

Zoneamento de Risco de Incêndio e Queimadas no Município de Sorocaba – São Paulo

Fire and Burned Risk Zoning of the City Sorocaba – São Paulo

Elfany Reis do Nascimento Lopes¹, Amanda Pereira Patrício Silva², João Felipe Peruchi³, Roberto Wagner Lourenço⁴

¹ Universidade Federal do Sul da Bahia, elfany@ufsb.edu.br

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, amanda_apps@hotmail.com

³ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, joao_peruchi@hotmail.com

⁴ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, robertow@sorocaba.unesp.br

Recebido (Received): 12/07/2018

Aceito (Accepted): 25/09/2018

Resumo: As modificações na superfície terrestre ocorrem devido à apropriação do homem na natureza como maneira de desenvolvimento social e econômico, predispondo os municípios aos maiores riscos de ocorrências de incêndios e queimadas. O trabalho teve como intuito elaborar uma proposta de zoneamento de risco a incêndio e queimadas, baseado em características físicas, antrópicas e dados de focos de fogo no município de Sorocaba-SP, utilizando geoprocessamento em ambiente SIG. Foi realizado o mapeamento do uso da terra cobertura vegetal utilizando imagem SPOT-5 e RapidEye por meio da classificação supervisionada e interpretação visual. Foram determinados pesos de importância para a declividade, hidrografia e malha viária segundo a risco para incêndio e queimadas. O zoneamento foi obtido pela média ponderada dos mapas temáticos dos parâmetros. Realizou-se o levantamento dos focos de incêndio e queimadas e procedeu-se a sua relação com o zoneamento de risco produzido. Um total de 93% do município é classificado com risco alto a extremo, revelando a predisposição de Sorocaba para a ocorrência de incêndios e queimadas de origem natural ou antrópica. Dos focos de incêndio, 74 ocorreram entre 2017 e 2018, sendo enquadradas nas zonas de risco muito alto (39%), alto (35,36%) e extremo (19,5%). A proposta de zoneamento é condizente com a realidade natural e socioeconômica, sendo uma alternativa para o monitoramento ambiental do município.

Palavras-chave: Fogo; Prevenção; Planejamento Ambiental; Zonas de manejo.

Abstract: *The modifications in the terrestrial surface occur due to the appropriation of the man in the nature like way of social and economic development predisposing the cities to greater risk of occurrence of fires. The objective of this work was to elaborate a proposal of fire and burned risk zoning based on physical, anthropic, fire and burned data of the city of Sorocaba-SP, using geoprocessing in GIS. Land use mapping was performed using SPOT-5 and RapidEye image through supervised classification and visual interpretation. Weights of importance were determined for the slope, hydrography and road network according to risk for fire and burned. Zoning was obtained by the weighted average of the thematic maps of the parameters. The fire and burn outbreaks were surveyed and their relationship with the risk zoning produced. A total of 93% of the city is classified as high to extreme risk, revealing the predisposition for the occurrence of natural and anthropogenic fires. A total of 93% of the city is classified as high to extreme risk, revealing the predisposition for the occurrence of natural and anthropogenic of the fire and burned. From the fires 74 occurred between 2017 and 2018, being classified in very high risk areas (39%), high (35.36%) and extreme (19.5%). The zoning proposal is consistent with the natural and socioeconomic reality being a alternative for the environmental monitoring of the city.*

Keywords: *Fire; Prevention; Environmental planning; Driving zones.*

1. Introdução

A conservação e o desenvolvimento sustentável implicam em realizar o monitoramento ambiental. As informações do monitoramento ambiental permitem avaliar as situações da preservação, conservação, recuperação e degradação ambiental. Neste aspecto, as queimadas e os incêndios são ações que demandando um crescente monitoramento no Brasil e são consideradas uma das principais destruições e ameaças a biodiversidade.

Entende-se como incêndio, a queima não controlada, de origem natural, criminosas ou acidental, que modifica a paisagem do local, afetando diretamente o equilíbrio do ecossistema local. Já as queimadas, consistem de queimas controladas e necessariamente, provocadas pelo homem, onde ocorre a queimada inicial, com chamas, e a oxidação da biomassa não queimada, devido aos processos de decomposição da madeira, ou pelas re-queimadas, que ocorrem em uma temperatura mais baixa (FEARNSIDE, 2012). Dessa forma, as queimadas possuem origem antrópica e os incêndios podem ocorrer de forma natural ou antrópica.

As queimadas apesar de serem práticas que facilitam o trabalho dos agricultores, afetam negativamente os meios físicos, químicos e biológicos e são as principais contribuintes para emissão de gás carbônico no Brasil os quais são incorporados à atmosfera, sendo a ela misturada e transportada. (FREITAS *et al.*, 2005; DIAS, 2009; IBAMA, 2016). Conforme aponta Freitas *et al.* (2015), a emissão de CO₂ corresponde a aproximadamente 80% a 85% da massa total de carbono queimado e, em termos de estimativas de emissões líquidas, os indicadores de desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015) indicou que o CO₂ representou, entre 1990 a 2010, um crescimento ascendente, atingindo 400.000 Gg, sendo maior que a emissão de metano e óxido nitroso.

A prática da queimada e incêndios é comum em diversos países. Em uma parte da África e o norte de Austrália, são constantes no mês de maio. Na África, as queimadas acontecem entre os meses de junho e julho, nos países sul-asiáticos e na América Central no mês de fevereiro. No cenário brasileiro, as queimadas são práticas frequentes no mês de agosto, visando a limpeza de áreas, principalmente, após desmatamentos e com maior ênfase no bioma Amazônico (FEARNSIDE, 2012). Práticas como a queima de lixo, descarte de bituca de cigarro e queda de balões, associadas ao tempo e vegetação seca, facilitam ainda mais para que as queimadas e os incêndios ocorram.

Como forma de monitoramento, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu um sistema automatizado, chamado Programa Queimadas, com a utilização de algoritmos e do sensoriamento remoto para observar diariamente as áreas de queimadas e incêndios no país e mitigar os danos causados por elas (INPE, 2018). No Estado de São Paulo, criou-se o Sistema Estadual de Prevenção e Combate a Incêndio Florestais (Operação Corta Fogo) realizando ações de prevenção, controle, monitoramento e combate (SÃO PAULO, 2018). O município de Sorocaba também realiza ações de monitoramento, durante os meses secos do ano, entre julho a novembro, com aplicação de multas e ações de educação ambiental junto à população

Entre os métodos e técnicas utilizadas no processo de monitoramento de incêndios e queimadas, o uso do geoprocessamento e do sensoriamento remoto ambientando em Sistema de Informações Geográficas (SIG) tem relevante destaque. Através de imagem satélite e processamento de dados espaciais é possível estabelecer relações entre variáveis físicas, climáticas, bióticas e antrópicas. Além disso, possuem baixo custo, a eficiência de relacionar informações de focos de forma espacial e auxiliar o planejamento da conservação dos recursos naturais (SANTOS *et al.*, 2014).

A análise espacial, permite a aplicação de técnicas distintas para a realização de propostas de zoneamento, vistas como importantes estratégias para identificar e monitorar os riscos de áreas para a ocorrência de incêndio e queimadas, além do estabelecimento de diretrizes para a prevenção, conservação e monitoramento ambiental tanto em espaços rurais quanto urbanos.

Segundo Amorim e Oliveira (2012), o zoneamento é uma ferramenta necessária para a realização de um planejamento, capaz de ordenar o uso racional dos recursos naturais, preservando a biodiversidade, os processos naturais e serviços ambientais ecossistêmicos. Devido ao aumento da população, e consequentemente das cidades, o zoneamento se fez necessário para delimitar áreas territoriais, com o objetivo de estabelecer regimes especiais de uso, proteção e manutenção dos recursos ambientais através do planejamento do meio ambiente (DORNELES, 2010).

Pode-se observar a realização de diferentes propostas de zoneamentos nos estudos ambientais. Dentre elas, as propostas de zoneamento de risco a incêndio e queimadas apresentam sua importância no fato de ter todo o município mapeado, com um plano de prevenção e combate e elevada contribuição para diminuir o

desastre causado, pois subsidiará ações mais rápidas e assertivas dos locais com maior predisposição a ocorrência de focos.

A utilização e produção de mapas de zoneamentos de risco a incêndio e queimadas para municípios são caminhos de planejamento e gestão municipal pouco difundidas. Propostas como a de Torres *et al.*, (2014) e Lima (2017) são as evidenciadas em contexto similar. No entanto, propostas de zoneamentos de risco são comuns para Parques e áreas florestais (VETTORAZZI, 1998; BATISTA *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2004; RIBEIRO *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2008; RIBEIRO *et al.*, 2012; TETTO *et al.* 2012; SILVEIRA *et al.*, 2013; OMENA *et al.*, 2016; WHITE *et al.*, 2016).

O zoneamento de risco ao incêndio realizado por Torres (2014) propôs uma carta de suscetibilidade a incêndios no perímetro urbano de Viçosa, possibilitando a compreensão da influência dos fatores sobre as ocorrências de incêndios florestais. O estudo de Nicolete (2013) utilizou o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para elaborar um zoneamento de risco a incêndio para uma fazenda experimental em Botucatu, sendo considerado um material para o planejamento das ações preventivas e de combate a incêndios florestais. Já Aguiar (2015), propôs um zoneamento similar para o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros.

Dessa forma, os estudos sobre zoneamento de queimadas e incêndios são necessários para a preservação do meio ambiente. Com eles, é possível avaliar o cenário de ocorrências, com seus respectivos fatores de influência e como se distribuem, para facilitar na organização de medidas preventivas e mitigadoras. Partindo dessas concepções, esta pesquisa objetivou elaborar uma proposta de zoneamento de risco a incêndio e queimadas, baseado em características físicas, antrópicas e dados de focos de fogo no município de Sorocaba-SP, utilizando ambiente SIG.

2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

O município de Sorocaba encontra-se localizada no Estado de São Paulo, com uma área territorial de 450,38 km², com área urbana desenvolvida, segundo à Fundação Sistema Estadual de Análise de dados (SEADE, 2018) (**Figura 1**).

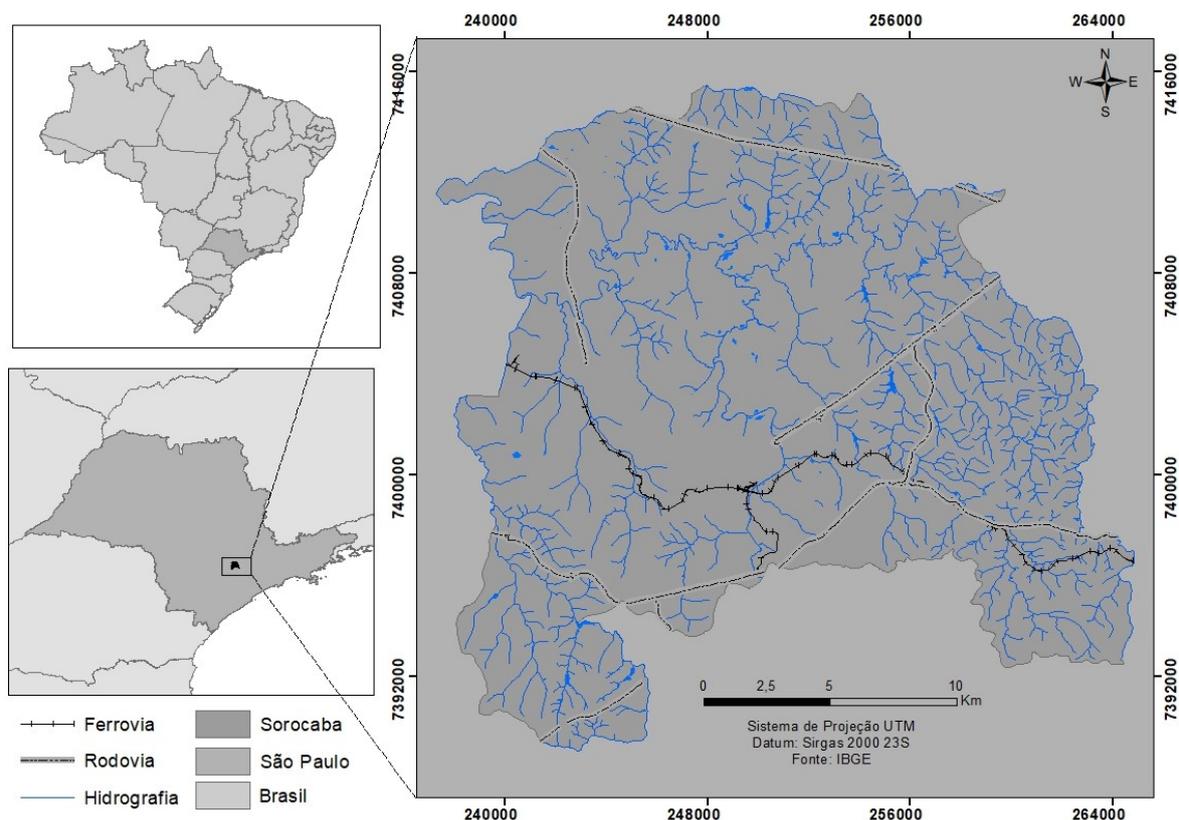


Figura 1: Localização do município de Sorocaba, São Paulo.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população correspondeu a 586.625 em 2010 e a população estimada em 2017 foi de 659.871 habitantes (IBGE, 2010; 2018).

A economia é baseada na indústria, agricultura e serviços, com o Produto Interno Bruto (PIB) per capita equivalente a 47.396,33 reais em 2015. A educação possui relevância quando comparada ao Brasil, com uma taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade de 98,1%. Segundo a SEADE (2018), a taxa de analfabetismos da população acima dos 15 anos foi de 3,10% em 2010. Em relação a saúde, a taxa de mortalidade infantil registrada no ano de 2016 foi de 12,43 crianças para cada 1000 nascidos vivos, a coleta de lixo possui um índice de 99,92% de atendimento, o abastecimento de água oferece atendimento à 99,51% da população e o esgoto sanitário 97,75% (SEADE, 2018).

O Plano Diretor Ambiental (2011) evidenciou que a cobertura de vegetação natural é predominante do bioma Mata Atlântica, o clima é subtropical quente, com temperaturas anuais médias de 21,4°C, máxima de 30,1°C no verão e mínima 12,2 °C no inverno. O tipo de solo tem características de Argissolo e Latossolo. O município situa-se na borda da Depressão Periférica Paulista e o principal rio é o Sorocaba, cuja Unidade de Gerenciamento Hídrico que integra o município é a do Sorocaba e Médio Tietê (SOROCABA, 2011).

2.2 Métodos

2.2.1 Base Cartográfica

Foi construída uma base cartográfica a partir da vetorização das cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em escala 1:50.000 das informações relativas à malha hídrica, malha viária e topografia, obtidas gratuitamente em formato digital através do acervo da Infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo (DATAGEO) (DATAGEO, 2015). As respectivas feições da malha hídrica e da malha viária foram retificadas a partir da utilização de imagens satélites e consultas ao Google Earth Pro.

2.2.2 Construção do Zoneamento

A proposta de zoneamento foi realizada segundo as metodologias de Chuvieco e Congalton (1989), Salas e Chuvieco (1994) e Batista (2002). Estes autores propõem que o uso e cobertura da terra, a declividade e a influência da malha viária e hidrografia sejam utilizados para identificar áreas potenciais à ocorrência de fogo, na medida em que atuam em conjunto na superfície terrestre.

2.2.2.1 Uso e Cobertura da Terra e Importância para o Risco de Incêndio

O mapeamento do uso e cobertura da terra se constitui como fornecedor de material para a queima, de forma que o tipo de cobertura e a sua composição química pode facilitar a velocidade e quantidade de calor liberado na queima (BATISTA, 2002). Logo, o tipo de uso e cobertura influencia diretamente a propagação do fogo, pois sua composição é responsável pela dispersão do foco em uma determinada área.

O mapeamento foi realizado utilizando imagem Satélite SPOT-5 para o ano de 2010, com resolução espacial de 2,5 metros e, posteriormente, retificadas utilizando imagem satélite RapidEye do ano de 2015, com resolução espacial de 5 metros e consultas ao Google Earth para revisão das categorias de uso no ano de 2017.

Para a definição das unidades de uso e cobertura vegetal utilizou-se a técnica de classificação supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança (MaxVer) e da interpretação visual. Para esta última, foi empregada quando havia área extensas no território do município classificadas como uma única categoria.

A classificação supervisionada pela MaxVer baseia-se na escolha de áreas que possam ser representativas de determinadas feições conhecidas, utilizando a média e a covariância dos pixels amostrados e calculando a probabilidade de um pixel externo pertencer a essa amostra. Os procedimentos consistiram em escolher os polígonos delimitadores para cada uma das classes pré-definidas; estabelecimento de um relacionamento entre as feições designadas pelos polígonos e as porções por eles abarcadas na imagem; definição de uma

determinada probabilidade de um dado pixel externo ao polígono pertencer às suas respectivas classes; e execução junto ao software das operações para gerar um mapa temático com as classes definidas (FITZ, 2008).

Já a interpretação visual requer que o usuário proceda a classificação dos usos com base nas feições identificáveis, que incluem forma (paralela, quadriculada, retangular); tamanho, padrão, altura, sombreamento, tonalidade (quantidade de energia refletida por um objeto), textura (lisa ou rugosa, homogênea ou heterogênea), localização do objeto na paisagem e associação entre elementos que compõem a superfície terrestre (NARUMALANI *et al.*, 2002; PANIZZA; FONSECA, 2011).

O mapeamento foi realizado empregando-se as coordenadas planas, datum SIRGAS 2000 e fuso 23S. As suas classes, subclasses e unidades de uso e cobertura vegetal foram adaptadas do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Posteriormente, foi atribuída o peso de importância em relação ao risco potencial de incêndio para as atividades que ocorrem na superfície terrestre do município, sendo adaptada as classes de uso estabelecidas nos estudos de Chuvieco e Congalton (1989), Salas e Chuvieco (1994) e Oliveira (2002) para as adotadas nesta pesquisa. Os pesos e as respectivas classes estão apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Pesos de influência para o risco a incêndio.

Classe de uso e cobertura da terra	Peso	Risco
Lagos, lagoas ou reservatórios	0	Nulo
Agricultura (cultura permanente e temporária)	3	Alto
Mata	4	Alto
Reflorestamento	4	Alto
Pastagem	5	Extremo
Campo antrópico	3	Muito Alto
Área urbana	2	Moderado
Aglomerados rurais	2	Moderado
Área industrial	2	Moderado
Estação de Tratamento de Água	2	Moderado
Estação de Tratamento de Escoto	2	Moderado
Aterro sanitário	2	Moderado
Mineração	2	Moderado

Fonte: Chuvieco e Congalton (1989); Salas e Chuvieco (1994).

2.2.2.2 Declividade e importância para o risco de incêndio

A característica topográfica de um terreno é relevante para a ocorrência de incêndio, pois o relevo, embora fixo, implica em diferentes riscos para a ocorrência do fogo, já que influencia as características climáticas, de elevação, inclinação e orientação das encostas, sendo decisivo para indicar o início, direção e propagação do fogo. Ainda assim, pode servir como um fator impeditivo para a acessibilidade ou como uma barreira para a sua propagação (BATISTA, 2002).

Para o mapeamento da declividade foi gerado um Modelo Numérico do Terreno (MNT) utilizando os vetores de pontos cotados e curva de nível da base cartográfica. Posteriormente, utilizou-se o MNT para mapear o percentual de declividade do terreno, com base em rotina de processamento no software ArcGis 10.3 (ESRI, 2014). Os pesos e as respectivas classes estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2: Pesos de importância para os percentuais de declividade.

Respectivas Classes	Peso	Risco
0 – 15%	1	Baixo
16 – 25%	2	Moderado
26 – 35%	3	Alto
36 – 45%	4	Muito alto
46 – 55%	5	Extremo

Fonte: Batista *et al.* (2002).

2.2.3 Influência da hidrografia e da malha viária para o risco de incêndio

Considerou-se que as áreas marginais, possuem maior prevalência de ocorrência de incêndio, não só pela inserção em áreas com usos facilitadores, mas também pelo fato destes locais atuarem como agentes

dispersores locais, uso para espaços de recreação e eventos com materiais combustíveis. Além disso, o estudo de Cipriani *et al.* (2011) e Ribeiro *et al.* (2012) tem apontado que estradas atuam tanto para facilitar o acesso de equipes brigadistas quanto para acumular material combustível em suas margens, facilitar a abertura de novas áreas e facilitar o acesso de indivíduos que intencionalmente ou não iniciam o processo de dispersão de fogo.

Utilizou-se uma faixa marginal de 50 metros no entorno da hidrografia, construída a partir da ferramenta buffer. Posteriormente, atribuiu-se o peso de importância em relação ao risco de 1 para áreas sob influência para a propagação ou combate aos focos de fogo e 0 para as áreas sem influência.

Já para a malha viária utilizou-se uma faixa marginal de 100 metros no entorno da Malha Viária, construída a partir da ferramenta buffer. Posteriormente, atribuiu-se o peso de importância em relação ao risco de 1 para áreas sob influência de propagação ou combate aos focos de fogo e 0 para as áreas sem influência, conforme Salas e Chuvieco (1994).

2.2.4 Zoneamento de risco ao incêndio

Para geração da proposta foi realizado a intersecção dos parâmetros ponderados anteriormente, segundo a Equação 1. O mapa final foi classificado em cinco níveis, conforme **Tabela 3**.

$$\text{Risco de Incêndio} = (D + H + MV + US) / 4 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: D – declividade; H – Hidrografia; MV – Malha viária; US - Uso e cobertura da Terra.

Tabela 3: Pesos de grau de risco ao incêndio na proposta de zoneamento

Peso	Grau de Risco
1	Baixo
2	Moderado
3	Alto
4	Muito Alto
5	Extremo

2.3 Levantamento dos focos de incêndio e queimadas

Foram levantados os focos de incêndio e queimadas entre janeiro de 2017 e maio de 2018, disponibilizados gratuitamente no Programa de Queimadas do INPE. Utilizou-se o item BDQueimadas e filtros de pesquisa para o Estado de São Paulo e Sorocaba buscando identificar as informações registradas pelo satélite pelo satélite VIIRS do NPP-Suomi. Os arquivos foram exportados no formato shapefile e CSV e sua análise realizada no software ArcGis 10.3 (ESRI, 2014) e Microsoft Office Excel (MICROSOFT, 2010).

2.4 Relação entre focos de incêndio e zoneamento de risco

Realizou-se uma intersecção entre os focos de incêndio e queimadas ocorridos entre janeiro de 2017 e maio de 2018 com a proposta de zoneamento de risco, visando obter a relação quantitativa, qualitativa e as conexões entre os focos e as zonas de risco. O cruzamento foi realizado utilizando a ferramenta Zonal Statistic a Table realizada no software ARCGIS (ESRI, 2014).

3. Resultados e Discussões

3.1 Caracterização dos Parâmetros e do Risco Potencial de Incêndio

O mapeamento do uso e cobertura da terra é apresentado na **Figura 2A**. As duas maiores áreas são representadas por campo antrópico, caracterizadas pelas áreas campestres originadas pelo desflorestamento, degradação de áreas para atividades diversas e terras agricultáveis em estágio de abandono, e área urbana enquanto as duas menores correspondem ao Aterro sanitário inativo e a Estação de Tratamento de Água (ETA). O município de Sorocaba possui um elevado adensamento urbano, marcado pela forte expansão industrial e maior ênfase na região sul e central do município.

As áreas antropizadas correspondem a aproximadamente 77% do perímetro total do município. Esse percentual coopera para uma maior ocorrência de incêndios e queimadas por ação antrópica, devido às práticas e manejos diferenciados para a realização de atividades urbanas, industriais e agrosilvopastoris.

A classificação do uso e cobertura da terra, segundo os pesos de importância para o risco de incêndio e queimadas, evidenciou que o município possui atividades predominantemente com risco alto a extremo para a ocorrência de queimadas e incêndios, incluindo as áreas agrosilvopastoris, de vegetação natural e reflorestamento (**Figura 2B**). A área urbana foi indicada como risco moderado, pois a sua área permite maior acessibilidade para deslocamento no combate, além de indicar a presença de edificações permanentes que podem se tornar barreiras para a propagação.

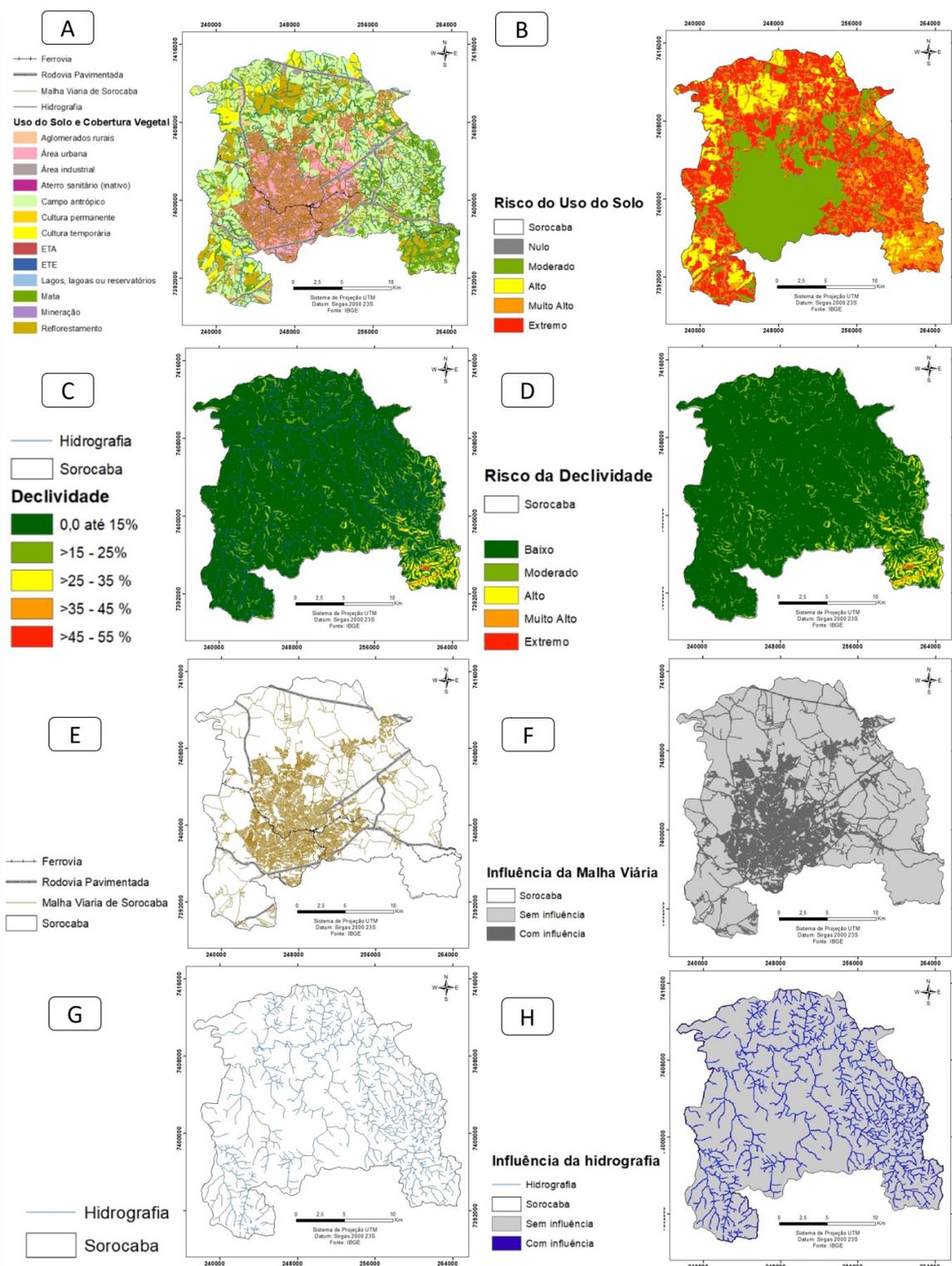


Figura 2. Parâmetros de influência ao risco de incêndio no município de Sorocaba, São Paulo.

As atividades revelam a elevada exposição do município para que a incidência de fogo ocorra com frequência e se torne uma demanda de monitoramento diária para os órgãos públicos e para a sociedade. A análise dos tipos de uso do solo também é considerada em propostas de zoneamento de risco e evidenciam que atividades de cunho agropecuário e florestal tem apresentado alta importância no processo e elevado grau de risco para as ocorrências (MEDEIROS; FIEDLER *et al.*, 2006; GONÇALVEZ *et al.*, 2011; WHITE *et al.*, 2016).

A declividade, apresentada na **Figura 2C e 2D**, corresponde a um relevo predominante entre 0 a 15% de inclinação. A área com característica plana é predominante em 88% do território de Sorocaba, distribuindo-se uniformemente em toda a área. As áreas com relevo acima de 25% e com cotas máximas de 55% de declividade concentram-se ao leste do município, associada a áreas de vegetação natural e silvicultura de Eucaliptus sp. Segundo Ribeiro *et al.* (2012) a topografia possui influência direta sobre o clima, tipo de vegetação, condições de vento, umidade do ar e do material combustível, determinando o comportamento do fogo quando associados com outras características ambientais. Segundo Oliveira *et al.* (2002), as áreas com inclinação maior permitem a propagação do fogo em maior velocidade, quando associada com condições de maior vento e cobertura com composição química suscetível à queima.

O mapeamento da malha viária indicou que Sorocaba possui um quantitativo de 2535 km de vias de acesso que se distribuem entre ruas primárias e secundárias, ferrovia e rodovia. As ruas são predominantes na área urbana, equivalendo a 2999 km enquanto as rodovias que interceptam o município consistem nas Rodovias Estaduais SP 079 - Waldomiro Correa de Camargo e SP 270 - Rodovia Raposo Tavares, a Rodovia Federal BR 478 e a ferrovia utilizada pelo transporte de minério (**Figura 2E e 2F**).

O mapeamento da hidrografia permitiu afirmar que o município possui uma rede hidrográfica desenvolvida, caracterizada pelo rio Sorocaba que intercepta todo o perímetro municipal e seus afluentes, distribuídos de forma dendrítica no perímetro municipal (**Figura 2G e 2H**). Segundo Ribeiro *et al.* (2008) a hidrografia embora se caracterize como uma barreira ao fogo, permite igualmente a visitação humana para atividades de recreação, turismo, pesca, camping e religioso que podem dispersar focos de incêndio em áreas circunvizinhas.

3.2 Zoneamento de Risco a Incêndio

A proposta de zoneamento ao risco de incêndio e queimadas para Sorocaba é apresentada na **Figura 3** e os quantitativos das zonas de risco na **Tabela 4**. Com base na análise integrada das variáveis espaciais foi possível determinar cinco zonas de risco que se distribuem entre as classes baixo a extremo, indicando diferentes situações de ocorrência de incêndio e queimadas e, conseqüentemente, permitem maior auxílio ao monitoramento ambiental do município e das atividades potenciais para desencadear a ocorrência de fogo em áreas urbanas e rurais.

Um total de 93% do município foi classificado com risco alto a extremo, o que revela a predisposição para a ocorrência de incêndios e queimadas de origem natural ou antrópica, segundo os parâmetros utilizados. Constatou-se que o risco alto é predominante e possui núcleos específicos ao centro, oeste e norte. Estas regiões respondem pelos setores urbanos, industriais e agrosilvopastoris e fragmentos de vegetação nativa, atividades significativas para a ocorrência dos incêndios.

Conforme observado no estudo desenvolvido por White *et al.* (2016) em Inhambupe - Bahia, as zonas de risco baixo, moderado e extremo também ocuparam os menores percentuais no zoneamento para Sorocaba, com áreas que predominam maiores percentuais de declive e uso do solo diversificados, áreas com distância máxima de 50 metros do curso d'água e 100 metros da malha viária. A baixa predominância de áreas de risco baixo (0,59%) indica a existência de áreas pontuais em que a presença de áreas hídricas, urbanas e baixos percentuais de declividades contribuem para minimizar estas ocorrências em áreas pontuais ao centro e sul de Sorocaba.

A zona de risco extremo está relacionada diretamente aos locais com maiores percentuais de declividades, presença de vegetação natural e silvicultura, com acesso facilitado em torno destas áreas, deposição de material combustível e maior pré-disposição de agentes dispersores humanos e não humanos. A análise espacial indica que essa zona possui feições semelhantes às linhas de acesso de rodovias e arruamentos. Esse fator é observado pela linha que intercepta o município ao norte e que corresponde a Rodovia Raposo Tavares.

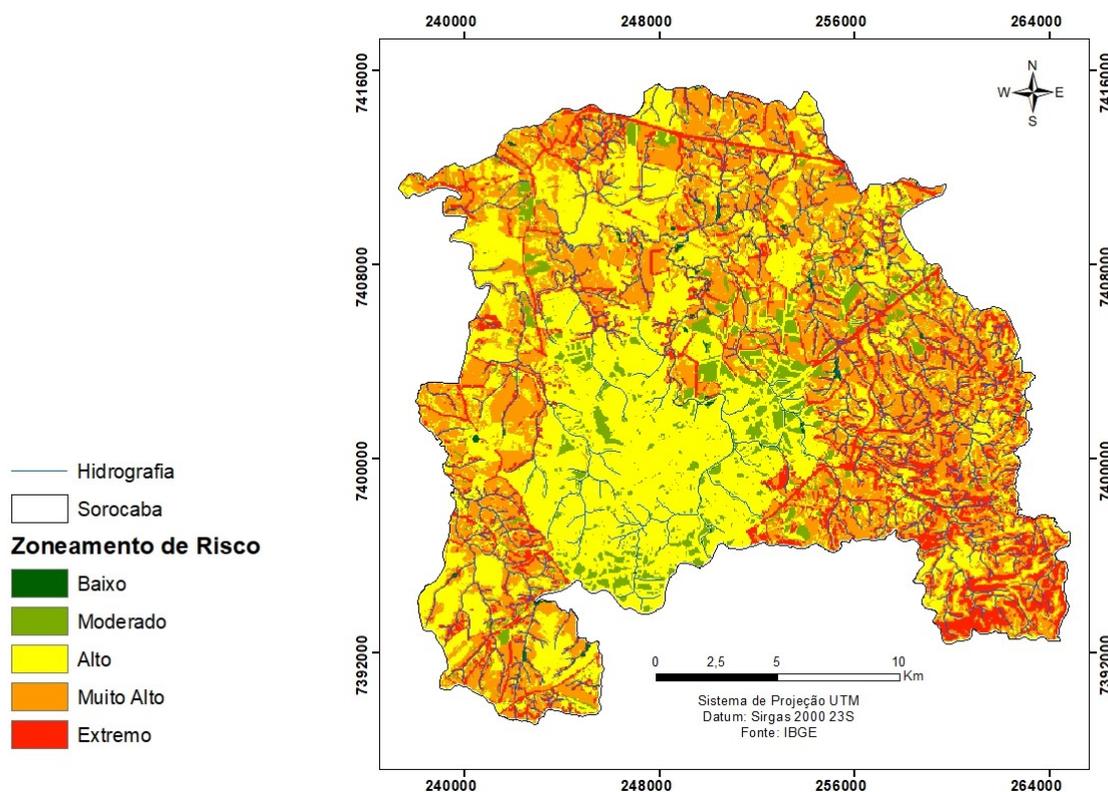


Figura 3: Mapa de zoneamento de risco do município de Sorocaba – SP

Tabela 4: Quantitativo de área de risco do Zoneamento

Zonas de risco	Área (km ²)	Área (%)
Risco Baixo	2610,00	0,59
Risco Moderado	28007,50	6,31
Risco Alto	192960,00	43,45
Risco Muito Alto	151472,50	34,11
Risco Extremo	69007,50	15,54

Considerando os parâmetros de análise e sua importância, evidencia-se que o zoneamento produzido e seus indicativos de riscos de incêndios e queimadas são elevados principalmente em razão da concentração de malha viária e uso do solo que, no município, predominam um alto percentual de atividades antrópicas que favorecem a dispersão do fogo ou são utilizados como prática de eliminação de materiais diversos e limpeza de áreas.

A partir da proposta elaborada, foi possível identificar que há três áreas prioritárias para a implantação do manejo do fogo. A primeira, representada pelas áreas da zona de risco alto, a segunda pela zona de risco muito alto e a terceira pelas áreas de risco extremo.

Ambas as áreas estão concentradas em todo o território municipal, reforçando a necessidade de atenção e fiscalização das ocorrências, com ênfase nas atividades agropecuárias, silvicultura e áreas vegetadas. Dessa forma, atividades de prevenção e fiscalização devem ser pensadas, por meio de ações formais e informais que envolvam toda a comunidade. Essas atividades devem ser prioritariamente intensificadas nas épocas de maior risco e que as equipes de vigilância e fiscalização acompanhem as atividades de uso do fogo realizadas pela comunidade (KOPROSKY *et al.*, 2011).

3.3 Relação Focos de incêndio e Zoneamento de Risco

O quantitativo de focos de incêndios e queimadas nos últimos dois anos é apresentado na **Tabela 5**. Os focos foram predominantes nos meses de julho e setembro, períodos de baixa precipitação, entre julho e agosto em 2016 e entre julho a setembro de 2017.

Tabela 5: Quantitativo de ocorrência de focos de incêndio

Mês	2016	2017
Janeiro	0	1
Fevereiro	3	3
Março	3	-
Abril	6	2
Maio	2	1
Junho	10	3
Julho	23	17
Agosto	14	3
Setembro	5	31
Outubro	3	7
Novembro	2	2
Dezembro	2	4
Total	73	74

Fonte: Programa Queimadas, INPE.

A estação de inverno em Sorocaba é predominantemente seca e com umidade baixa, o que favorece a ocorrência de incêndios naturais e, quando considerado o manejo contínuo agrícola, esses percentuais tornam-se elevados no período. O processo cultural de uso do fogo também é complexo, sendo ainda uma prática permanente utilizada pela população para incineração de lixo a céu aberto, desmatamento e abertura de caminhos em áreas vegetadas.

A comparação entre os focos de incêndios e queimadas com o zoneamento é apresentada na **Figura 4** e a interseção entre ambos (**Tabela 6**) ajudam a validar os parâmetros utilizados e a proposta de zoneamento produzida.

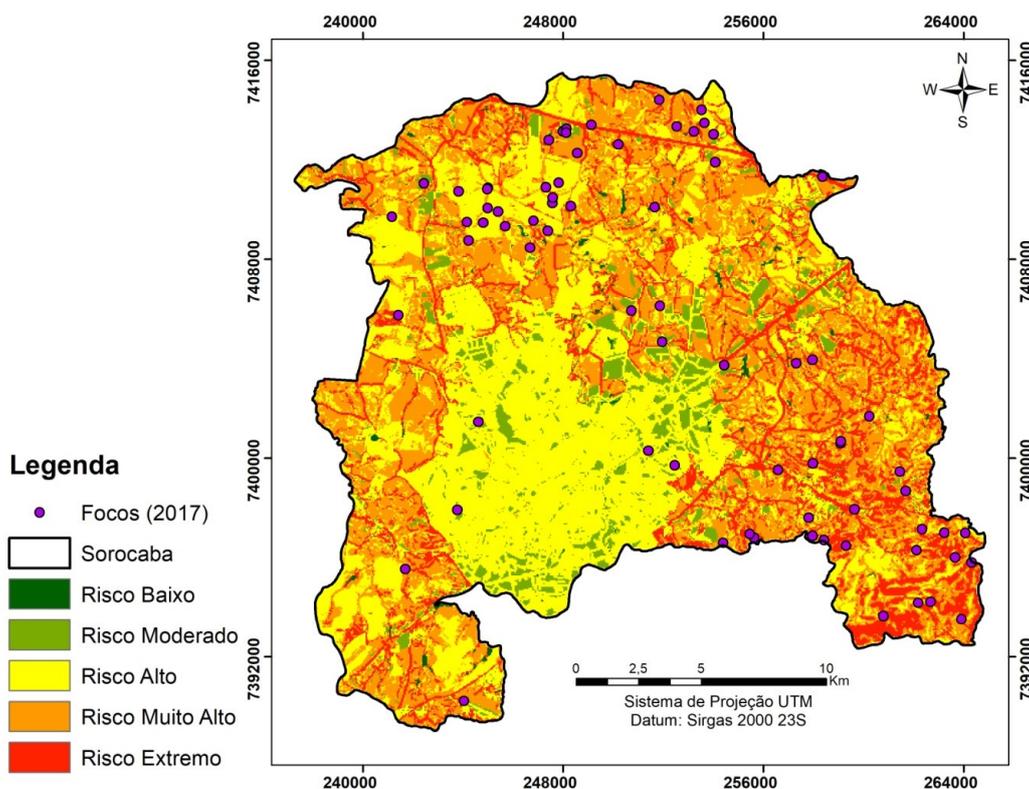


Figura 4: Disposição espacial dos focos de incêndios e queimadas em 2017 na proposta de zoneamento do município de Sorocaba – SP.

Tabela 6: Quantitativo de focos em relação as zonas de risco de incêndio e queimadas em 2017

Zonas de risco	Focos
Baixo	0
Moderado	6
Alto	23
Muito Alto	29
Extremo	14

Como observado, os focos de incêndio ocorrem predominantemente nas áreas enquadradas nas zonas de risco muito alto (39%), alto (35,36%) e extremo (19,5%). Já o risco moderado, é caracterizado por 6 focos em 2017 e 1 em 2018, equivalente a 8,5% do total no período. Mesmo em áreas urbanas, presentes na zona de risco alto, apresentam quantitativos elevados de ocorrência dos focos, permitindo afirmar que o uso do foco é um processo cultural da população, que utiliza tal prática como uma atividade recorrente.

No setor leste e oeste predominam os focos de incêndio e queimadas que se associam a relevos declivosos com vegetação natural, silvicultura e agricultura. A declividade também se mostrou um fator de influência nos focos que ocorreram nas áreas de maiores declividades, assim como destacado no trabalho de Torres *et al.* (2017) com o zoneamento de risco no município de Viçosa-MG.

O desenvolvimento socioeconômico também apresenta uma relação espacial com os focos existentes. Com o predomínio de atividades econômicas rurais e industriais, nota-se que o município possui maior risco de ocorrência de incêndios e queimadas a medida que se distancia da área urbana. Pode-se realizar a mesma analogia no trabalho de Lima (2017), em que as áreas pouco urbanizadas foram aquelas com maior risco de incêndios e queimadas até mesmo de focos de ocorrência, inclusive em áreas florestais, com declividade e proximidade de rodovias.

Em regiões onde a zona inclui um baixo risco de ocorrência de incêndios e queimadas mostram que estas áreas além de fragmentadas ocorrem no centro do município, o que pode favorecer a sua deterioração ao longo do tempo e sua conversão para zonas com características de risco alto ou extremo.

De acordo com White *et al.* (2016) zoneamentos como o produzido neste estudo reforça a importância de atuar preventivamente nos municípios, pois indicam caminhos para a intensificar as ações de manejo de forma a diminuir as ocorrências de incêndios e queimadas. Para os autores, ações mitigatórias como a alocação de materiais e equipamentos de combate ao fogo; construção de torres de vigilância para a rápida detecção de focos; definição de locais prioritários para atividades de educação ambiental; e definição de áreas para aceiros são passíveis de serem realizadas no âmbito municipal.

Em relação à construção de torres de vigilância, a ode Sorocaba contou entre 2006 a 2013 com a “Patrulha Verde”, uma equipe de monitoramento localizada na torre do Paço Municipal que auxiliava o Corpo de Bombeiros na identificação e atuação em focos de incêndios. Contudo, a referida atividade foi desativada, o que eleva os quantitativos dos focos apresentados e que podem ser ainda maiores, se considerada a resolução mínima de detecção pelos satélites orbitais do Programa de Queimadas do INPE. Logo, a quantidade de subnotificações de focos é um outro agravante para o monitoramento destas ocorrências.

Uma discussão pertinente é também a realizada por Omena *et al.* (2016) e investigada por Gonçalves *et al.* (2012) quando se referem ao fato da necessidade de monitorar o aumento de focos de incêndios associado às mudanças climáticas globais. Para Ribeiro *et al.* (2012) é possível também realizar a implantação de cortinas verdes entre estradas e pastagens e a definição de pontos de coleta de água em caso de incêndios florestais. Essas medidas são eficazes quando consideramos a importância de trabalhar com atividades que oferecem maior risco para disseminar o fogo. Neste caso, as pastagens combinadas com áreas de florestas e materiais inflamáveis ao longo de estradas podem favorecer o aumento destes focos.

4. Conclusões

Foi verificado que 93% de Sorocaba é considerado de risco alto a extremo para a ocorrência de incêndio, sendo 34,11% de risco muito alto e ocorrência de 29 focos nestas áreas em 2017. A proposta de zoneamento é condizente com a realidade natural e socioeconômica de Sorocaba, sendo um caminho para o monitoramento ambiental municipal e uma ferramenta de uso pelos órgãos ambientais e corpo de bombeiros, que executam atividades de atendimento, fiscalização e educação ambiental para a prevenção do risco por meio das ações de educação ambiental, combate ao fogo por brigadistas e corpo de brigadistas. Dentre esses

quantitativos, as áreas rurais com presença de pastagem e matas consagram-se como as mais suscetíveis para o domínio de fogo, baseando-se em sua composição química e nos seus percentuais de uso e cobertura da terra, associada aos percentuais de declividade e circunvizinhas as áreas hídricas e malha viária.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R.D., SANTOS, L.F.M., MATRICARDI, E.A.T., BATISTA, I.X. Zoneamento de risco de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO. **Enciclopédia da Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1943-1957, 2015.
- AMORIM, R.R.; OLIVEIRA, R.C. Zoneamento ambiental, subsídio ao planejamento no uso e ocupação das terras da Costa do Descobrimento. **Mercator**, v. 12, n. 29, p. 211-231, 2013.
- BATISTA, A. C.; OLIVEIRA, D. S.; SOARES, R. V. **Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná**. Curitiba: FUPEF, 2002. 86 p.
- CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 29, p. 147-159, 1989.
- CIPRIANI, H.N.; PEREIRA, J.A.A.; SILVA, R.A.; FREITAS, S.G.; OLIVEIRA, L.T. Fire risk map for the Serra de São Domingos Municipal Park, Poços de Caldas, MG. **Cerne**, v. 17, n. 1, p.77-83, 2011.
- DATAGEO - **Infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>> Acesso em: 1 ago. 2017.
- DIAS, G.F. **Queimadas e incêndios florestais: cenários e desafios**. Subsídios para a educação ambiental. Brasília: MMA, IBAMA, 2008. 32 p.
- DORNELES, A.C.B. O zoneamento e sua importância como um instrumento de planejamento urbano. **Cadernos da Escola de Direito e Relações Internacionais**, v. 1, n. 16, p.452-467, 2010.
- ESRI. ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS**. 2014.
- FEARNSIDE, P.M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 44, p. 99-123, 2012.
- FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem Complicação**. 1 Ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 2008. 160p.
- FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA DIAS, P. L. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, 2005.
- GONÇALVES, C.N.; MESQUITA, F.W.; LIMA, N.R.G.; COSLOPE, L.A.; LINTOMEN, B.S. Recorrência dos incêndios e fitossociologia da vegetação em áreas com diferentes regimes de queima no Parque Nacional da Chapada Diamantina. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 161-179, 2011.
- GONÇALVES, A.B.; VIEIRA, A.; LEITE, F.F.; LOURENÇO, L. Mudanças climáticas e risco de incêndio florestal no Ave (Noroeste de PORTUGAL). **Revista Geonorte**, v. 1, n. 4, p. 830-842, 2012.
- 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 (PR). **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 551-562, 2011.
- IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE **Sobre as alternativas ao uso do fogo**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/incendios-florestais/alternativas-ao-uso-do-fogo/sobre-as-alternativas-ao-uso-do-fogo>. Acesso em: 11 jul. 2018.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE. 2013a. 171p.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais [e] Coordenação de Geografia. 2015. 352p.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades. Sorocaba**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sorocaba/panorama>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Programa Queimadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/portal>>. Acesso em: 27 set. 2018.

- LIMA, A.M. **Zoneamento de risco de incêndios no Distrito Federal**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília. 2017. 58p.
- MICROSOFT. **Microsoft Office Excel**. 2010.
- MEDEIROS, M.B.; FIEDLER, N.C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2004.
- NARUMALANI, S.; HLADY, J. T.; JENSEN, J. R. Information extraction from remotely sensed data. In: Bossler, J D. **Manual of Geospatial Science and Technology**. 1ª Ed. Londres: Taylor & Francis, p. 298-324. 2002.
- NICOLETE, D.A.P.; ZIMBACK, C. R.L. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a fazenda experimental Edgardia – Botucatu (SP), através de sistemas de informações geográficas. **Revista Agrogeoambiental**, v.5, n. 3, p. 55-62, 2013
- OLIVEIRA, D.S.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; GRODZKI, L.; VOSGERAU, J. Zoneamento de risco de incêndios florestais para o Estado do Paraná. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p. 217-221, 2004.
- OMENA, M.T.R.N.; ARAKI, E.K.; SCHIMALSKI, M.B.; TANIWAKI, M.H.; SANTOS, P.S. Zoneamento do Risco de Incêndio Florestal para o Parque Nacional de São Joaquim – SC. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 173-186, 2016.
- PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 30, p. 30-43, 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, n. 1, p. 117-126, 2012.
- RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L.P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Revista Floresta**, v. 38, n. 3, p. 561-572, 2008.
- SÃO PAULO. **Incêndio e queimadas**. Operação Corta Fogo. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cfa/fiscalizacao/incendios-e-queimadas>>. Acesso em: 11 jul. 2018.
- SALAS, J.; CHUVIECO, E. Geographic information systems for wildland fire risk mapping. **Wildfire**, Washington, v. 3, n. 2, p. 7-13, June 1994.
- SANTOS, P.R.; PEREIRA, G; ROCHA, L.C. Análise da distribuição espacial dos focos de queimadas para o bioma Cerrada (2002- 2012). **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 133-144, 2014.
- SEADE. FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Perfil dos Municípios Paulistas. Sorocaba**. Disponível em: <<http://www.perfil.seade.gov.br/#>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- SILVA, G.F.N.; TAVARES JÚNIOR, S.S.; EVANGELISTA, R.A. O.; OLIVEIRA JÚNIOR, M.C.M. Integração digital e análise espacial aplicadas ao estudo da susceptibilidade a incêndios florestais em Apiaú e Ribeiro Campos – Roraima. **Revista Floresta**, v. 38, n. 4, p. 683-697, 2008.
- SILVEIRA, A.H.M.; QUEIROZ, A.F.S.; SILVA, B.C.O.; SILVA, F.M.; COSTA JÚNIOR, N.P. Proposta metodológica para risco de incêndio florestal: estudo de caso na zona de proteção ambiental (ZPA-1) em Natal/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1174-1192, 2013.
- SOROCABA. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. **Plano Diretor Ambiental de Sorocaba**. Sorocaba: SEMA, v.1. 2011.
- TETTO, A.F.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a Floresta Nacional de Itati, Estado do Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 94, p. 259-265, 2012.
- 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, n.5, p.811-817, 2014.
- VETTORAZZI, C.A.; FERRAZ, S.F.B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 111-115, 1998.
- WHITE, L.A.S.; WHITE, B.L.A.; RIBEIRO, G.T. Modelagem espacial do risco de incêndio florestal para o Município de Inhambupe, BA. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 41-49, 2016.