

Mapeamento de risco de incêndios para bacia hidrográfica do Ribeirão Faxinal - Lençóis Paulista, SP.

Victor Costa Leda¹
Aline Kuramoto Gonçalves¹
Natália da Silva Lima¹
Dany Roberta Marques Caldeira¹
Donizeti Aparecido Pastori Nicolete¹

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP
Campus de Botucatu - Rua José Barbosa de Barros, nº 1780
18610-307 - Botucatu - SP, Brasil
victorleda@gmail.com, aline587@gmail.com, nataliadslima@gmail.com,
dany.caldeira@ifro.edu.br, dnicolete@gmail.com

Abstract. The work presents the development of a methodology for zoning fire risk to river watershed Ribeirão Faxinal stream, located in the municipality of Lençóis Paulista/SP. The Geographical Information System was used for the preparation the risk maps of the land-use/occupation, road system, terrain slope, terrain orientation and hydrography. Each factor was weighted separately and, subsequently, factor weights were defined, as defined by Saaty (1977). Finally, the generated maps of each factor were integrated in a single map showing the fire risk areas of the watershed. The results indicated the risk of fire "Very Low" 0.58%, "Low" 14.39%, "Medium" 45.12%, "High" 9.60% and "Very High" 30.31% of the total Of the basin area. The "Very High" and "Medium" risk classes deserve greater attention, when added up, since they represent more than half the area of the watershed and for such classes it is necessary a planning and other preventive practices to fire fighting, to guarantee efficiency in the management of the area.

Palavras-chave: risk zoning, analytical hierarchical process, geographic information system, sentinela-2B, zoneamento de risco, processo hierárquico analítico, sistema de informação geográfica, sentinela-2B.

1. Introdução

A exploração irracional dos recursos naturais causou e ainda causa grandes problemas ambientais no Brasil e no mundo. Diversas são as causas, como a mineração em desacordo à legislação, agricultura itinerante, limpeza de áreas com a utilização do fogo, entre outros. Os incêndios florestais são responsáveis não só pela degradação da cobertura florestal, mas também do solo, da fauna e da atmosfera.

O uso do fogo era comumente utilizado para o manejo de ambientes agropastoris e em diversas culturas agrícolas (RIBEIRO et al. 2008), ocasionando ao longo dos anos drásticas alterações no ecossistema, principalmente em ecossistemas sensíveis e isolados por áreas urbanas e agrícolas (NICOLETE; ZIMBACK, 2013)

Diversas medidas são feitas para auxiliar na prevenção e o combate de incêndios, dentre elas, o zoneamento de riscos. Essa medida proporciona a visualização e distribuição espacial da área a ser protegida, identificando as zonas com maior ou menor probabilidade de ocorrência de incêndios.

Os fatores de risco são determinados pela sobreposição entre diversos fatores ambientais e ponderados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e, juntamente com o Sensoriamento Remoto, são usados como instrumentos viáveis para auxiliar no planejamento ao combate do risco. O risco é determinado pela correlação entre diversas variáveis, como o uso e cobertura do solo, estradas, hidrografia e condições topográficas, que influenciam a ignição e a propagação do fogo e que, quando associadas, criam condições que dificultam o seu controle. A visão integrada é importante, pois a análise isolada de cada fator não traduz os níveis de risco a que toda a área está submetida (KOPROSKI, 2011).

O objetivo deste trabalho foi a elaboração do zoneamento de risco de incêndios na bacia hidrográfica do Ribeirão Faxinal, por meio do uso do Sistema de Informação Geográfica, que auxiliará nas análises e integrará um banco de dados para tomada de decisão quanto ao melhor manejo dos recursos naturais.

2. Metodologia de trabalho

2.1. Localização Geográfica

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Ribeirão Faxinal, localizada no município de Lençóis Paulista, centro-oeste do Estado de São Paulo, ocupando uma área de 10303,07 ha. A bacia está situada entre as coordenadas 22°36'03.21" a 22°38'15.99" de latitude S, e 48°54'02.33" a 48°51'01.47" de longitude W, conforme Figura 1.

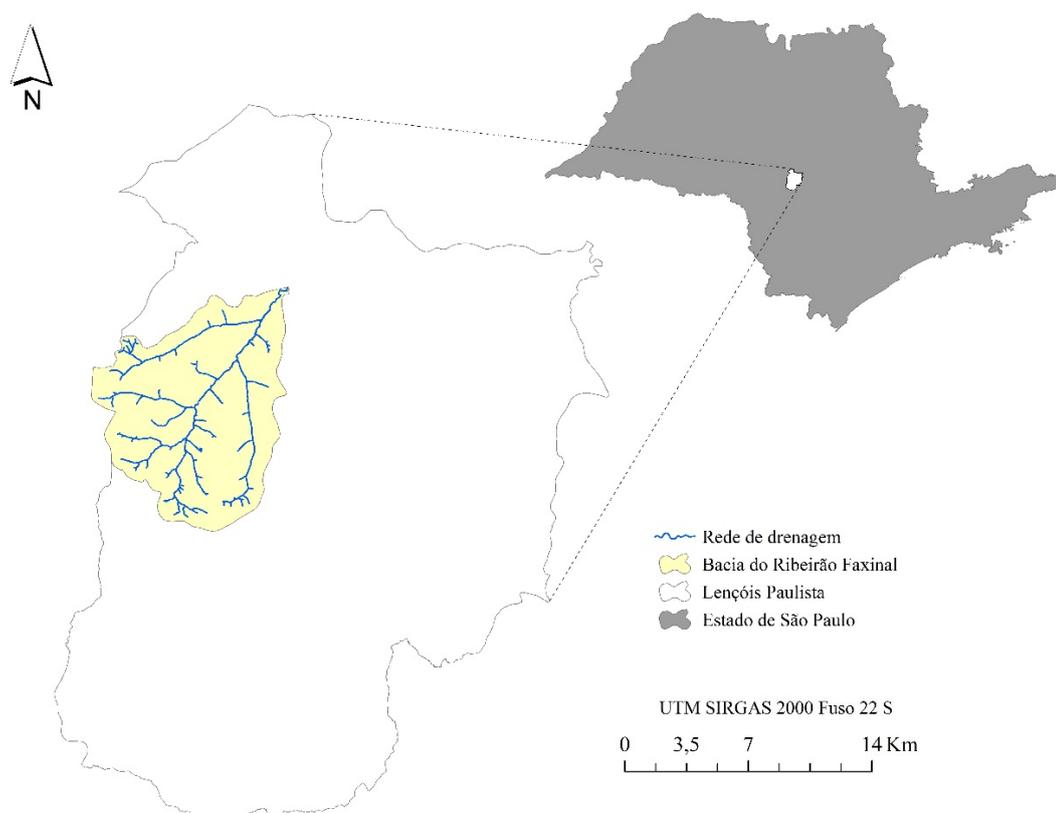


Figura 1. Localização da área de estudo.

A classificação climática de Köppen é o Aw, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com temperatura média anual de 21,8°C e possui precipitação média anual de 1313.9 mm (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI, 2016).

2.2. Materiais

As informações cartográficas das curvas de nível e rede de drenagem foram obtidas da carta topográfica do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo), em escala de 1:10.000 e equidistância entre as curvas de 5 metros.

Posteriormente, com o uso do SIG ArcGIS 10.3, foi obtido o modelo digital de superfície *Topo to Raster*, a partir da interpolação das curvas, que permitiu a obtenção do mapa de

altimetria, declividade em porcentagem e faces de exposição do terreno. O mapa referente a influência da hidrografia foi gerado através de *buffers* da rede de drenagem.

A análise do uso e ocupação do solo e influência de estradas foram obtidos através de imagens do satélite SENTINEL- 2B, com resolução espacial de 10 metros, bandas 4,3 e 2 com data de passagem de 16 de setembro de 2016, obtidas para download no catálogo de imagens do *landviewer*. No SIG após a composição da banda, obteve a identificação dos usos do solo e das estradas por meio de polígonos para cada uma das classes. O mapa de influência de estradas foi obtido por *buffers* das estradas, similar ao de hidrografia.

2.3. Metodologia

Segundo White et al. (2016), as metodologias de obtenção e a seleção das variáveis utilizadas para a geração de mapas prévios ao mapa final de zoneamento de risco de incêndio, variam de acordo com o local de interesse. Para o presente estudo, os fatores de riscos determinados para o zoneamento foram: uso e cobertura do solo, sistema viário, declividade, faces de exposição do terreno e hidrografia. Cada fator foi ponderado separadamente obedecendo uma escala padronizada com valores de 0 a 5 pontos, de acordo com o risco que oferecem ao início de propagação do fogo, sendo 0 (zero) para risco nulo, 1 (um) para risco baixo, 2 (dois) para risco moderado, 3 (três) para risco alto, 4 (quatro) para risco muito alto e 5 (cinco) para risco extremo. Posteriormente, foram definidos os pesos dos fatores, conforme Saaty (1980). Por fim, os mapas gerados de cada fator foram compilados em um único mapa evidenciando as áreas de risco de incêndio.

2.3.1. Mapas dos fatores de riscos

Uso e cobertura do solo

O conhecimento do uso e cobertura do solo é essencial para a compreensão do nível de riscos aos quais os sistemas estão sujeitos, assim como a forma mais adequada de manejo (RIBEIRO et al., 2008). Desta forma, os riscos para cada classe de uso do solo foram classificados conforme Tabela 1 e, posteriormente, aplicados no mapa.

Tabela 1. Classificação de risco segundo o uso e cobertura do solo.

Uso do solo	Risco	Pontuação
Água	Nulo	0
Construção	Baixo	1
Floresta Nativa	Moderado	2
Pastagem	Alto	3
Eucalipto	Muito alto	4
Cana-de-açúcar	Extremo	5

Sistema viário

A distribuição do sistema viário permite a exploração mais eficiente de uma região, por isso, as estradas e suas proximidades também podem desencadear riscos proeminentes de incêndios por criminosos ou mesmo incêndios sem intenção, como objetos e materiais lançados por passageiros de veículos (RIBEIRO et al., 2008; EUGENIO et al., 2016). O mapa de proximidade de estradas foi obtido através do mapa de estradas da bacia e conforme proposto por Ribeiro et al. (2008), foi gerado um *buffer* de cinquenta metros de distância das estradas, sendo sua área interna (até cinquenta metros) considerada com influência e sua área externa (acima de cinquenta metros) sem influência (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação de risco quanto a proximidade com estradas.

Classes	Risco	Pontuação
Acima de 50m	Não	0
Até 50m	Sim	5

Declividade

A maior inclinação do terreno está associada ao aumento do perigo de incêndio, devido aos fatores velocidade de propagação do fogo e dificuldade de acesso às áreas durante o combate (CIPRIANI et al., 2011; WHITE et al., 2016). O fogo se propaga mais rapidamente nos aclives do que nos declives e à medida que o grau de inclinação aumenta a velocidade de propagação também aumenta (NICOLETE; ZIMBACK, 2013). Isto acontece, pois, o ar quente dirige-se para a parte superior do terreno e o ar fresco é aspirado pela parte inferior, renovando o suprimento de oxigênio na zona de combustão, fazendo com que o material seque mais rápido e queime de forma mais violenta (SOARES; BATISTA, 2007).

Os valores de inclinação do terreno foram distribuídos em cinco classes (Tabela 3), de acordo com sua influência na taxa de propagação de fogo, segundo Soares e Batista (2007).

Tabela 3. Classificação de risco quanto a declividade.

Classes	Fator de propagação	Pontuação
0 a 15%	1,00	1
16 a 25%	1,05	2
26 a 35%	1,10	3
36 a 45%	1,15	4
46 a 50%	1,20	5

Fonte: Soares e Batista (2007).

Faces de exposição do terreno

Este fator influencia o risco de incêndio e está relacionado com as condições de incidência da luz solar na superfície (CIPRIANI et al, 2011). Como o Brasil está localizado abaixo da linha do Equador, as faces do terreno voltadas para o norte recebem maior incidência solar do que em qualquer outra direção, assim, transmitem mais energia, aumentando o risco (SOARES; BATISTA, 2007). As condições de risco em função da face de exposição foram distribuídas em três classes definidas pelos autores, na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação de risco quanto a face de exposição do terreno.

Classes	Pontuação
Leste, Oeste, Sul, Sudeste, Sudoeste	1
Nordeste, Noroeste	3
Norte	5

Hidrografia

A proximidade da rede de drenagem influencia positivamente o combate e a propagação do fogo pois, facilita a captação de água e serve como barreira à sua propagação (WHITE et al.,

2016). Entretanto, o acesso de moradores locais e turistas às proximidades da rede de drenagem pode aumentar o risco de ocorrência de incêndios. Assim, foi estabelecido no mapa *buffers* de influência com raio de dez metros para todos os corpos d'água presentes na bacia, os valores acima do raio foram considerados com influência, de modo a avaliar o risco de incêndio por meio da análise de proximidade (Tabela 5).

Tabela 5. Classificação de risco quanto a proximidade com estradas.

Classes	Risco	Pontuação
Acima de 10m	Sim	5
Até 10m	Não	0

2.3.2. Definição dos pesos dos fatores

Mediante o método Processo Hierárquico Analítico (AHP), proposto por Saaty (1980), faz-se uma comparação em pares entre os fatores para determinar a importância relativa de cada um, através de uma matriz quadrada onde os fatores são comparados dois a dois. Desta forma, cada célula da matriz é preenchida com um valor que expressa a importância relativa entre os pares de fatores, dando suporte à tomada de decisão. Os valores são provenientes de uma escala contínua de nove pontos (Figura 2).

Conforme Vetorazzi (2006), se o analista concluir que proximidades com estradas é muito fortemente mais importante do que a declividade, para determinado estudo, ele entraria com o valor 7 na matriz. No caso inverso, ou seja, declividade muito fortemente menos importante que proximidade a estradas, o analista entraria com o valor 1/7. A matriz de comparação pareada possui diversos caminhos pelos quais a importância relativa dos critérios pode ser avaliada, assim, foi possível determinar o grau de consistência ao final do desenvolvimento dos pesos. Saaty (1980) apresentou um procedimento pelo qual um índice de consistência é obtido no desenvolvimento dos pesos dos fatores, chamado de Taxa de Consistência (TC), que indica a probabilidade de os valores da matriz terem sido gerados ao acaso (TC deve ser inferior a 0,1).

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema- mente	Muito fortemente	Fortemente	Moderada- mente	Igualmente	Moderada- mente	Fortemente	Muito fortemente	Extrema- mente

←
→

Menos Importante
Mais Importante

Figura 2. Escala de nove pontos usada na comparação pareada entre os fatores.

Fonte: Vetorazzi (2006).

2.3.3. Mapa de risco de incêndios

Após o ordenamento matricial dos fatores e obtenção de seus respectivos pesos, estes foram integrados no mapa de risco resultante através das ferramentas de *overlay* do SIG, em que as variáveis representam a somatória da multiplicação dos pesos aos fatores analisados, resultando o risco e a propagação de incêndios na bacia hidrográfica do Ribeirão Faxinal.

3. Resultados e Discussão

3.1. Pesos dos fatores

Por meio da metodologia AHP (Saaty, 1980), construiu-se a matriz de comparação pareada, determinou-se os pesos de cada fator e a taxa de consistência para a matriz (TC). A TC obtida foi de 0,07 (valor menor que 0,10), indicando que os valores foram gerados aleatoriamente e apresentaram consistência aceitável.

Quanto maior o peso da variável, maior sua influência na ocorrência de incêndios. Desta forma, os fatores que tiveram maior influência foram uso e cobertura do solo e sistema viário (0,51 e 0,32, respectivamente). A declividade recebeu o peso de 0,08, face de exposição do terreno, 0,04 e o fator que apresentou o menor peso foi a hidrografia, 0,03.

3.2. Mapa de zoneamento de risco de incêndios

O mapa de risco da bacia (Figura 3) resultante mostra a influência das classes dos fatores, destaca-se o tom verde escuro em representar áreas com ocorrências “muito baixo” de incêndios representado por 0,58% (59,75ha) e o tom vermelho áreas “muito elevado” com 30,31% (3122,10ha) do total da área da bacia. As outras classes de riscos representam respectivamente “baixo” 14,39% (1481,99 ha), “médio” 45,14% (4650,62ha) e “elevado” 9,60% (988,60ha). Ao somar as classes de riscos “muito elevado” e “médio”, representaram metade da área da bacia, segundo Nicolete e Zimback (2013) nessas classes devem haver práticas preventivas e um planejamento para combater o risco de incêndios, caso necessário.



Figura 3: Zoneamento de risco de incêndio para bacia hidrográfica do Ribeirão Faxinal.

Diante disso, com o mapa resultante é possível ter a visão integrada dos fatores e identificar as regiões de risco, principalmente em grandes áreas com diversidades de fatores onde se tem

a dificuldade da análise isolada de cada variável, e, assim, ter o poder da tomada de decisão e associar métodos preventivos.

4. Conclusões

Diante do resultado encontrado para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Faxinal observa-se a importância do mapa de zoneamento de risco de incêndio, no que tange à análise da situação de cada um dos fatores de risco, assim, são informações que auxiliam práticas de manejo de uso do solo e prevenção de incêndios, além de concentrar as ações em pontos estratégicos.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Faxinal apresenta grande parte da sua área com risco médio 45,14% (4650,62ha) da área total, sendo que essas áreas propensas são ocupadas por cultivo de cana de açúcar, variável com risco de incêndio extremo, dentro do fator uso e cobertura do solo. Portanto, para a elaboração de um plano específico de prevenção e combate a incêndios, devem ser consideradas como áreas prioritárias.

Devido à falta de registros históricos, não foi possível realizar uma análise estatística para quantificar a relação entre as áreas de maior risco apontadas pelo mapa e as áreas onde ocorreram incêndios. Entretanto, o zoneamento de risco gerado é importante para garantir um melhor planejamento e manejo da bacia.

O uso do SIG na geração dos mapas de risco foi uma ferramenta eficiente, uma vez que os recursos que ele dispõe foram necessários para a geração e as operações entre os pesos.

Referências Bibliográficas

- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas – Lençóis Paulista**. 2016. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_086.html>. Acesso em: 10 out. 2016. IGC. Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. **GeoPortal IGC**. 2016. Disponível em: <<http://geoportal.igc.sp.gov.br:8080/GeoPortalIGC/Internet/>>. Acesso em: 10 out. 2016.
- 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**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 77-83, 2011. DOI: 10.1590/S0104-77602011000100009.
- EUGENIO, et al. Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 173, p. 65-71, 2016.
- IGC. Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. **GeoPortal IGC**. 2016. Disponível em: <<http://geoportal.igc.sp.gov.br:8080/GeoPortalIGC/Internet/>>. Acesso em: 10 out. 2016.
- 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)**. Revista Floresta, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 551-562, 2011.
- LandViewer. **Browse Images**. 2016. Disponível em: <<https://lv.eosda.com/>>. Acesso em: 1 nov. 2016.
- 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, Pouso Alegre, v. 5, n. 3, p. 55-62, 2013.
- 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)**. Floresta, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 561-572, 2008.
- SAATY, T. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.
- SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: Controle, Efeitos e Uso do Fogo**. Curitiba, PR: UFPR, 2007. 264 p.



VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos.** 2006. 151 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, USP, 2006.

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**, Colombo, v. 36, n. 85, p. 41-49, 2016. Article ID 613736, 6 p., 2015. DOI: 10.1155/2015/613736. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.85.850.