



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO NAS INTERFACES URBANO-FLORESTAIS DE CACHOEIRINHA, RS *FIRE RISK ASSESSMENT METHODOLOGY IN THE WILDLAND-URBAN INTERFACES OF CACHOEIRINHA, RS*

Autor: Eng. Ambiental Felipe Vargas e Silva (vargas.silva@ufrgs.br)

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Correia Rodrigues (jpaulocr@dec.uc.pt)

Coorientadora: Prof. Dra. Ângela Gaio Graeff (angela.graeff@ufrgs.br)

RESUMO

Os incêndios florestais causam danos significativos nas interfaces urbano-florestais, por essa razão, é fundamental que se crie uma metodologia capaz de avaliar os riscos de incêndio nas interfaces urbano-florestais de Cachoeirinha, RS. Como fatores determinantes do risco de incêndio, foram selecionados fatores climáticos, como regime pluviométrico e regime de ventos, fatores relacionados às formações vegetais como a composição florística, o estágio sucessional e o manejo florestal, fatores topográficos como a declividade e fatores relacionados ao uso da terra, como uso urbano, agricultura de irrigação e agricultura familiar. Para desenvolver a metodologia, foram utilizados dados de imagem de satélite em RGB, modelo digital de elevações para o cálculo dos dados vetoriais para a delimitação das formações vegetais. Aplicou-se primeiramente uma seleção por contiguidade entre as formações vegetais e a agricultura familiar a fim de se determinar o risco de deflagração de incêndio. Das áreas selecionadas, foi aplicada a seleção por sobreposição a fim de se identificar as áreas de formações vegetais com maior risco de propagação de incêndios. Utilizou-se a imagem de satélite e a direção predominante dos ventos a fim de se estimar os danos causados às comunidades próximas às áreas de risco de incêndio. Verificou-se que as áreas com maiores riscos de início de incêndio não coincidem com as áreas de maiores riscos de propagação de incêndio no município.

Palavras-chave: riscos de incêndios, incêndio de interface urbano - florestal, propagação.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

ABSTRACT

Forest fires can cause major damages to wildland-urban interfaces. For this reason, it is essential to create a methodology capable of assessing fire risks at the wildland-urban interfaces and in this case applied to Cachoeirinha, RS. As determinants of fire risk, climatic factors were selected, such as rainfall and wind direction, factors related to forests such as floristic composition, successional stage and forest management, topographic factors such as slope and factors related to the use of the land, such as urban use, agriculture by irrigation and small farms. In order to develop the methodology, data from satellite image in RGB, digital elevation model for the calculation of the vector data for the delimitation of plant formations, were used. Firstly, a contiguous selection method was applied between forest formations and small farms in order to determine the risk of fire onset. From the selected areas, overlapping selection method was applied in order to identify the forests areas with the greatest risk of spreading wildfires. The satellite image and the wind direction were used in order to estimate the potential damage caused to communities near fire risk areas. It was found that the major fire occurrence risk areas does not match with the major fire propagation risk areas in the study area.

Keywords: risk, wildland-urban interface fire, spreading.



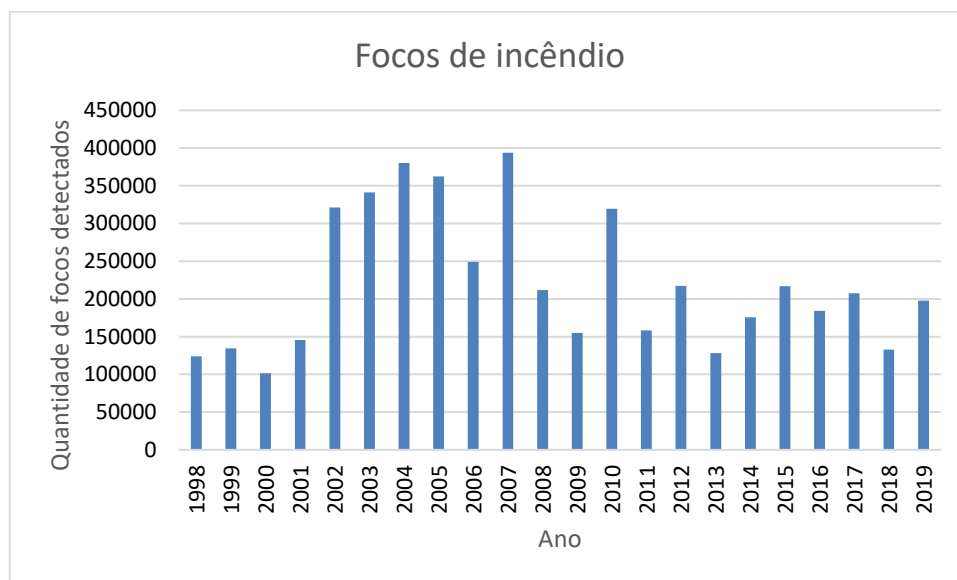
Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são fenômenos complexos que possuem natureza multicausal. Atualmente, a pesquisa sobre o tema está em crescente expansão no mundo científico, liderada por países como Estados Unidos, Austrália, Portugal e Espanha (BENTO-GONÇALVES; VIEIRA, 2020). Há incidentes cujas causas são naturais, como aqueles provocados por descargas atmosféricas em regiões em que a vegetação nativa está sob estresse hídrico causado por um período de baixa precipitação. VERDE (2008) ressalta que incêndios florestais naturais fazem parte da estratégia de desenvolvimento de algumas espécies e da renovação da paisagem e contribuem na modelagem das florestas. Em uma perspectiva global, os incêndios antropogênicos são de longe a maioria das ocorrências de incêndios florestais (STOCKS, 1992). MARTÍNEZ *et al.*, (2009) afirmam que, na Espanha, mais de 90% dos incêndios florestais são causados pela ação humana. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) monitora através de sensoriamento remoto os focos ativos de fogo desde junho de 1998.

Figura 1 - Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência, no período de 1998 até 2019. Fonte: INPE (INPE, 2020).



Independente da causa, a queima da biomassa causada pelos incêndios florestais costuma estar associada a uma diversa gama de impactos ambientais. Dentre eles, o mais conhecido e notório é a emissão de gases poluentes para a atmosfera. As emissões atmosféricas das queimadas e incêndios florestais aliadas com alterações no uso do solo resultam em grandes



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

impactos nos sistemas climáticos em diversas escalas de estudo. Em microescala, algumas das consequências diretamente verificadas são problemas respiratórios na população local. Além de problemas respiratórios, os incêndios florestais podem causar perdas humanas, alterações no regime hidrológico, alteração na malha de transportes, como fechamento de aeroportos e rodovias, interrupção no fornecimento de energia elétrica por queda de linhas de transmissão de energia elétrica, perdas de residências, indústrias, dentre outros (DWYER et al., 2000b). Em escala global, temos a contribuição para o aquecimento global através da liberação para a atmosfera do gás carbônico que estava fixado na biomassa, além de material particulado como cinzas e fuligens (PEREIRA, 2004). Estima-se que mais de 40% das emissões de CO₂ produzidas pelas atividades humanas tenham origem em queima de biomassa provocadas por incêndios florestais (LEVINE, 1996 *apud* DWYER et al., 2000b). Dentre os impactos ambientais indiretos associados aos incêndios florestais, pode-se citar a eliminação total ou parcial de ecossistemas inteiros, alterações na flora e na fauna, alteração do escoamento superficial, e a perda da fertilidade do solo (MOTA et al., 2019). Esses impactos, bem como a interação entre eles, frequentemente resultam em perdas econômicas expressivas, porém de difícil mensuração.

O surgimento das interfaces urbano-florestais, fruto do crescente aumento das áreas urbanizadas, agrava o problema dos incêndios florestais no Brasil, um país com grandes áreas de seu território ainda cobertas por florestas. Uma definição intuitiva de interface urbano-florestal a caracteriza como um lugar onde "os humanos e seu desenvolvimento se encontram ou se misturam com o combustível selvagem (as florestas)" (STEIN *et al.*, 2013). A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, conhecida pelo acrônimo "FAO", define floresta como a porção de terra medindo mais de 0,5 hectares com árvores com mais de 5 metros com uma cobertura de copa de mais de 10 por cento (FAO, 2015). Em Cachoeirinha, RS, as interfaces urbano-florestais se confundem com as próprias formações vegetais municipais remanescentes, uma vez que a distribuição espacial da urbanização e das formações vegetais possibilitou zonas de contato entre ambas.

Nas interfaces urbano-florestais, os danos causados por incêndios florestais, tanto em perdas de vidas como em prejuízos materiais, atingem o seu potencial máximo. Para que sejam minimizados estes danos, faz-se necessário o estudo dos fatores capazes de maximizar a propagação do incêndio florestal. A ocorrência dos incêndios florestais depende de diversos



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

fatores: as condições climáticas ou meteorológicas, o tipo de vegetação e o seu o estado sucessional, a topografia e o uso da terra (Dwyer et al., 2000a).

Embora sejam comuns em países como os Estados Unidos (OHLSON et al., 2006), Espanha (MARTÍNEZ et al., 2009), Grécia (MITSOPOULOS et al., 2014), Austrália (BARDSLEY et al., 2015), Portugal e outros, há uma carência de metodologias de quantificação dos fatores de risco de incêndio nas interfaces urbano-florestais que sejam aplicáveis nos municípios brasileiros. Por essa razão, desenvolver uma metodologia de avaliação de risco de incêndio para as interfaces urbano-florestais do Município de Cachoeirinha, RS, através da utilização de dados de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas, é crucial para a minimização de perdas na região.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Fatores relacionados ao risco de incêndio florestal

O risco de incêndio é definido por diversos autores como a probabilidade de ocorrência de incêndios em uma área. O mapeamento do risco de incêndio, de acordo com PRUDENTE (2010), tem como objetivo a identificação de áreas com riscos diferenciados em uma determinada região, usando fatores inerentes à área de estudo, como uso da terra, relevo, características das florestas, dados meteorológicos locais, etc.

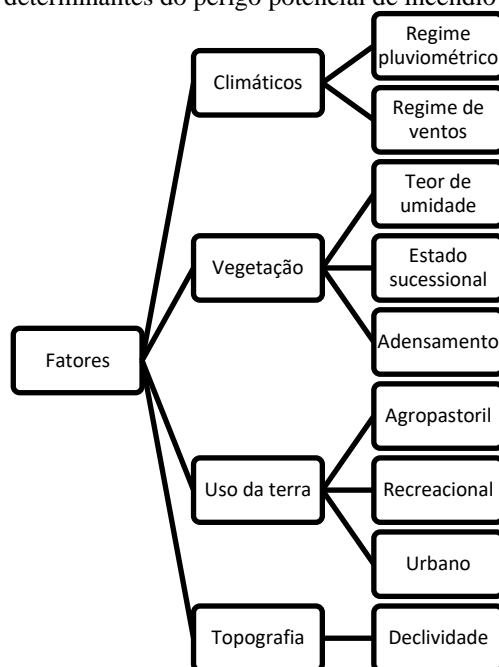
Para que haja a reação de combustão conhecida como fogo são necessários três elementos: calor, oxigênio e combustível. O combustível, em se tratando de incêndios florestais, é representado pelas formações vegetais. Além disso, outros fatores como a climatologia (regime de chuvas e direção predominante dos ventos), a topografia local e o uso da terra são determinantes para a propagação do incêndio florestal. A Figura 2 apresenta um fluxograma com os principais fatores que influenciam os incêndios florestais.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 2 - Fatores de determinantes do perigo potencial de incêndio florestal. Fonte: autor.



Fatores climáticos

OLIVEIRA *et al.*, (2018) citam alguns fatores climáticos como a velocidade e direção predominante dos ventos, a umidade relativa do ar, a temperatura, e o regime de precipitação pluviométrica como os principais fatores determinantes para ocorrência e propagação de incêndios florestais. O regime de ventos no local é o maior fator de propagação do fogo e determina a taxa, a direção de propagação e o formato do incêndio florestal.

A umidade relativa do ar descreve a quantidade de vapor de água comparado com o ar saturado de moléculas de vapor de água. Quando a umidade relativa do ar está muito baixa, o teor de umidade do material combustível também baixa, aumentando a sua combustibilidade.

A temperatura do ar afeta a propagação do fogo indiretamente de duas formas: através de sua influência no teor de umidade do material combustível e na formação de correntes convectivas que modificam o regime de ventos. À medida que a temperatura aumenta, o teor de umidade nos materiais diminui. Além disso, quanto maior for a temperatura do material combustível, mais facilmente ele atingirá a temperatura de ignição.

O regime pluviométrico durante o ano afeta diretamente a incidência de incêndios florestais. Em regiões em que o clima local apresenta uma estação de baixa pluviosidade, há



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

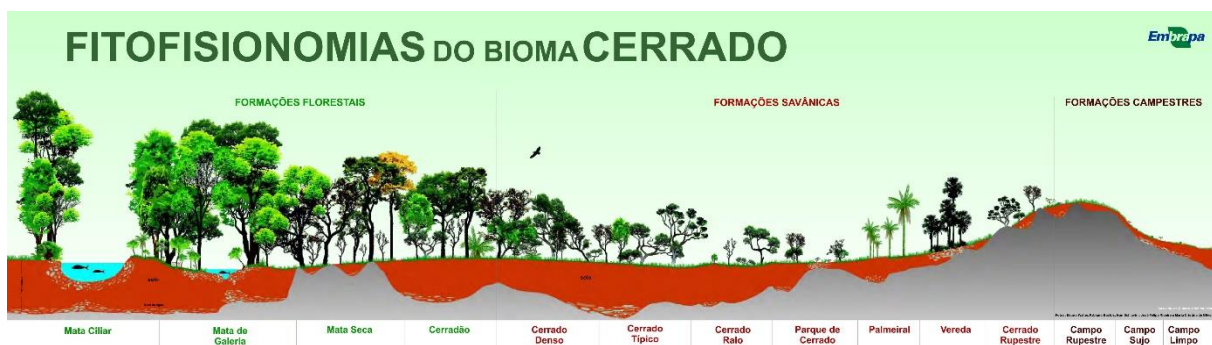
www.ufrgs.br/esci
(2020)

um aumento significativo de incêndios nessas estações, por conta do déficit hídrico na vegetação, o que diminui a quantidade de água presente nos tecidos vegetais (MOTA et al., 2019). Tal variável, portanto, está relacionada diretamente com a quantidade de energia necessária para que a biomassa vegetal entre em processo de combustão.

Fatores relacionados à vegetação

As formações vegetais estão intimamente relacionadas com o risco de incêndio por fornecerem o combustível para a reação de combustão. A combustibilidade das formações vegetais está relacionada com a sua tipologia, o estágio de desenvolvimento ou estágio sucessional da formação vegetal e o tipo de manejo a que a formação foi submetida. A tipologia interfere na inflamabilidade através da variação do teor de umidade nos tecidos vegetais. O estágio sucessional determina de duas formas a propagação de incêndios florestais: pelo aumento de biomassa e pelo adensamento da cobertura vegetal. Em relação ao aumento da biomassa, a quantidade de material combustível é uma das variáveis mais significativas que determinam o comportamento do fogo e a taxa de propagação e intensidade de um incêndio, de acordo com (MCARTHUR, 1961). O adensamento da cobertura vegetal, por sua vez, determina as condições microclimáticas sob o dossel florestal: a temperatura no interior de uma floresta densa é expressivamente menor devido ao sombreamento (interceptação da radiação solar), a umidade é maior devido à menor evapotranspiração e a circulação de ar é dificultada pela vegetação densa. A cobertura vegetal morta sobre o solo, por essas razões, apresenta maior teor de umidade e dificuldade de ignição (KOPROSKI, 2010). Quanto ao manejo vegetal, pode-se classificar as formações vegetais em florestas nativas e plantadas (silvicultura). O espaçamento uniforme e a serapilheira seca nestas últimas contribui para a propagação do incêndio. A Figura 3 mostra, a título de exemplo, as fitofisionomias do Cerrado Brasileiro.

Figura 3 - Fitofisionomias do bioma cerrado (RIBEIRO e WALTER, 2008).





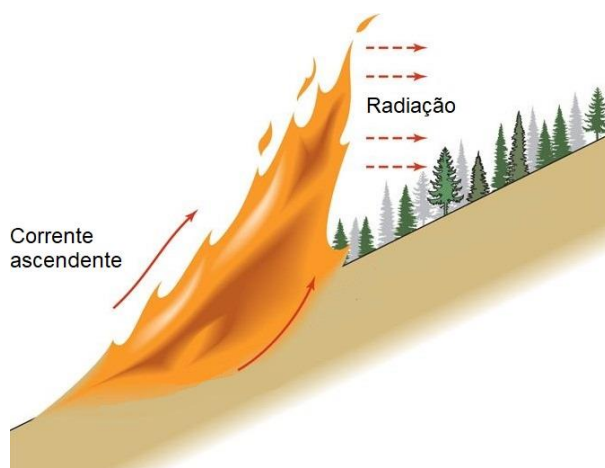
Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Fatores topográficos (relevo)

OLIVEIRA (2016) cita a declividade do relevo como um dos fatores que possui influência direta na propagação do fogo durante os incêndios florestais. Em situações em que a interface urbano-florestal se situa em um aclive, a propagação do fogo será potencializada por que se formam curvas de convecção entre as correntes de ar quente formadas pelo fogo, o que acaba secando a biomassa vegetal situada em cotas topográficas superiores, facilitando a ignição do material lenhoso. Quanto maior for a declividade, mais intenso o incêndio. Estudos recentes demonstraram, que para cada 10° de declividade ascendente, o fogo dobra a sua taxa de propagação. A Figura 4 ilustra o efeito do fogo em aclives.

Figura 4 – Comportamento do fogo em um aclive. Adaptado de: Pearson Prentice Hall Inc. Disponível em : <https://www.portugalwildfires.com/wildfires-on-slopes/>



Fatores relacionados ao uso da terra

Incêndios florestais intencionais estão intimamente relacionados com mudanças no uso da terra, especialmente em países em desenvolvimento (ANDRAE, 1992). No Brasil, destaca-se a utilização do fogo como tecnologia de desmatamento e preparo para o cultivo na agricultura ou pecuária. Essa prática de manejo da vegetação por meio de fogo ateadado intencionalmente é chamada popularmente de *queimada*. A dimensão atingida pela prática das queimadas com a finalidade de manejo da vegetação tem sido objeto de preocupação e polêmica a nível nacional e internacional (MIRANDA et al., 1994).

Sob esta perspectiva, conhecer o uso e ocupação dos solos pode servir como indicador da suscetibilidade de início de incêndios florestais (MELO, 2018). Uma das formas de realizar



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

esta análise é por meio dos sistemas de informações geográficas e de ferramentas de geoprocessamento, que permitem mensurar com grau de confiabilidade, através de dados obtidos por sensoriamento remoto, como imagens de satélites orbitais, a utilização do solo dentro de determinadas limitações de resolução espacial e temporal.

2.2. Modelos existentes de avaliação de risco

Diferentes metodologias foram desenvolvidas e aprimoradas com o intuito de quantificar o risco de incêndio florestal (BORGES et al., 2011). Na literatura científica sobre o tema, a quantificação do risco se dá sob a forma de índices de risco. TETTO et al. (2010) classificaram os índices de risco em duas categorias: os índices de ocorrência e os índices de propagação. Os índices de ocorrência objetivam quantificar a probabilidade de início de incêndio. Para isso, são baseados em fatores climáticos, partindo do princípio que o risco de fogo aumenta conforme aumenta a quantidade de dias consecutivos sem chuva em um determinado local. ALVARES et al. (2014) subdividiram os índices de ocorrência em não-cumulativos e cumulativos: os primeiros levam em conta somente as condições climáticas vigentes no momento do cálculo; já os segundos, consideram também as condições climáticas dos dias passados. Os exemplos mais difundidos são a Fórmula de Monte Alegre (FMA), o índice de Nesterov e a Fórmula de Monte Alegre Alterada (FMA+). Já os índices de propagação de incêndio refletem como as condições ambientais (vegetação, relevo, uso do solo, para citar alguns fatores) podem influenciar na propagação dos incêndios já iniciados. Como exemplo deste, tem-se o modelo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019) e o *The National Fire-Danger Rating System* (COHEN; DEEMING, 1985). Tais índices de propagação resultam em mapas de risco baseados na sobreposição de vários mapas temáticos desenvolvidos em sistemas de informações geográficas, em cada estudo define, em função das especificidades locais, o peso de cada fator.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Tabela 1 – resumo dos índices de risco de incêndio. Fonte: autor.

Índice	Referência original	Classificação	Dados de entrada	Equação
Nesterov (N)	(NESTEROV, 1949)	Índice de ocorrência cumulativo	Dias sem chuvas maiores do que 3 mm (w), Temperatura (t) e ponto de condensação da água (D).	$N = \sum_{i=1}^w (t_i - D_i) \cdot t_i$
Fórmula de Monte Alegre (FMA)	(SOARES, 1972)	Índice de ocorrência cumulativo	Umidade relativa do ar (H) e número de dias sem chuva (n).	$FMA = \sum_{i=1}^N \frac{100}{H_i}$



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Tabela 2 - resumo dos índices de risco de incêndio (continuação). Fonte: autor.

Índice	Referência original	Classificação	Dados de entrada	Equação
Monte Alegre Alterada (FMA+)	(NUNES et al., 2006)	Índice de ocorrência cumulativo	Umidade relativa do ar (H), número de dias sem chuva (n) e velocidade do vento (v).	$FMA^+ = \sum_{i=1}^N \left(\frac{100}{H_i} \right) e^{0,04 \cdot v}$
INPE	(INPE, 2019)	Índice de ocorrência e propagação	Risco de fogo básico (R_b): Dias de segura (PSE) e tipos de vegetação (A); Risco de fogo observado (RF): Risco de fogo básico, fator de temperatura do ar na superfície do solo (FT), fator de umidade relativa do ar na superfície do solo (FU),	$R_b = \frac{0,8 \cdot \{1 + \text{sen} [((A \times PSE) - 90) \times (\frac{3,14}{180})]\}}{2}$ $RF = R_b \times FT \times FU$
National Fire-Danger Rating System	(NWCG, 1972)	Índice de ocorrência e propagação	Dados climatológicos: índice de seca, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, estação do ano; Dados locais: estado da vegetação herbácea; Tipo de arbustos; Teor de umidade vegetal	Modelagem computacional via software



3. METODOLOGIA PROPOSTA PARA CLASSIFICAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO

A metodologia desenvolvida almeja avaliar os riscos de incêndio com a utilização de sistema de informações geográficas nas interfaces urbano-florestais através da utilização de dados de sensoriamento remoto de relevo, formações vegetais e uso da terra locais de fácil aquisição, de modo a representar as condições locais. Analisou-se esses fatores porque, dada a escala de estudo, os fatores climatológicos não se alteram entre as áreas analisadas. A metodologia pretende refletir as relações entre vários combustíveis (formações vegetais), topografia e condições de risco baseadas no uso da terra.

Inicialmente, definiu-se e se classificou zonas de risco de início de incêndio florestal em função do mapa de uso da terra. De acordo com as práticas de manejo vegetal com a utilização de fogo em Cachoeirinha, foram definidas três classes de risco relacionadas ao uso da terra: risco de início baixo, moderado e alto. Foram criadas classes de risco de incêndio no mapa de formações vegetais em função do teor de umidade —que atua como retardante do início do incêndio—, do estágio sucessional —que influencia a quantidade de combustível disponível para o incêndio— e do adensamento de cada formação vegetal, que pode facilitar ou não a propagação do incêndio. Através da análise espacial por contiguidade (vizinhança) entre as classes de risco relacionadas ao uso da terra e as classes risco inerentes às formações vegetais presentes, mapeou-se o risco de início de incêndio.

Mapeado o risco de início de incêndio, mapeou-se o risco de propagação de incêndio baseado em dois fatores: o mapa de declividades e o mapa de formações vegetais, uma vez que estas são o combustível para a reação de combustão. A análise de declividades se iniciou a partir dos dados de relevo disponibilizados pelo modelo digital de elevações produzido pela missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da Nasa (FARR et al., 2007), cuja resolução espacial é de 30 m. A partir do modelo digital de elevações foi criado o raster de declividades. O raster foi reclassificado em intervalos iguais de declividades, a fim de discretizar os dados e convertê-los para formato vetorial. Para cada classe de declividade foi atribuído um risco de propagação de incêndio. Através da sobreposição do mapa de declividades e de formações vegetais, determinada por análise espacial, delimitou-se as áreas com maior risco de propagação de incêndio. Utilizando-se de imagens de satélite e dados da direção predominante dos ventos,

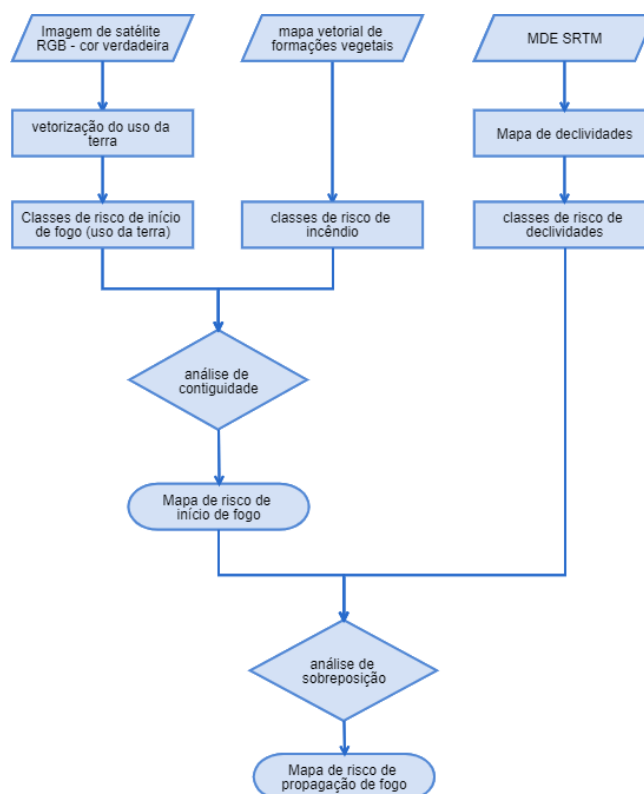


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

avaliou-se qualitativamente o dano causado pela propagação do incêndio. A Figura 5 ilustra a metodologia.

Figura 5 – fluxograma da metodologia. Fonte: autor.



3.1. Estudo de caso

Localização

Cachoeirinha é um município brasileiro do Estado do Rio Grande do Sul e possui 43,74 km² de área. Faz divisa com a capital do Estado, Porto Alegre, e os municípios de Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, Gravataí e Alvorada. Possui altitude média de 20 m acima do nível do mar.

Clima

Segundo o sistema de Köppen (KÖPPEN, W.; GEIGER, 1936), Cachoeirinha se enquadra na zona fundamental temperada úmida ou Cfa, que se caracteriza por apresentar chuvas bem distribuídas durante todos os meses do ano e possuir a temperatura do mês mais quente superior a 22 °C, e a do mês mais frio superior a 3 °C. A temperatura média anual é de



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

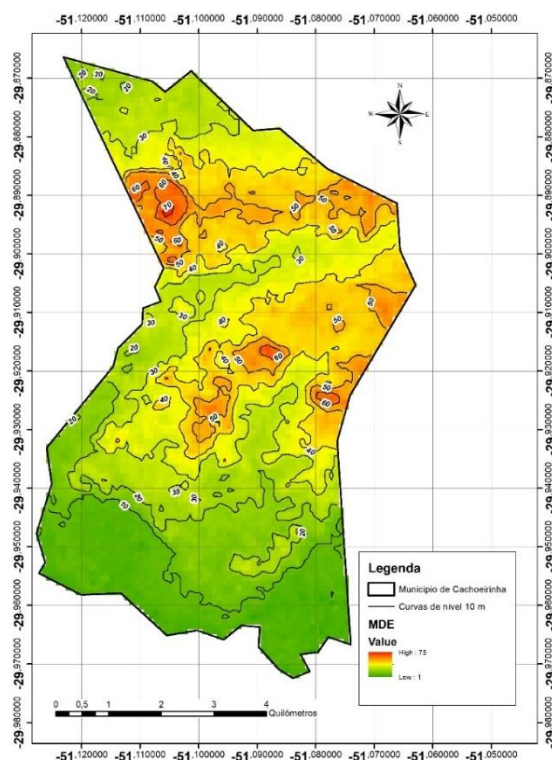
www.ufrgs.br/esci
(2020)

19,3 °C. Quanto ao regime de ventos, as maiores intensidades se concentram em dezembro e a calma, em junho. No tocante à direção, os ventos predominantes são de sudeste (TEIXEIRA (ORG.), 2007).

Relevo local

A geomorfologia local de Cachoeirinha é composta por dois domínios geomorfológicos: Depósitos Sedimentares e Planície e Terraços Lagunares. Os depósitos sedimentares caracterizam-se por formarem regiões planas e homogêneas, na porção sul do município de Cachoeirinha. Já as Planícies e Terraços lagunares compreendem a região central do município de Cachoeirinha e se caracterizam por formarem por deposição de material sedimentar coxilhas suaves, de baixas declividades, conforme ilustra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (TEIXEIRA (ORG.), 2007).

Figura 6 - Relevo do município de Cachoeirinha. Fonte: autor.





Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Formações vegetais

Atualmente, a maior parte do município possui vegetação secundária. Esta vegetação encontra-se em vários estágios sucessionais: herbáceo, arbustivo e arbóreo, dispersos por toda a área do município. A vegetação secundária herbácea, vulgarmente de campos limpos e campos sujos, ocupa uma superfície aproximada de 1.457,0 ha, ou 32,4 % do território municipal. É constituída por espécies herbáceas nativas e exóticas. A vegetação secundária arbustiva é constituída de capoeirinhas e capoeiras, formadas por espécies arbustivas acompanhadas por gramíneas. A vegetação secundária arbórea é a formação vegetal em estágio mais avançado de sucessão, ocupando uma superfície de 455,0 ha. Está presente em muitos locais no Município, sob a forma de capões e floresta de galeria, ao longo de arroios.

Uso da terra

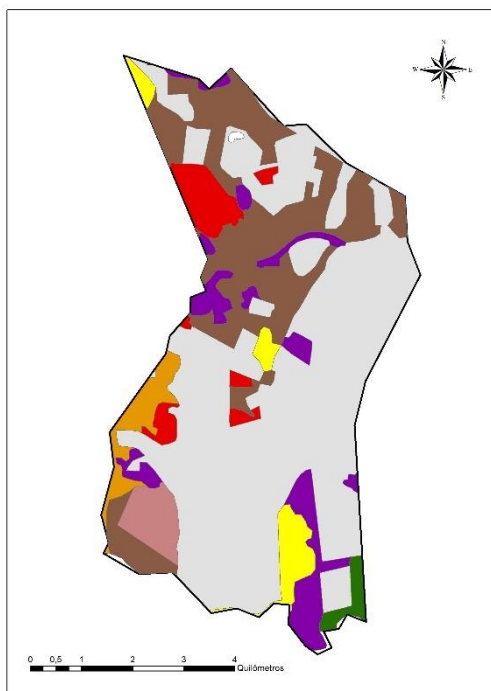
O uso da terra em Cachoeirinha pode ser classificado como uso urbano e agrário. Não foi encontrada atividade pecuária significativa no município. No extremo sudoeste, o Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) conduz pesquisas com o cultivo do arroz através da agricultura irrigada. Essa prática possui risco de incêndio que tende a zero, em função da abundância de água no cultivo. Já na porção norte do município, as propriedades rurais são pequenas e se destinam principalmente à agricultura familiar, cujas práticas tradicionais de manejo florestal com o uso do fogo (queimadas) podem influenciar de maneira significativa a ocorrência de incêndios florestais. A figura 7 ilustra as formações vegetais e o uso da terra.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 7 - formações vegetais e uso da terra. Como formações vegetais, a cor verde representa os banhados; em amarelo, os campos em regeneração; em roxo, matas nativas e em vermelho, silviculturas de eucalipto. Relativo ao uso da terra, a cor cinza representa a mancha urbana, a cor rosa, a agricultura irrigada e a cor marrom, o uso agrícola misto. Fonte: autor.



3.2. Dados geoespaciais

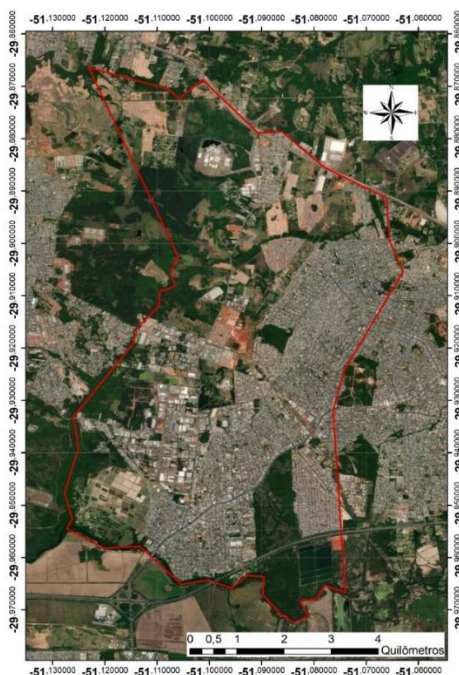
Em relação aos dados de sensoriamento remoto orbital, foi utilizado o banco de dados *World Imagery*, disponível para download no software Arcmap e pertencente à empresa *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*. O banco de dados *World Imagery* proporciona imagens com resolução espacial de até 1 m para muitas partes do mundo todo. Nas regiões metropolitanas, a resolução de 0,3 m é atingida através das imagens providas pela Maxar, conforme mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 8 - Imagem de satélite do município de cachoeirinha. Fonte: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community.



Os dados geográficos vetoriais utilizados na delimitação das formações vegetais foram os shapefile criados pelo Labgeo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (HOFMANN, WEBER e HASENACK, 2015).

3.3. Aplicação da metodologia proposta para classificação de risco de incêndio

Delimitação e classificação das zonas de risco em função do uso da terra

De acordo com as práticas de manejo vegetal em Cachoeirinha, foram definidas três classes de risco relacionadas ao uso da terra. A agricultura irrigada foi classificada como risco baixo, em função da quantidade de água presente no cultivo (rizicultura); o uso urbano, como risco moderado em função das medidas de proteção contra incêndios aplicadas nas edificações comerciais, industriais e residenciais multifamiliares; e os locais onde se pratica a agricultura familiar, por fim, como risco alto dada a cultura de utilização de queimada.

Classificação das formações vegetais



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

As formações vegetais de Cachoeirinha foram classificadas, conforme dito anteriormente, de acordo com o seu teor e umidade, quantidade de biomassa e adensamento. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - classificação de risco das formações vegetais. Fonte: autor

Formação vegetal	Teor de umidade	Quantidade de biomassa	adensamento	Classificação de risco
banhado	extremo	baixa	baixo	baixo
Campo em regeneração	baixo	baixo	baixo	moderado
Mata nativa em regeneração	moderado	alta	alto	alto
Mata nativa silvicultura	Alto	alta	alto	alto
	baixo	alta	Baixo com espaçamento uniforme	extremo

Geração, classificação e vetorização do mapa de declividades

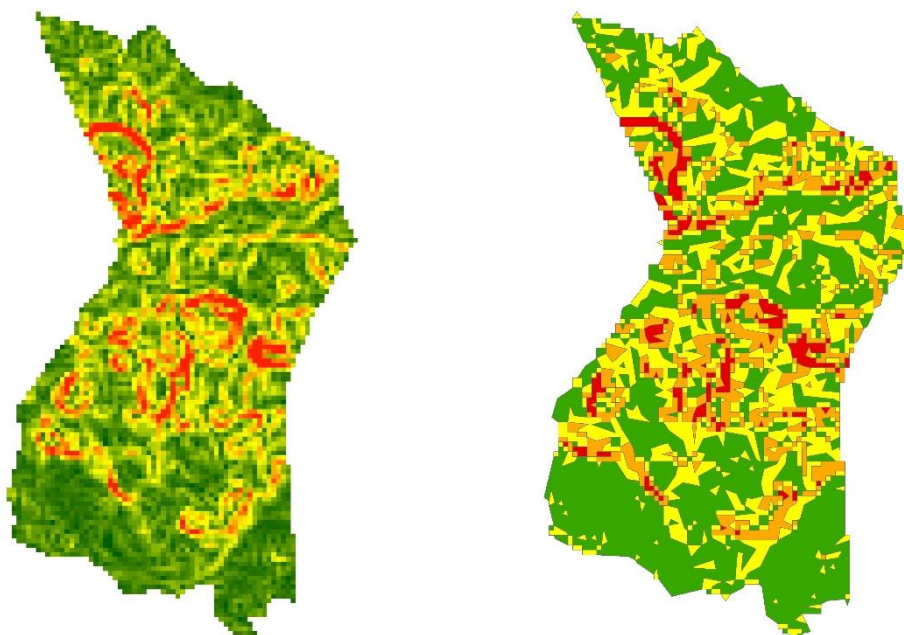
O mapa de declividades, derivado do modelo digital de elevações, em formato raster, foi reclassificado em 4 intervalos iguais de declividades, a fim de discretizar os dados matriciais e possibilitar a conversão para o formato vetorial, possibilitando a análise espacial de sobreposição: de zero a 3,27, correspondendo à classe 1; de 3,28 a 6,54, classe 2; de 6,55 a 9,81, classe 3; de 9,82 a 16,35, classe 4. À classe 1 de declividade foi atribuído o risco baixo; à classe 2, risco moderado; à classe 3, risco alto e à classe 4, risco extremo. A Figura 9 representa as classes de risco de declividades.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 9 – mapa de declividades matricial, à esquerda, e sua contrapartida vetorial. Em verde, as declividades de até 3,27%; em amarelo, de 3,28 a 6,54; em laranja, de 6,55 a 9,81 % e em vermelho, acima de 9,82 %. Fonte: autor.



Análise espacial

Foi realizada análise espacial de seleção por análise de vizinhança entre as formações vegetais e as áreas de agricultura familiar como forma de quantificar o risco de início de incêndio; o resultado está disponível na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Posteriormente, foi realizada a seleção por sobreposição das formações vegetais pré-selecionadas na etapa anterior entre os locais com as maiores declividades e as formações vegetais, como forma de avaliar o risco de propagação do fogo já iniciado, a fim de se encontrar os locais com maiores riscos de propagação de incêndio florestal no município. Por fim, foi utilizada a imagem de satélite a fim de se verificar se haveria locais urbanizados no caminho de propagação de um possível incêndio florestal como forma de avaliar os danos causados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seleção por contiguidade, realizada através da quantificação do perímetro em comum existente entre as formações vegetais e as áreas onde se pratica a agricultura familiar, selecionou 13 da 26 formações vegetais existentes em Cachoeirinha. As 13 formações vegetais



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

selecionadas foram classificadas em três categorias de risco de início de incêndio baixo, moderado e alto, proporcionalmente ao perímetro em comum com a agricultura familiar, conforme a Tabela 2.

Tabela 4 – classificação de risco de início de incêndio.

Formação vegetal	Perímetro em comum	Risco de início de incêndio	Ranking
Mata nativa	4067,61	Alto	1
Mata nativa	3374,8	Alto	2
Silvicultura	2930,28	Alto	3
Mata nativa	1674,27	Alto	4
Mata nativa	1138,99	Moderado	5
Campo em regeneração	815,4	Moderado	6
Mata nativa	725,33	Moderado	7
Silvicultura	681,45	Moderado	8
Silvicultura	616,11	Baixo	9
Campo em regeneração	492,75	Baixo	10
Silvicultura	268,26	Baixo	11
Mata nativa	181,57	Baixo	12
Mata nativa	176,08	Baixo	13

A formação de mata nativa de 26,67 ha (área 1 na Figura 10) foi selecionada como a formação vegetal com maior risco de início de incêndio em função de suas características, além de possuir o maior perímetro em contato com a agricultura familiar, 4067,61 m. Em segundo lugar, a formação 2, também de mata nativa de 47,03 ha e perímetro de 3374,8 m e em terceiro, a formação 3, silvicultura de eucalipto com 119,05 ha e perímetro de 2930,28 m. Cabe ressaltar que o risco de início de incêndio será maior nos meses mais secos (de fevereiro a final de abril).

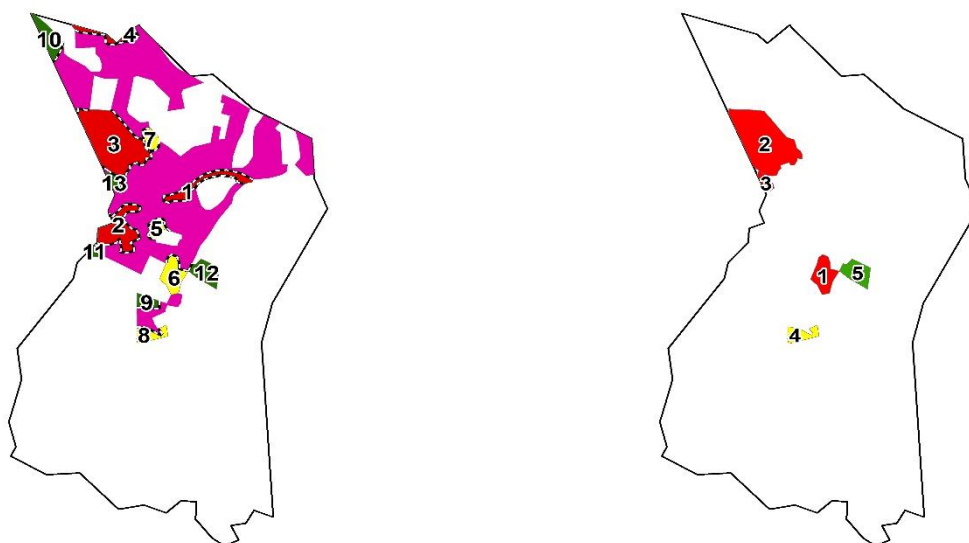


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

Figura 10 – à esquerda, o mapa de risco de início de incêndio. Em verde, risco baixo; em amarelo, risco moderado e em vermelho, risco alto, classificado em função da análise de vizinhança com a agricultura familiar, em rosa. A borda quadriculada representa o perímetro em comum. À direita, o risco de propagação de fogo.

Fonte: autor.



Aplicando-se nas áreas pré-selecionadas a seleção por sobreposição com as altas declividades para determinar o risco de propagação de incêndios, foram selecionadas 5 formações vegetais: campo em regeneração, silviculturas (duas formações) e mata nativa (duas formações). A partir da seleção por declividade, classificou-se as formações através da conjugação entre o teor de umidade e o adensamento, fatores determinantes da propagação de incêndio. Dentre as formações selecionadas, a formação campo em regeneração agrega os atributos de baixo teor de umidade e bom espaçamento, fornecendo condições propícias para a propagação do fogo. Por essa razão, recebe a máxima no quesito propagação de incêndio (Figura 10). Em segundo lugar e terceiro lugar, temos as formações 2 e 3, ambas silviculturas de eucalipto pois o teor de umidade é superior à formação 1 e possui um adensamento uniforme devido ao espaçamento do cultivo. Por fim, temos a área 5, um fragmento de mata nativa isolada protegida (o Parque Natural Municipal Tancredo Neves) no centro do município. Nos meses de outubro a dezembro, o risco de propagação de incêndios aumenta pois são os meses do ano em que o vento possui maior intensidade. Em termos de danos causados às comunidades, destaca-

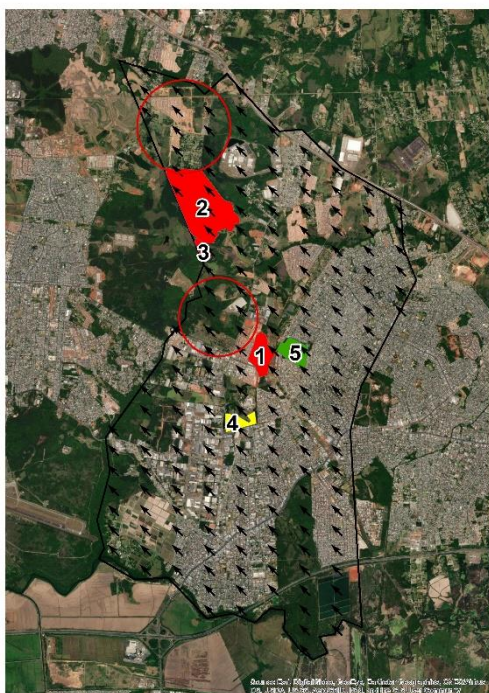


Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

se a 2 (silvicultura de eucalipto), com o potencial de danos às comunidades locais tendo em vista a direção predominante dos ventos (sudeste) e que a área do município na trajetória de propagação de um incêndio florestal local é uma área de expansão imobiliária (alta densidade habitacional), conforme figura 11. Logo abaixo no ranking, um incêndio na área 4 levaria o fogo diretamente ao distrito industrial da cidade, com o potencial para causar grandes perdas econômicas.

Figura 11 - avaliação dos danos potenciais às comunidades. As setas em preto representam a direção predominante dos ventos na maior parte do ano. Fonte: autor.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a aplicação da metodologia proposta, pode-se concluir que, em Cachoeirinha, devido às baixas declividades, o relevo local não contribui de forma significativa na propagação de incêndio; não houve correlação positiva entre as áreas selecionadas como risco alto de início de incêndio e as áreas com risco alto de propagação de incêndio no município de Cachoeirinha; dos fatores analisados, o fator determinante do risco de início de incêndio está relacionado à prática de queimadas como manejo vegetal; a silvicultura de eucalipto, quando realizada em



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

áreas contíguas às áreas de agricultura familiar, apresenta risco significativo de propagação de incêndios.

Os incêndios florestais no Brasil despontam como um dos maiores problemas ambientais da atualidade. Como a maioria tem causa antrópica, grande parte deles podem ser evitados. Através da definição dos locais de risco de início e de propagação de incêndios florestais, o Poder Público pode intervir junto aos moradores com campanhas de conscientização com o objetivo de desencorajar as práticas de queimadas como manejo da vegetação e eliminação de resíduos.

Além disso, a classificação de risco de incêndio nas interfaces urbano-florestais é ferramenta indispensável para a criação do zoneamento de risco de incêndios florestais nos municípios brasileiros. Através deste, as autoridades municipais poderão atuar de forma mais efetiva no sentido de evitar os riscos de início de incêndio, evitar ou dificultar a sua propagação e minimizar os danos causados por estes.

Diversas diretrizes urbanísticas municipais podem vir a ser criadas através do zoneamento de risco de incêndio para áreas cujo risco de incêndio florestal é alto a fim de mitigar os riscos de incêndio: impor a utilização de materiais incombustíveis na construção das edificações; estabelecer isolamento de risco por afastamento mínimo entre as edificações; delimitar e isolar as formações vegetais remanescentes por parque lineares e logradouros, aumento do gabarito de ruas a fim de facilitar o acesso das viaturas de combate a incêndios do Corpo de Bombeiros; instalação de redes de hidrantes nos passeios públicos, dentre outras medidas.

Em relação a estudos futuros, sugere-se a ampliação da metodologia através da integração mais detalhada de dados climáticos no modelo, o estudo efeito da resolução espacial na confiabilidade do modelo e a comparação do modelo proposto a partir da aplicação, para a mesma área de estudo, de outros modelos consagrados na área de incêndios florestais.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRAE, M. O. Biomass burning: its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. **Global Biomass Burning, Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications**, 1992. 3-21.

ALVARES, Clayton Alcarde; CEGATTA, Ítalo Ramos; VIEIRA, Lucas Augusto Abra; PAVANI, Rafaela Freitas; DE MATTOS, Eduardo Moré; SENTELHAS, Paulo Cesar; STAPE, José Luiz; SOARES, Ronaldo Viana. Perigo de incêndio florestal: Aplicação da Fórmula de Monte Alegre e avaliação do histórico para Piracicaba, SP. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, [S. l.], v. 42, n. 104, p. 521–532, 2014.

BARDSLEY, D. K.; WEBER, D.; ROBINSON, G. M.; MOSKWA, E.; BARDSLEY, A. M. Wildfire risk, biodiversity and peri-urban planning in the Mt Lofty Ranges, South Australia. **Applied Geography**, [S. l.], v. 63, p. 155–165, 2015. DOI: 10.1016/j.apgeog.2015.06.012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.012>.

BENTO-GONÇALVES, A.; VIEIRA, A. Wildfires in the wildland-urban interface: Key concepts and evaluation methodologies. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 707, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135592.

BORGES, Tiago Sperandio; FIEDLER, Nilton César; SANTOS, Alexandre Rosa Dos; LOUREIRO, Edmilson Bitti; MAFIA, Reginaldo Gonçalves. Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo . **Floresta e Ambiente**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 153–159, 2011. DOI: 10.4322/floram.2011.033.

COHEN, J. E.; DEEMING, J. D. **The National Fire-Danger Rating System: basic equations** General Technical Report PSW-82. [s.l.: s.n.].

DWYER, E.; PINNOCK, S.; GREGOIRE, J. M.; PEREIRA, J. M. C. Global spatial and temporal distribution of vegetation fire as determined from satellite observations. **International Journal of Remote Sensing**, [S. l.], v. 21, n. 6–7, p. 1289–1302, 2000. a. DOI: 10.1080/014311600210182.

DWYER, Edward; PEREIRA, José M. C.; GRÉGOIRE, Jean Marie; DACAMARA, Carlos C. Characterization of the spatio-temporal patterns of global fire activity using satellite imagery for the period April 1992 to March 1993. **Journal of Biogeography**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 57–69, 2000. b. DOI: 10.1046/j.1365-2699.2000.00339.x.



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

FAO. **Forest Resources Assessment Working Paper**. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ap862e/ap862e00.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.

INPE. **MÉTODO DO CÁLCULO DO RISCO DE FOGO DO PROGRAMA DO INPE - VERSÃO 11, JUNHO/2019**. 2019. Disponível em: http://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/documentos/RiscoFogo_Sucinto.pdf.

KOPPEN, W.; GEIGER, R. Das Geographische System der Klimate. **Handbuch der Klimatologie**, [S. l.], v. 35, n. 12, p. 17, 1936. DOI: 10.2307/200498.

KOPROSKI, Letícia. **Risco De Incêndio E Suas Correlações Com a Diversidade Biológica No Parque Estadual Do Cerrado (Paraná, Brasil)**. 2010. [S. l.], 2010.

MARTÍNEZ, Jesús; VEGA-GARCIA, Cristina; CHUVIECO, Emilio. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 90, n. 2, p. 1241–1252, 2009. DOI: 10.1016/j.jenvman.2008.07.005.

MELO, Raymeson Rodrigues De. **Dinâmica de ocorrência de incêndios florestais em unidade de conservação influenciada por diversos usos e cobertura do solo: APA Gama e Cabeça de Veado – DF Dinâmica de ocorrência de incêndios florestais em unidade de conservação influenciada por diversos**. 2018. Universidade de Brasília, [S. l.], 2018.

MIRANDA, E.; SETZER, A. W.; TAKEDA, A. M. Monitoramento orbital de queimadas no Brasil. **Ecoforça**, [S. l.], p. 149, 1994. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.

MITSOPOULOS, Ioannis; MALLINIS, Giorgos; ARIANOUTSOU, Margarita. Wildfire Risk Assessment in a Typical Mediterranean Wildland–Urban Interface of Greece. **Environmental Management**, [S. l.], v. 55, n. 4, p. 900–915, 2014. DOI: 10.1007/s00267-014-0432-6.

MOTA, Pedro Henrique Santos; ROCHA, Samuel José Silva Soares da; CASTRO, Nero Lemos Martins de; MARCATTI, Gustavo Eduardo; FRANÇA, Luciano Cavalcante de Jesus; SCHETTINI, Bruno Leão Said; VILLANOVA, Paulo Henrique; SANTOS, Hugo Thane dos;; SANTOS, Alexandre Rosa Dos. Forest fire hazard zoning in Mato Grosso State, Brazil. **Land Use Policy**, [S. l.], v. 88, n. September, p. 104206, 2019. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104206. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104206>.

OHLSON, Dan W.; BERRY, Trent M.; GRAY, Robert W.; BLACKWELL, Bruce



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

A.; HAWKES, Brad C. Multi-attribute evaluation of landscape-level fuel management to reduce wildfire risk. **Forest Policy and Economics**, [S. l.], v. 8, n. 8, p. 824–837, 2006. DOI: 10.1016/j.forpol.2005.01.001.

OLIVEIRA, Marcus Vinícius Noronha De. **Avaliação e Simulação do Comportamento do Fogo no Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco, Sergipe, Brasil**. 2016. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, [S. l.], 2016.

OLIVEIRA, Marcus Vinícius Noronha De; WHITE, Benjamin Leonardo Alves; RIBEIRO, Genésio Tâmara. Quantificação do material combustível em fragmento de Mata Atlântica no nordeste brasileiro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 38, 2018. DOI: 10.4336/2018.pfb.38e201701449.

PEREIRA, João Antonio Raposo. Monitoramento Dos Incêndios Florestais E Queimadas No Brasil. **Floresta**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 2004, 2004. DOI: 10.5380/rf.v34i2.2405.

STEIN, S. M.; COMAS, S. J.; MENAKIS, J. P.; CARR, M. A.; STEWART, S. I.; CLEVELAND, H.; BRAMWELL, L.; RADELOFF, V. C. **Wildfire, wildlands, and people: understanding and preparing for wildfir in the wildland-urban interface - a Forests on the Edge report**. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-299. Fort Collins, CO. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Researc. [s.l: s.n.].

TATIANA DINIZ PRUDENTE. **Geotecnologias Aplicadas ao mapeamento de Risco de Incêndio Florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros e Área de Entorno**. 2010. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, [S. l.], 2010.

TEIXEIRA (ORG.), Mario Buede. **Plano Ambiental de Cachoeirinha**. Cachoeirinha.

TETTO, Alexandre França; BATISTA, Antonio Carlos; SOARES, Ronaldo Viana; NUNES, José Renato Soares. Comportamento e ajuste da fórmula de Monte Alegre na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, [S. l.], n. 87, p. 409–417, 2010.

VERDE, J. C. **Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal**. 2008. Universidade de Lisboa, [S. l.], 2008.

YOU, Weibin; LIN, Li; WU, Liyun; JI, Zhirong; YU, Jian'an; ZHU, Jianqin; FAN, Yunjian; HE, Dongjin. Geographical information system-based forest fire risk assessment



Especialização em Engenharia de Segurança Contra Incêndios

www.ufrgs.br/esci
(2020)

integrating national forest inventory data and analysis of its spatiotemporal variability.

Ecological Indicators, [S. l.], v. 77, p. 176–184, 2017. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.01.042.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.042>.