach. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 5, 2019.
- AXIMOFF, I., RODRIGUES, R. C. Histórico dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia. **Ciência Florestal**, v. 21, 2011.
- BERLINCK, B. N., LIMA, L. H. A. Implementation of Integrated Fire Management in Brazilian Federal Protected Areas: Results and Perspectives. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, 2021.
- BRADSTOCK, R. A. A biogeographic model of fire regimes in Australia: current and future implications. **Global Ecology and Biogeography**, v. 19, 2010.
- CARVALHO, E. V., BATISTA, A. C., COELHO, M. C. B., NEVES, C. O. M., SANTOS, G. R., GIONGO, M. Caracterização de áreas queimadas no estado do Tocantins no ano de 2014. **Floresta**, v. 47, 2017.
- CASTRO, A. C. M., NUNES, A., SOUZA, A., LOURENÇO, L. Mapping the Causes of Forest Fires in Portugal by Clustering. **Analysis Geosciences**, v. 10, 2020.
- DUPUY, J., FARGEON, H., MARTIN-STPAUL, N., et al. Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review. **Annals of Forest Science**, v. 77, 2020.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, V., MARCOS, E., FULÉ, P. Z., REYES, O., SANTANA, V. M., CALVO, L. Fire regimes shape diversity and traits of vegetation under different climatic conditions. **Science of the Total Environment**, v. 716, 2020.
- FIEDLER, N. C., MERLO, D. A., MEDEIROS, M. B. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, v. 16, 2006.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Plano de manejo do parque Nacional da Serra da Canastra. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2005.**
- KATO, A., THAU, D., HUDAK, A. T., MEIGS, G. W., MOSKAL, L. M. Quantifying fire trends in boreal forests with Landsat time series and self-organized criticality. **Remote Sensing of Environment**, v. 237, 2020.
- LIMA, G. S., TORRES, F. T. P., COSTA, A. G., FÉLIX, G. A., JUNIOR, M. R. S. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. **Floresta**, v. 48, 2018.
- LINN, R. R., CANFIELD, J. M., CUNNINGHAM, P., EDMINSTER, C., DUPUY, J. L., PIMONT, F. Using periodic line fires to gain a new perspective on multi-dimensional aspects of forward fire spread. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 157, 2012.

MAGALHÃES, S. R., LIMA, G. S., RIBEIRO, G. A. Avaliação dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional da Serra da Canastra – Minas Gerais. **Cerne**, v. 18, 2012.

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, 2004.

MESSIAS, C. G., FERREIRA, M. C. Análise da distribuição espacial das queimadas no Parque Nacional da Serra da Canastra (MG), entre 1984 e 2017. **Caminhos de Geografia**, v. 20, 2019a.

MESSIAS, C. G., FERREIRA, M. C. Parque Nacional da Serra da Canastra: Aspectos físicos e socioeconômicos. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia**, v. 15, 2019b.

MUELLER, S. E., THODE, A. E., MARGOLIS, E. Q., YOCOM, L. L., YOUNG, J. D., INIGUEZ, J. M. Climate relationships with increasing wildfire in the southwestern US from 1984 to 2015. **Forest Ecology and Management**, v. 460, 2020.

NÓBREGA SPÍNOLA, J., SILVA, M. J. S., SILVA, J. R. A., BARLOW, J., FERREIRA, J. A shared perspective on managing Amazonian sustainable-use reserves in an era of megafires. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, 2020.

NUNES, A., LOURENÇO, L., FERNANDES, S., CASTRO, A. C. Principais causas dos incêndios florestais em Portugal: variação espacial no período 2001/12. **Territorium**, v. 21, 2014.

ROGERS, B. M., BALCH, J. K., GOETZ, S. J., LEHMANN, C. E. R., TURETSKY, M. Focus on changing fire regimes: interactions with climate, ecosystems, and society. **Environmental Research Letters**, v. 15, 2020.

SILVA, A. A. C., VIDAL, J. M. C., SILVA, R. A., LACORTE, G. A. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra e a implementação de manejo integrado do fogo. **ForScience**, v. 6, 2018.

TEBALDI, A. L. C., FIEDLER, N. C., JUVANHOL, R. S., DIAS, H. M. Ações de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais nas Unidades de Conservação Estaduais do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 20, 2013.

TORRES, F. T. P., LIMA, G. S., COSTA, A. G., FÉLIX, G. A., JUNIOR, M. R. S. Perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. **Floresta**, v. 46, 2016.

TORRES, F. T. P., TORRES, C. M. M. E., LIMA, G. S., MARTINS, S. V., MENDES, A. E. O., PADOVANI, M. T., SIQUEIRA, R. G., MOREIRA, G. F., VALVERDE, S. R. Análise do perfil dos incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e entorno (MG). **Ciência Florestal**, v. 28, 2018.

RESUMO

SOUTO, Danúcia Amorim, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Mapeamento da suscetibilidade à incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais.** Orientador: Gumercindo Souza Lima. Coorientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres.

As mudanças nos regimes de fogo tem grandes impactos tanto a nível social quanto ambiental, nesse sentido a conservação da natureza se vê ameaçada pelos incêndios mais severos, junto a conversão da cobertura do solo que intensifica essa vulnerabilidade principalmente para as Unidades de Conservação, que precisam reforçar os planos de prevenção e combate ao fogo. Objetivou-se definir um mapa de suscetibilidade à incêndios para o Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), através da análise da influência de fatores como relevo, clima, uso e cobertura do solo utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Foram produzidos mapas de declividade, exposição de vertentes, radiação solar acumulada e o mapa de uso e cobertura do solo foi adaptado do MapBiomass, seguindo três modelos que distribuem notas para cada variável. Os cruzamentos entre os mapas resultam em seis cartogramas de suscetibilidade que foram sobrepostos aos focos de calor do INPE para validação. Os fatores analisados demonstraram como as características do PNSC influenciam na ignição e propagação do fogo, as pastagens apresentam maior área (43%) e número de focos (37%), a formação campestre (25%) tem grande propensão ao fogo e aparenta certa reincidência de incêndios pelo alto número de focos (34%), as particularidades da área quanto a baixa declividade (73%) e alta radiação solar (51%) nas formações dos chapadões delimitam as áreas de alta e altíssima suscetibilidade. O mapa de suscetibilidade 4 do modelo 2, se mostrou o mais eficiente para previsão de incêndio, apresentando o número de focos por hectare crescente da classe de baixíssima suscetibilidade para a de altíssima, tendo mais de 70% da área nas classes de baixa suscetibilidade e o maior número de focos estão nas classes de média e altíssima suscetibilidade. Portanto, o mapa de suscetibilidade gerado será eficiente para prever possíveis incêndios no PNSC e poderá auxiliar nas tomadas de decisões dos gestores.

Palavras-chave: Fogo. SIG. Cerrado brasileiro.

ABSTRACT

SOUTO, Danúcia Amorim, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2021. **Fire susceptibility mapping in Serra da Canastra National Park, Minas Gerais.** Advisor: Gumercindo Souza Lima. Co-advisor: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres.

Changes in fire regimes have major social and environmental impacts, in this sense, the conservation of nature is threatened by fires, together with the conversion of the land cover, which intensifies this vulnerability, especially for the Conservation Units, which need to reinforce the fire prevention and combat plans. The objective was to define a fire susceptibility map for the Serra da Canastra National Park (PNSC), through the analysis of the influence of factors such as relief, climate, use and land cover using a geographic information system. Maps of slope, slope exposure, accumulated solar radiation were produced and the land use and cover map was adapted from MapBiomas, following three models that distribute notes for each variable, after crossing the maps we have 6 susceptibility cartograms that were superimposed to INPE's hotspots for validation. The analyzed factors demonstrated how the PNSC characteristics influence the fire ignition and propagation. The pastures have a larger area (43%) and number of hot spots (37%); the rural formation (25%) is very prone to fire and appears to have a certain recurrence of fire due to the high number of hot spots (34%). The particularities of the area in terms of low slope (73%) and high solar radiation (51%) in the plateau formations delimit the areas of high and very high susceptibility. Susceptibility map 4 of model 2 proved to be the most efficient for fire prediction, showing the number of outbreaks per hectare increasing from the very low to the very high susceptibility class, with more than 70% of the area in the low susceptibility and the largest number of outbreaks are in the middle and very high susceptibility classes. Therefore, the susceptibility map generated will be efficient to predict possible fires in the PNSC and can help managers in decision-making.

Keywords: Fire. GIS. Brazilian Cerrado.

CAPÍTULO II - MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE A INCÊNDIOS NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA, MINAS GERAIS.

1.0. INTRODUÇÃO

A atual crise climática que o mundo compartilha, afeta diretamente no planejamento de medidas para conservação da natureza. A mudança dos regimes de incêndio podem ter impactos importantes em diversos processos naturais como conservação da biodiversidade, segurança e saúde humana e gestão do uso da terra (Fonseca et al., 2019; Aragão et al., 2018; Barlow et al., 2016).

No Brasil as Unidades de Conservação (UC) têm como objetivos preservar a natureza, ordenar a ocupação, proteger meios de vida e mais, nas diferentes categorias criadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (BRASIL, 2000). Porém todos os objetivos são colocados em risco e são afetados principalmente os processos ambientais e a biodiversidade, quando as áreas são atingidas pelo fogo de forma recorrente (Lima et al., 2018). O fogo é só um dos conflitos que as UCs enfrentam diariamente, além das mudanças no uso e ocupação das áreas de entorno, dificuldades com regulação fundiária e outras especificidades vindas de cada bioma pelo Brasil.

É crescente a conversão do cerrado em áreas agrícolas e a mudança na ocupação desse bioma, o que tem causado grande pressão sobre as UC, frequentemente impactadas por incêndios florestais (Medeiros e Fiedler, 2004). O Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC) que está inserido nesse bioma registrou, entre 1988 e 2008, os raios como principal causa de incêndios (40% das ocorrências), seguido pelos causados por incendiários (32%). No entanto os incêndios causados por raios atingem áreas menores (12% da área queimada), enquanto por incendiários tem grande extensão (73%) dentro da área regularizada do PNSC e tem como agravante o período de seca, quando as ocorrências por incendiários e queimas de limpeza mais acontecem (Magalhães et al., 2012). Diferente dos incêndios naturais que ocorrem no período das chuvas e são rapidamente apagados pela própria chuva vinda após os raios. Esses dados demonstram o estado de vulnerabilidade da UC perante as ocorrências e evidenciam a necessidade de novas medidas de prevenção ao fogo.

Partindo do princípio que um incêndio prevenido não precisa ser combatido, um planejamento para prevenção de incêndios é essencial. As formas mais eficientes de prevenção começam do conhecimento sobre a suscetibilidade e o uso de ferramentas de apoio a decisão, permitindo o melhor planejamento, avaliação da suscetibilidade a incêndio, manejo dos

materiais combustíveis e alocação de recursos para seu combate (Borges et al., 2011; Thompson e Calkin, 2011). No entanto, Barlow e colaboradores (2012) ressaltam que prever a suscetibilidade de incêndio é uma análise complexa, pois é dependente da interação entre fatores antrópicos, como a urbanização, construção de estradas e implementação de agricultura ou pecuária, e fatores ambientais como clima, topografia e fitofisionomia da vegetação. Além disso, é necessário conhecer a distribuição espaço temporal dos incêndios anteriores, pois essa escala espacial fornece novas informações ao planejamento (Yang et al., 2007; Tian et al., 2013).

Análises que demandam grande complexidade podem ser trabalhadas em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Ajin et al., 2016), onde há a possibilidade de coletar, sobrepor, manipular e visualizar um grande volume de dados, derivados da análise da possibilidade de ignição de um incêndio florestal, do seu potencial de propagação e dos efeitos relacionados (Torres et al., 2017). Visto que cada bioma brasileiro tem características únicas, cada UC enfrenta diferentes conflitos, são muitos fatores que serão compilados para obter um cartograma de suscetibilidade que represente a realidade e seja efetivo para prevenção do fogo. Essas condições demandam de cientistas e gestores uma adaptação das estratégias com base sólida de conhecimento (Zumbrunnen et al., 2011).

Neste sentido o objetivo deste estudo foi definir, através da análise da influência de fatores como clima, relevo, uso do solo e ocorrências de incêndio anteriores, um mapa de suscetibilidade a incêndios com a utilização de técnicas de geoprocessamento para o Parque Nacional da Serra da Canastra.

2.0. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC) encontra-se na região sudoeste de Minas Gerais, abrange uma área de 197 hectares e foi criado pelo Decreto nº 70.355, de 3 de abril de 1972, tendo como objetivo proteger as diversas nascentes na área, incluindo a histórica nascente do Rio São Francisco (IBAMA, 2005).

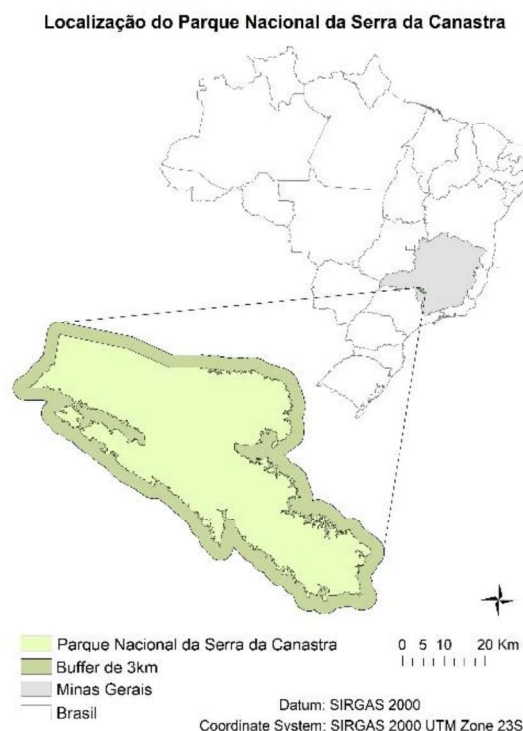
O Parque apresenta diferentes fitofisionomias do cerrado, com variações de campos, matas de galeria (mesófilas) e ainda divide espaço com afloramentos rochosos (IBAMA, 2005). Também é possível observar extensas áreas de pastagem e agricultura dentro do PNSC e em sua zona de amortecimento, influência das atividades econômicas das cidades ao redor.

O clima predominante é o tropical sazonal com temperatura média anual em torno 22-23° C, enquanto a precipitação média anual está entre 1.200 e 1.800 mm, a região possui duas estações bem definidas, uma chuvosa de outubro a março e outra seca entre maio e setembro (IBAMA, 2005).

2.2. Elaboração dos mapas

A elaboração do mapa de suscetibilidade a incêndios foi feita a partir de uma análise multicritério usando o *software* ArcGIS 10.3, através do modelo digital de elevação (MDE) foram gerados os mapas de declividade, exposição das vertentes e radiação solar, que foram inter cruzados com o uso e ocupação do solo possibilitando a determinação das áreas mais suscetíveis a incêndios para região do PNSC. Foi acrescentado ao *shape* original do Parque um *buffer* de 3 quilômetros a partir do limite oficial, gerado automaticamente pela ferramenta do ArcGIS, na tentativa de delimitar a área que imprime maior influência nos efeitos de borda e que poderia interferir nas ocorrências de fogo (Figura 1). Sendo este *buffer* uma área diferente à zona de amortecimento oficial do PNSC.

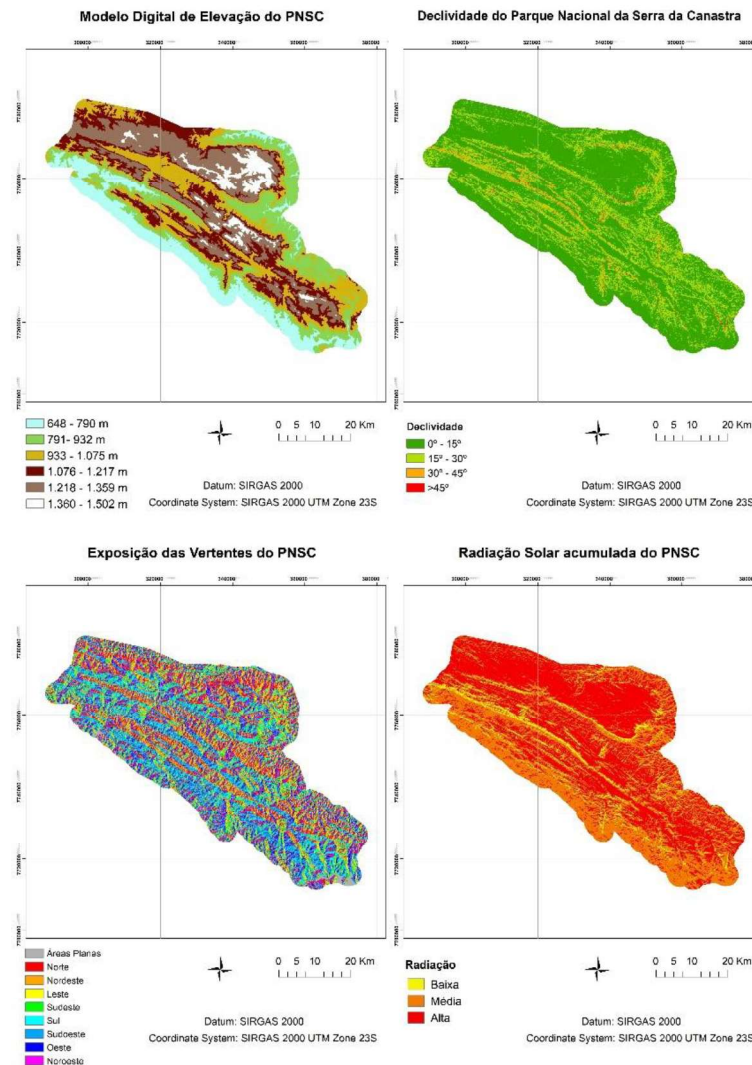
Figura 1 - Delimitação oficial do Parque Nacional da Serra da Canastra no estado de Minas Gerais, Brasil e *buffer* com extensão de 3km.



Fonte: Limites territoriais do Brasil e Minas Gerais - IBGE, Limites do PNSC - ICMBio.

O MDE utilizado foi disponibilizado pelo TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e partir dos dados altimétricos SRTM foram gerados os cartogramas de declividade (*slope*), exposição das vertentes (*aspect*) e radiação solar acumulada (*solar radiation*) (Figura 2).

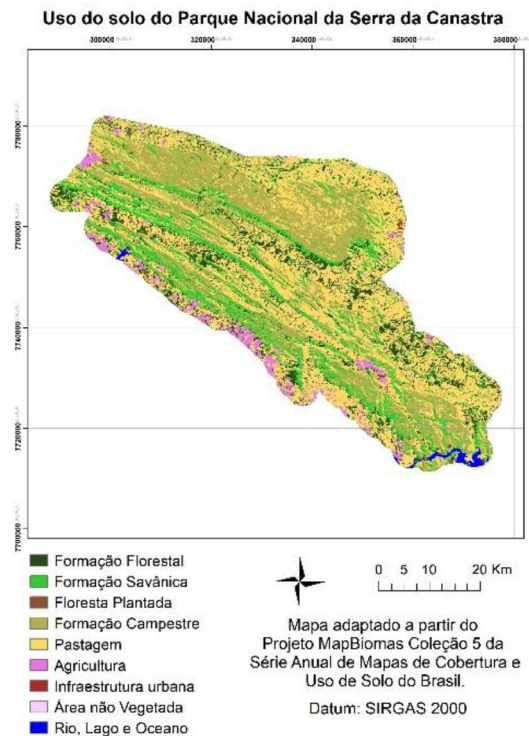
Figura 2 - Modelo digital de elevação e cartogramas de declividade, exposição das vertentes e radiação solar acumulada para o Parque Nacional da Serra da Canastra.



Fonte: TOPODATA - INPE.

O mapa de uso e cobertura do solo foi adaptado a partir do mapa de 2019 do Projeto MapBiomias – Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil (Souza et al., 2020), o *shape* original foi cortado pelo perímetro do PNSC com entorno, trazendo 9 classes referentes ao uso do solo da região, formação florestal, formação savânica, floresta plantada, formação campestre, pastagem, agricultura, infraestrutura urbana, áreas não vegetadas e corpos d'água (Figura 3).

Figura 3 - Mapa de uso e cobertura do solo para o Parque Nacional da Serra da Canastra.

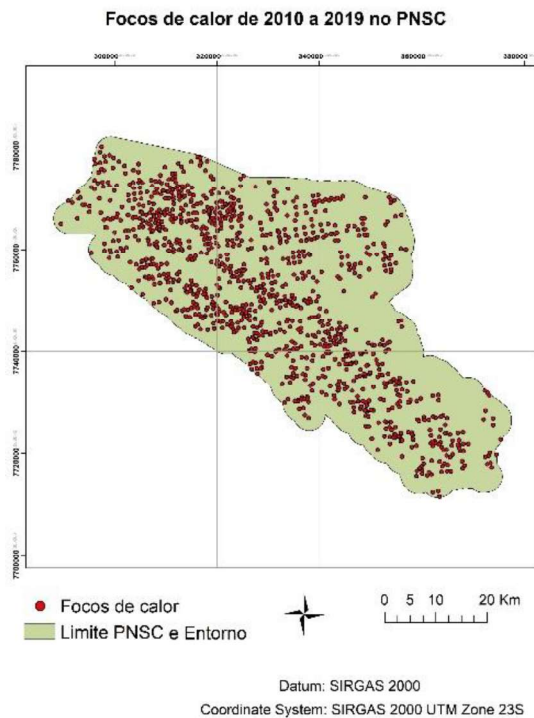


Fonte: Projeto MapBiomas - Coleção 5.0.

2.3. Distribuição de notas

As zonas de suscetibilidade a incêndios são definidas baseadas na causa das ignições, no padrão de sua ocorrência e são identificadas por características ambientais comuns (Eugenio et al., 2016). Cada uma dessas características interfere na ignição e propagação do incêndio, por tanto, a cada uma é distribuída uma nota seguindo a metodologia adaptada de Torres e colaboradores (2017) e considerando os focos de calor (Figura 4) observados pelo satélite AQUA M-T, série temporal de 2010 a 2019 disponibilizados pelo Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC).

Figura 4 - Focos de calor observados pelo INPE de 2010 a 2019 no Parque Nacional da Serra da Canastra.



Fonte: Programa Queimadas - INPE.

As notas do modelo 1 decorrem do estudo da literatura, no modelo 2 as notas se referem a relação entre a área das variáveis e o número de focos e no modelo 3 fazem referência ao número de focos em cada variável e o total de focos (Tabela 1).

Tabela 1: Notas atribuídas nos três modelos para cada variável estudada.

Variáveis	Notas		
Uso do solo	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Formação Florestal	5,0	3,34	1,4
Formação Savânica	7,0	8,41	5,83
Floresta Plantada	2,0	0,0	0,0
Formação Campestre	9,0	8,82	9,35
Pastagem	10,0	5,61	10,0
Agricultura	4,0	3,05	0,37
Urbano	0,0	0,0	0,0
Não vegetado	1,0	10	0,5
Corpos d'água	0,0	0,0	0,0
Declividade	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
0-15°	4,0	7,13	10
15-30°	6,0	7,78	3,51
30-45°	8,0	10,0	0,57
>45°	10,0	8,73	0,07
Exposição das vertentes	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Áreas Planas	2,0	4,63	0,42

Norte	10,0	6,27	5,06
Nordeste	7,0	8,06	7,0
Leste	6,0	6,58	4,35
Sudeste	3,0	7,14	4,51
Sul	5,0	8,51	6,88
Sudoeste	4,0	10,0	10,0
Oeste	9,0	8,56	6,03
Noroeste	8,0	6,63	4,6
Radiação solar	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Baixa	4,0	9,92	1,46
Média	7,0	7,85	6,12
Alta	10,0	10,0	10,0

A partir disso, são gerados seis cartogramas de suscetibilidade a incêndio, utilizando a metodologia adaptada de Torres e colaboradores (2014), para que se possa identificar dentre os modelos o que for mais eficiente para área de estudo.

2.4. Álgebra de mapas

No modelo 1 foram gerados dois mapas seguindo os cruzamentos da álgebra de mapas, para o mapa de suscetibilidade 1 foi realizado o cruzamento do uso do solo (com peso de 50%) com a exposição das vertentes (peso de 50%), o que determina a facilidade de ignição; o produto gerado (com peso de 67%) foi cruzado com a declividade (peso 33%), que se denomina a facilidade de propagação (Torres et al., 2014). As classes de suscetibilidade foram distribuídas de acordo com os resultados das operações realizadas pelo software da seguinte forma: suscetibilidade baixíssima, baixa, média, alta e altíssima.

No mapa de suscetibilidade 2, cruzou-se o mapa do uso do solo (com peso de 50%) com o mapa de radiação solar acumulada (com peso de 50%). O resultado do cruzamento anterior (com peso 67%), cruzou-se com o mapa de declividade (com peso de 33%). Ao final, foram definidas, as cinco classes de suscetibilidade de forma igualitária (baixíssima, baixa, média, alta e altíssima).

Atribuindo notas para o modelo 2, elaborou-se o mapa de suscetibilidade 3 e 4 seguindo os cruzamentos feitos anteriormente com o modelo 1. Os mesmos cruzamentos são realizados para o modelo 3, gerando os mapas 5 e 6.

Ao final os pontos de focos de calor (Figura 4) são comparados aos mapas de suscetibilidade gerados e aos mapas de variáveis a fim de validá-los. A validação busca

umentar a confiabilidade de que os eventos inferidos pelo modelo irão realmente ocorrer nas condições admitidas (Paz et al., 2011).

3.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da influência de cada variável está descrita na Tabela 2. Onde observa-se que na classe de uso do solo as variáveis Pastagem e Formação Campestre tiveram, respectivamente, as maiores áreas e número de focos. Porém no índice de focos por hectare a formação campestre tem maior peso, já que tem menor área e um número de focos próximo do valor de pastagem. No quesito focos por hectare ainda se destacam as áreas não vegetadas e formação savânica.

Tabela 2: Área das variáveis, ocorrência de focos em cada variável e focos por hectare das variáveis de uso do solo, declividade, exposição de vertente e radiação solar.

Variáveis	Área (ha)	Focos	Focos/ha
Uso do solo			
Formação Florestal	30.428,28	60	0,001972
Formação Savânica	50.294,58	250	0,004971
Floresta Plantada	841,64	0	0
Formação Campestre	76.905,35	401	0,005214
Pastagem	129.507,17	429	0,003313
Agricultura	8.880,15	16	0,001802
Urbano	226,13	0	0
Não vegetado	338,48	2	0,005909
Corpos d'água	1.903,30	0	0
Declividade			
0-15°	218.786,00	818	0,003739
15-30°	70.298,34	287	0,004083
30-45°	8.957,30	47	0,005247
>45°	1.310,21	6	0,004579
Exposição das vertentes			
Áreas Planas	4.350,92	10	0,002298
Norte	38.582,05	120	0,00311
Nordeste	41.483,73	166	0,004002
Leste	31.535,70	103	0,003266
Sudeste	30.188,68	107	0,003544
Sul	38.623,86	163	0,00422
Sudoeste	47.765,03	237	0,004962
Oeste	33.668,98	143	0,004247
Noroeste	33.147,89	109	0,003288
Radiação solar			
Baixa	22.751,03	96	0,00422
Média	121.109,30	403	0,003328

Alta	155.487,50	659	0,004238
------	------------	-----	----------

A análise da influência das variáveis físicas e climáticas nas ocorrências de fogo demonstrou como as características únicas do Parque Nacional da Serra da Canastra impactam nos resultados e moldam os mapas de suscetibilidade. A vegetação característica do cerrado, como as formações campestres e savânicas presentes na maior área do PNSC, são naturalmente uma vegetação com alta inflamabilidade, resultado também encontrado no trabalho de Koproski e colaboradores (2011) em outra área do mesmo bioma.

O alto número de focos por área encontrado para estas formações ainda demonstra uma possível tendência à reincidência de ocorrências nessas áreas e a proximidade destas a áreas de pastagem (43% da área) chamam atenção quando ligadas ao número de ocorrências causadas por queima de limpeza de pastos na UCs de Minas Gerais (Torres et al., 2016) e no próprio PNSC (Medeiros e Fiedler, 2003). Essas queimas mesmo que controladas contribuem para o grande número de focos na área de pastagem já que o satélite do INPE identifica como foco as áreas quentes com frente de fogo a partir de 30 metros.

A declividade predominante na área é de 0 a 15°, evidenciando a característica dos chapadões e é também onde mais ocorreram focos de calor, diminuindo gradualmente conforme aumenta a declividade. Quanto as variáveis de exposição de vertentes estas demonstram valores bem próximos e divididos entre as classes, porém as faces Sudoeste e Nordeste acumulam mais focos. As classes de radiação solar seguem um gradual aumento de área e focos de baixa para alta radiação.

O PNSC tem como característica marcante o Chapadão da Canastra e o Chapadão da Babilônia, por isso a maior parte da área tem baixa declividade (0 a 30°) e nessa extensão se concentram a maioria dos focos, corroborando com Adámek e colaboradores (2015) que definem que a combinação de um clima seco com paisagens planas resultam em maior frequência de incêndios. Porém a densidade de focos em grandes declividades (30 a 45°) demonstra a capacidade de propagação do fogo por essas encostas mais inclinadas, onde a inclinação das chamas interfere no microclima e superaquece o material combustível a frente, essa característica acelera muito a propagação do fogo, principalmente em aclives (Torres et al., 2014; Ribeiro et al., 2012).

As variáveis de exposição de vertentes e radiação acumulada também foram muito influenciadas pelas formações dos Chapadões, fazendo uma distribuição bastante igualitária nas faces de exposição, onde se destacam discretamente as faces Sul e Oeste, mostrando um resultado não muito expressivo nessa metodologia, fato que também ocorre no trabalho de Adab

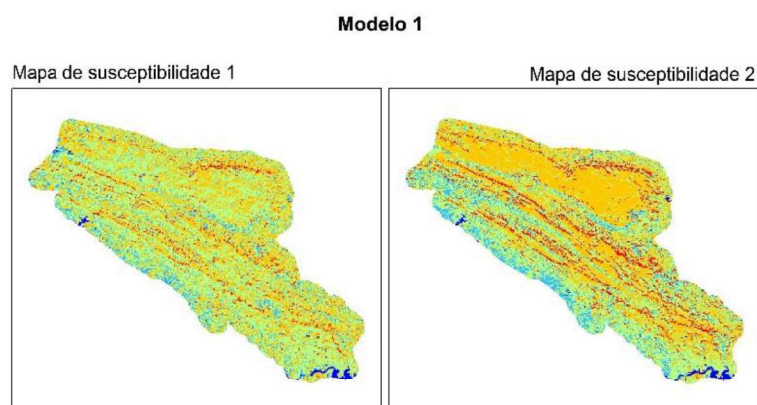
(2017) enquanto analisava o perigo de incêndios na província de Golestan, Irã. Tal resultado difere do convencional para o hemisfério sul que apresenta Norte e Oeste como faces de maior exposição à radiação solar e conseqüentemente mais secas e propícias a iniciar um incêndio (Torres et. al., 2010), esse resultado pode ter sido influenciado por pouca resolução espacial do MDE não fornecendo informações suficientes sobre a exposição solar (Zhang et al., 2016).

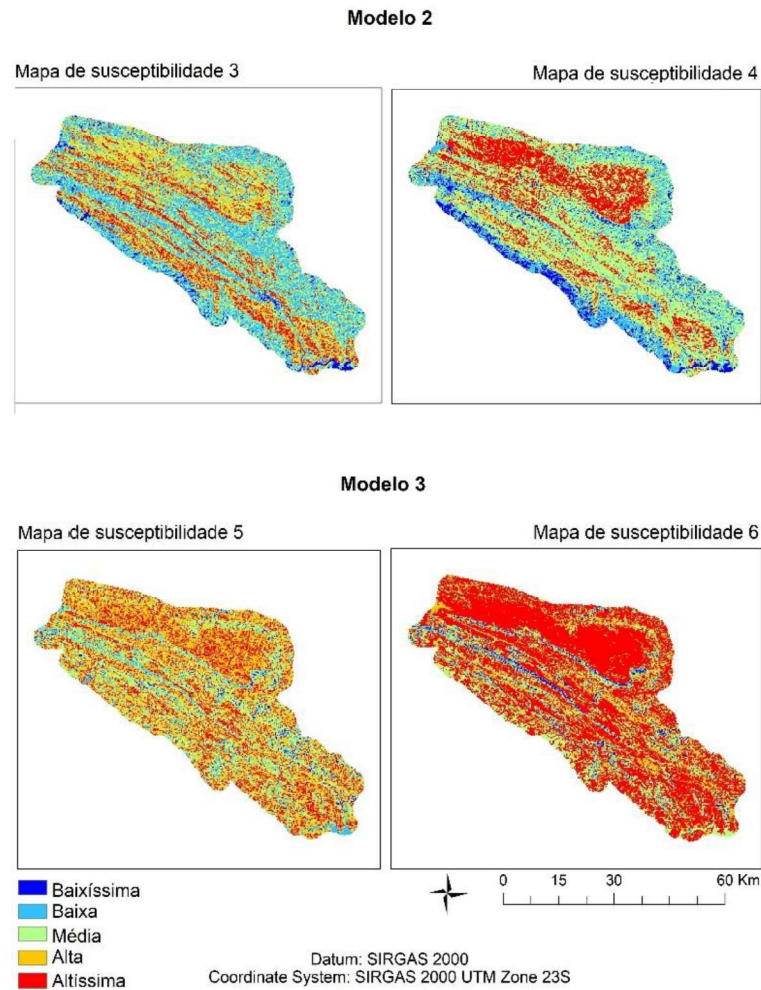
Como diferencial dessa metodologia inclui-se a análise da radiação solar acumulada, essa variável funcionou melhor dentro das especificidades da topografia do PNSC, corroborando com Ahmad e Goparaju (2018) que encontraram a variável de radiação como a de maior relação com as ocorrências de incêndio em pesquisa na Índia. Pelo menos metade do parque se encontra alta radiação acumulada, mais uma vez convergindo com os Chapadões de áreas mais planas e com vegetação campestre, resultando na maior concentração de focos. Ao contrario dessas áreas, onde encontramos formações florestais naturais, maior inclinação, em menores altitudes encontramos os chamados fundos de vale ou matas de galeria próximos a cursos d'água (IBAMA, 2005), temos conseqüentemente baixa radiação acumulada e poucos focos.

Os seis cartogramas de suscetibilidade (Figura 5), foram elaborados a partir dos cruzamentos dos mapas das variáveis com notas de acordo com cada modelo.

Entre os modelos, o mapa de suscetibilidade ideal, que representa a real suscetibilidade de fogo para o PNSC, deve ser o que garantir que as áreas de suscetibilidade baixíssima e baixa sejam de maior extensão do que as de alta e altíssima suscetibilidade, e onde o número de focos de incêndio seja maior nas classes de altíssima e alta suscetibilidade, diminuindo até a classe baixíssima, de forma gradual e representando bem os focos distribuídos pelo local de estudo (Torres et al., 2014). A densidade de focos por hectare também é um valor importante na análise dos cartogramas e se mostrou decisivo na escolha pelo mapa mais eficiente.

Figura 5 - Mapas de suscetibilidade gerados pelos três modelos utilizados para determinar a suscetibilidade a incêndios no Parque Nacional da Serra da Canastra.





Fonte: Limites do PNSC -ICMBio e focos de calor - INPE.

O modelo 1 (Tabela 3) não seguiu nenhum dos critérios determinados, demonstrando que as notas de acordo com a literatura adotada não conseguiram delinear bem as características da área de estudo.

Nos mapas de suscetibilidade do modelo 1, observa-se que as classes de Média e Alta suscetibilidade se destacam em área e número de focos, acumulando cerca de 86% da área e 90% dos focos no mapa de suscetibilidade 1 e 81% de área e 84% de focos no mapa de suscetibilidade 2 (Tabela 3). Este resultado demonstra que o modelo 1, baseado em notas da literatura, não foi muito preciso para área de estudo, sendo recomendado aprofundar os estudos na literatura mais específica do Cerrado e conforme as especificidades de cada Unidade de Conservação.

Tabela 3: Classificação das áreas das classes e ocorrências de focos de calor para o mapa 1 e mapa 2 do modelo 1.

MAPA 1	Área das classes	Ocorrências em cada classe	Focos/ha
--------	------------------	----------------------------	----------

	Classes	Hectare	%	Focos	%	
		Baixíssima	2469,60	1%	3	0,3%
	Baixa	29478,40	10%	80	6,9%	0,002714
	Média	144169,76	48%	629	54,3%	0,004363
	Alta	113970,08	38%	403	34,8%	0,003536
	Altíssima	9259,04	3%	43	3,7%	0,004644
	Total	299346,88	100%	1158	100%	

MAPA 2	Área das classes			Ocorrências em cada classe		Focos/ha
	Classes	Hectare	%	Focos	%	
	Baixíssima	2540,16	1%	1	0,1%	0,000394
	Baixa	32057,76	11%	92	7,9%	0,00287
	Média	110920,32	37%	398	34,4%	0,003588
	Alta	131735,52	44%	575	49,7%	0,004365
	Altíssima	22100,96	7%	92	7,9%	0,004163
	Total	299354,72	100%	1158	100%	

O modelo 2 teve suas notas baseadas na relação de número de focos por hectare de cada variável, o mapa 3 teve uma distribuição mais equilibrada quanto as áreas das classes e número de focos, 63% da área se concentra nas classes baixa e média enquanto quase 60% dos focos estão nas classes média e alta, mas os valores de focos/ha não seguiram de forma crescente (Tabela 4).

No mapa 4 tem-se 64% da área nas classes baixa e média suscetibilidade, o número de focos é maior na classe média e altíssima, mas chamam atenção os valores de focos por hectare que seguem uma crescente da classe baixíssima para a de altíssima suscetibilidade, tornando este mapa o mais promissor. Este resultado se aproxima ao encontrado no desenvolvimento do mapa de suscetibilidade a incêndios de Torres e colaboradores (2014) para o município de Ubá em Minas Gerais.

Percebe-se que este cartograma utilizou o mapa de radiação solar para definir a facilidade de ignição junto do uso e ocupação, isso mostra a flexibilidade da metodologia e aprova uso da radiação solar acumulada para áreas de baixa declividade.

Tabela 4: Classificação das áreas das classes e ocorrências de focos de calor para o mapa 3 e mapa 4 do modelo 2.

MAPA 3	Área das classes			Ocorrências em cada classe		Focos/ha
	Classes	Hectare	%	Focos	%	
	Baixíssima	7639,81	3%	9	1%	0,001178
	Baixa	96424,98	32%	267	23%	0,002769

	Média	93074,81	31%	346	30%	0,003717
	Alta	60663,62	20%	326	28%	0,005374
	Altíssima	41435,2	14%	210	18%	0,005068
	Total	299238,4	100%	1158	100%	
		Área das classes		Ocorrências em cada classe		Focos/ha
	Classes	Hectare	%	Focos	%	
MAPA 4	Baixíssima	21110,67	7%	40	3%	0,001895
	Baixa	49031,28	16%	114	10%	0,00233
	Média	144744,9	48%	584	50%	0,004035
	Alta	24877,04	8%	111	10%	0,004462
	Altíssima	59442,81	20%	309	27%	0,005198
	Total	299206,8	100%	1158	100%	

Por fim no modelo 3 que teve suas notas determinadas pela relação número de focos na variável pelo total de focos, o mapa 5 (Tabela 5) distribuiu quase de forma crescente as áreas da classe de baixíssima para altíssima, mas concentrou cerca de 70% nas classes média e alta, quanto aos focos se concentraram em alta e altíssima, o que determina uma boa representatividade das ocorrências de fogo. Mas o critério de focos por hectare não foi atendido, o valor não segue de forma crescente da classe de baixíssima para altíssima suscetibilidade.

O mapa 6 (Tabela 5) seguiu de forma crescente da classe baixíssima para o altíssima tanto para áreas quanto para os focos, o que é esperado e considerado correto acontecer com o número de focos, porém a área deveria ter a tendência contrária e diminuir. Esse resultado torna o mapa 6 tendencioso a superestimação da suscetibilidade.

Tabela 5: Classificação das áreas das classes e ocorrências de focos de calor para os mapas 5 e 6 do modelo 3.

		Área das classes		Ocorrências em cada classe		Focos/ha
	Classes	Hectare	%	Focos	%	
MAPA 5	Baixíssima	4717,407	2%	6	1%	0,001272
	Baixa	23573,36	8%	93	8%	0,003945
	Média	86089,31	29%	300	26%	0,003485
	Alta	115776,7	39%	440	38%	0,003800
	Altíssima	69101,62	23%	319	28%	0,004616
	Total	299258,4	100%	1158	100%	
		Área das classes		Ocorrências em cada classe		Focos/ha
	Classes	Hectare	%	Focos	%	
MAPA 6	Baixíssima	6795,862	2%	21	2%	0,00309

Baixa	16452,8	5%	72	6%	0,004376
Média	45910,99	15%	154	13%	0,003354
Alta	54374,97	18%	198	17%	0,003641
Altíssima	175659,1	59%	713	62%	0,004059
Total	299193,8	100%	1158	100%	

Nesse modelo aconteceu uma superestimação das áreas de alta e altíssima suscetibilidade devido as notas que foram produto da relação de número de focos em cada variável pelo número total de focos, já que as maiores áreas de cada variável no geral também eram as com maior número de focos, que também acontecem em grande quantidade distribuídos por todo o PNSC. Fato que demonstra a vulnerabilidade da UC, mas para um mapa de suscetibilidade isso causa uma imprecisão nas informações que pode atrapalhar na gestão de incêndios.

4.0. CONCLUSÃO

Todas as variáveis analisadas exercem certa influência na ignição e propagação de incêndios no Parque Nacional da Serra da Canastra. A vegetação campestre típica do cerrado e as pastagens que permeiam o parque, a baixa declividade no alto dos Chapadões que também recebem elevadas taxas de radiação solar, principalmente nas vertentes voltadas ao Sul e Oeste, moldaram as classes de alta e altíssima suscetibilidade de incêndios.

O mapa 4 do modelo 2, se mostrou o mais eficiente para previsão de suscetibilidade a incêndio no PNSC. Sendo o uso da radiação acumulada um diferencial positivo na metodologia, que permitiu uma melhor visualização das áreas de cada classe de suscetibilidade e isso facilita ao gestor tomar decisões práticas e mais eficientes no planejamento de prevenção de incêndios. Confirma também a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas como ferramenta eficiente na previsão e prevenção do fogo.

A metodologia pode ser adaptada e replicada em outras áreas, uma vez que dentre as variações de notas para os modelos e em diferentes cruzamentos a metodologia consegue abraçar diferentes características ambientais e assim atender as necessidades na Unidade de Conservação ou Área Protegida que o gestor precisar analisar utilizando este trabalho como roteiro.

5.0. REFERÊNCIAS

ADAB, HAMED. Landfire hazard assessment in the Caspian Hyrcanian forest ecoregion with the long-term MODIS active fire data. **Natural Hazards**, v. 87, 2017.

ADÁMEK, M., BOBEK, P., HADINCOVÁ, V., WILD, J., KOPECKÝ, M. Forest fires within a temperate landscape: A decadal and millennial perspective from a sandstone region in Central Europe. **Forest Ecology and Management**, v. 336, 2015.

AHMAD, F., GOPARAJU, L. Climate change and its impact on Forest Fire in the state of Himachal Pradesh and Uttarakhand states of India: Remote Sensing and GIS Analysis. **Contemporary Trends In Geoscience**, v. 7, 2018.

AJIN, R. S., LOGHIN, A. M., JACOB, M. K., VINOD, P. G., KRISHNAMURTHY, R. R. The risk assessment study of potential forest fire in Idukki Wildlife Sanctuary using RS and GIS techniques. **International Journal of Advanced Earth Science and Engineering**, v. 5, 2016.

ARAGÃO, L. E. O. C., ANDERSON, L. O., FONSECA, M. G., et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, 2018.

BARLOW, J. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, 2016.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 jul. 2000. Seção 1, p. 45-48.

EUGENIO, F. C., SANTOS, A. R., FIEDLER, N. C., RIBEIRO, G. A., SILVA, A. G., SANTOS, A. B., PANETO, G. G., SCHETTINO, V. R. Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 173, 2016.

FONSECA, M. G., et al. Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 25, 2019.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Plano de manejo do parque Nacional da Serra da Canastra**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Portal do monitoramento de queimadas e incêndios [online]. Brasília; 2019. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas>.

KOPROSKI, L., FERREIRA, M. P., GOLDAMMER, J. G., BATISTA, A. C. Modelo de zoneamento de risco de incêndios para unidades de conservação brasileiras: o caso do Parque estadual do cerrado. **Floresta**, v. 41, 2011.

- LIMA, G. S., TORRES, F. T. P., COSTA, A. G., FÉLIX, G. A., JUNIOR, M. R. S. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. **Floresta**, v. 48, 2018.
- MAGALHÃES, S. R., LIMA, G. S., RIBEIRO, G. A. Avaliação dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional da Serra da Canastra – Minas Gerais. **Cerne**, v.18, 2012.
- 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, 2004.
- PAZ, S., CARMEL, Y., JAHSHAN, F., SHOSHANY, M. Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: A recent case study from Mt. Carmel (Israel). **Forest Ecology and Management**, v. 262, 2011.
- RIBEIRO, L., SOARES, R. V., BEPLER, M. Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de novo mundo, Mato Grosso, Brasil. **Cerne**, v. 18, 2012.
- SOUZA, C. M., et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, 2020.
- THOMPSON, M. P., CALKIN, D. E. Uncertainty and risk in wildland fire management: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, 2011.
- TIAN, X.; ZHAO, F.; SHU, L.; WANG, M. Distribution characteristics and the influence factors of forest fires in China. **Forest Ecology and Management**, v. 310, 2013.
- TORRES, F. T. P., RIBEIRO, G. A., MARTINS, S. V., LIMA, G. S. Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v. 34, 2010.
- TORRES, F. T. P., RIBEIRO, G. A., MARTINS, S. V., LIMA, G. S. Mapeamento da suscetibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG. **Revista Árvore**, v. 38, 2014.
- TORRES, F. T. P., ROQUE, M. P. B., LIMA, G. S., MARTINS, S. B., FARIA, A. L. L. Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.
- YANG, J., HE, H. S., SHIFLEY, S. R., GUSTAFSON, E. J. Spatial Patterns of Modern Period Human-Caused Fire Occurrence in the Missouri Ozark Highlands. **Forest Science**, v. 53, 2007.
- ZUMBRUNNEN, T., PEZZATTI, G. B., MENÉNDEZ, P., BUGMANN, H., BÜRGI, M., CONEDERA, M. Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. **Forest Ecology and Management**, v. 261, 2011.
- ZHANG, Y., LIM, S., SHARPLES, J. J. Modelling spatial patterns of wildfire occurrence in South-Eastern Australia. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, 2016.

CONCLUSÕES GERAIS

Percebe-se que os incêndios no Parque Nacional da Serra da Canastra acontecem no período de seca e tem queimado em média áreas menores do que nos anos anteriores, mas ainda classificam-se maiores que os estudados no Brasil. As causas relacionadas ao homem se destacaram em número e área queimada. A eficiência no tempo de ataque e combate a incêndios diminuiu, necessitando melhoria nos planos de ação, contratação e treinamento de funcionários e brigadistas, para atender uma área tão extensa e complexa como a do PNSC.

Os fatores analisados demonstraram como as características do PNSC influenciam na ignição e propagação do fogo, como a vegetação campestre e as particularidades da área quanto a baixa declividade e alta radiação solar nas formações dos chapadões delimitam as áreas de alta e altíssima suscetibilidade. O mapa de suscetibilidade 4 do modelo 2, se mostrou o mais eficiente para previsão de incêndios, apresentando o número de focos por hectare crescente da classe de baixíssima suscetibilidade para a de altíssima. Portanto, o mapa de suscetibilidade gerado será eficiente para prever possíveis incêndios no PNSC e poderá auxiliar nas tomadas de decisões dos gestores.

Com os resultados obtidos pode-se recomendar que novas técnicas de manejo do fogo sejam cada vez mais aplicadas em todo o PNSC, incluindo o manejo integrado do fogo e aumentando a proximidade entre gestão e população, através da educação ambiental. Uma mudança de visão sobre o uso do fogo pode trazer resultados ainda melhores em um futuro próximo, as análises como as realizadas neste estudo devem ter continuidade para que se possa manter uma base de dados concreta e representativa, a fim de facilitar o entendimento global da situação dos incêndios florestais e uso do fogo no PNSC.

Esse estudo pode contribuir muito na gestão do fogo feita no Parque, tomando os dados como base para atualizar os planos de ação, referentes a previsão e prevenção de incêndios. Também é possível e esperado que gestores de outras Unidades de Conservação adaptem as metodologias e as utilizem como roteiro para avaliar a gestão do fogo em diferentes áreas.