

Mapeamento das zonas de risco de incêndios florestais em área de bacia hidrográfica

Felipe de Souza Nogueira Tagliarini ¹
Ana Clara de Barros ¹
Amanda Aparecida Lima ¹
Bruno Timóteo Rodrigues ¹
Mikael Timóteo Rodrigues ¹
Sara Maciel Penachio ¹
Samuel Almeida Santos de Oliveira ¹
Sérgio Campos ¹

¹ Universidade Estadual Paulista - UNESP/FCA
Rua Dr. José Barbosa de Barros, 1780 - 18610-307 - Botucatu - SP, Brasil
felipe_tagliarini@hotmail.com, anaclara_inha@hotmail.com, aalima2603@gmail.com,
brunogta21@hotmail.com, mikaelgeo@gmail.com, sarapenachio@hotmail.com,
almeidin@hotmail.com, seca@fca.unesp.br

Abstract. The present work introduces the development of a methodology for zoning the fire risk to the watershed of Anhumas stream, located between the municipalities of Anhembi, Bofete and Botucatu, both located in the State of São Paulo. The Geographical Information System was used for the preparation of the risk maps relative to Altimetry, Slope, Terrain Display Face, Influence of Roads, Use and Occupation of Land. The factors were integrated and elaborated through a decisions-making technique called Analytic Hierarchy Process (AHP), their respective weights were determined, being 0.036 to Altimetry, 0.237 to Slope, 0.060 to Terrain Display Face, 0.101 to Influence of Roads, and 0.566 to Use and Occupation of Land. The overlap of the information generated the map of zoning risk of forest fires in the watershed. The results indicate the risk of fire Low in 5.69 %, Moderate in 15.34 %, High in 23.34 %, Very High in 45.73 %, and Extreme in 9.90 % of the total area of the watershed. Risk classes High, Very High and Extreme deserves greater attention, because if added together, they represent more than 75 % of the total area of the watershed and for such kind of classes are necessary planning and other preventive practices of firefighting like fire hazard indexes.

Palavras-chave: Remote Sensing, Risk Zoning, Multi-criteria Analysis, Sensoriamento Remoto, Zoneamento de Risco, Análise Multicriterial.

1. Introdução

Os incêndios florestais ocasionados tanto em áreas agrícolas, como em remanescentes de vegetação nativa e florestas plantadas, sem controle podem ocasionar em grandes prejuízos e a degradação ambiental. A ação do fogo sobre essas áreas gera diversos prejuízos as características do solo, a fauna e atmosfera, sendo responsável pela degradação de toda a cobertura vegetal nativa, agrícola ou florestal de determinada área (TAGLIARINI; GONÇALVES, 2016).

Os fatores que explicam a propagação e a ignição dos incêndios são diversos, tais como: as características do material combustível, condições meteorológicas, fontes de ignição e a topografia. Dentre esses fatores, o principal é o tipo de material combustível e as suas características irão depender da estrutura e composição da vegetação, aliadas aos fatores antropogênicos que o cercam (MARQUES et al., 2011).

Há uma grande gama de medidas preventivas que podem ser adotadas para a prevenção de incêndios, também há aquelas adotas no combate e minimização dos danos causados pelo fogo após este ter iniciado, porém para se obter a maior eficiência possível, principalmente com respeito a prevenção é preciso realizar o planejamento estratégico do local de interesse.

O zoneamento também provê assistência ao combate, já que os conhecimentos obtidos proporcionam suporte ao planejamento de construção de estradas de acesso rápido aos locais de maior risco e permitem a alocação de recursos de combate em pontos estratégicos. Os

zoneamentos ainda fornecem subsídios para a adaptação e distribuição dos recursos e equipamentos destinados à prevenção e ao combate, de acordo com o grau de risco de incêndio (CARRÃO et al., 2002; RIBEIRO et al., 2008).

Existem muitos métodos de modelagem do risco de incêndio em ambientes naturais para o zoneamento dessas áreas, desde modelos matemáticos puros (baseados em equações determinísticas) a procedimentos de inteligência computacional. Os modelos mais competentes contêm informações em um contexto espacial e agregam técnicas de sistemas de informações geográficas (SIG) e sensoriamento remoto (BONAZOUNTAS et al., 2005).

No entanto, a modelagem deve ser orientada principalmente para fins de planejamento e zoneamento, pois a eficiência do manejo em áreas florestais depende além de outros tipos de dados e fatores da disponibilidade de informações sobre o impacto que os incêndios possam causar sobre a floresta e em áreas do seu entorno (MARQUES et al., 2012).

O objetivo deste trabalho foi a elaboração do zoneamento em classes de risco de incêndios florestais para a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas, localizada entre a divisa dos municípios de Anhembi, Bofete e Botucatu, auxiliando na tomada de decisão referente ao planejamento das atividades ligadas ao manejo dos recursos naturais da bacia hidrográfica.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Córrego Anhumas (Figura 1) está localizada na região de divisa entre os municípios de Anhembi, Bofete e Botucatu, inserida na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo. A região possui situação definida nas coordenadas geográficas $48^{\circ} 19' 37''$ a $48^{\circ} 16' 13''$ de longitude W Gr. e $22^{\circ} 59' 59''$ a $22^{\circ} 54' 30''$ de latitude S, apresentando uma área de 2.649,66 hectares.

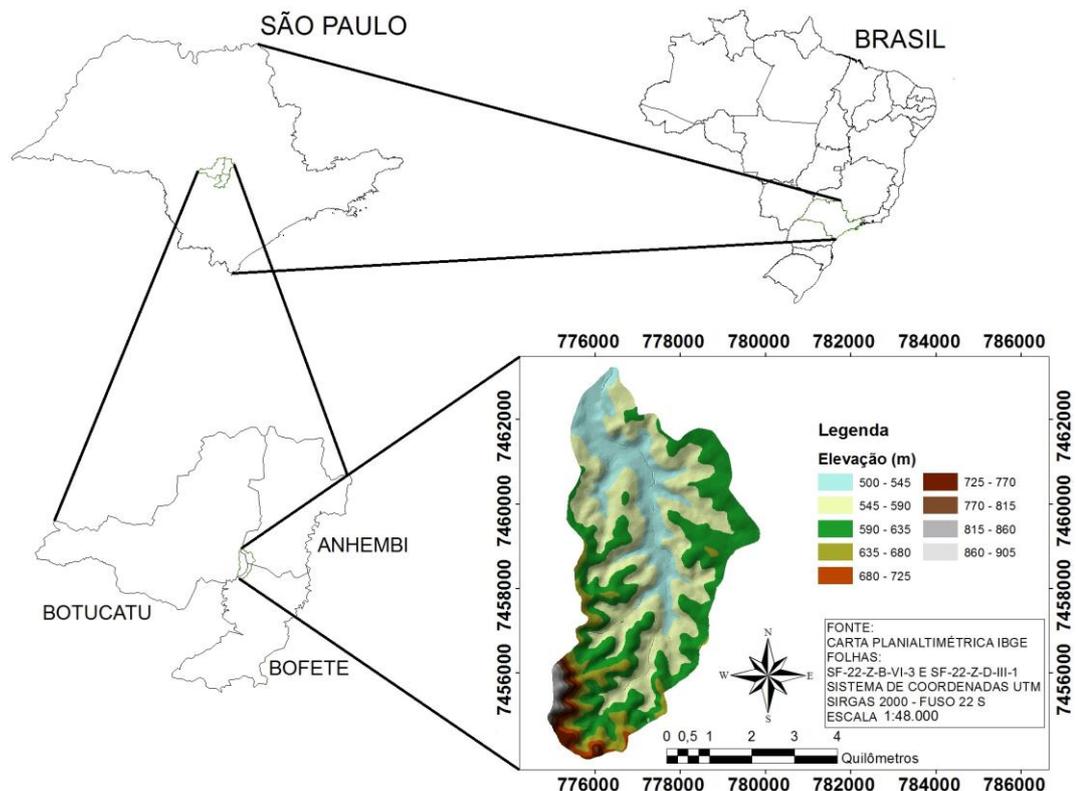


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Córrego Anhumas - SP.

O clima da região de estudo, conforme a classificação climática de Köppen, para os municípios da bacia hidrográfica é do tipo Cwa, sendo definido como subtropical úmido com inverno seco e frio e chuvas no verão com maior intensidade; a temperatura média anual da região é de 21,5 °C; e a precipitação média anual é de 1385,5 mm (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI, 2016).

2.2 Mapas de fatores de risco

Os fatores de risco definidos para a área de estudo foram: altimetria, declividade, faces de exposição do terreno, influência de estradas e uso e ocupação do solo. As classes internas a cada fator foram padronizadas para uma escala comum variando de 0 a 25 pontos, conforme classificação proposta por Nicolete e Zimback (2013), de acordo com o risco que oferecem para o início e propagação do fogo, sendo 0 para risco nulo, 5 para risco baixo, 10 para risco moderado, 15 para risco alto, 20 para risco muito alto e 25 para risco extremo.

2.2.1 Altimetria

Baixas elevações têm a tendência para apresentar estações de risco de incêndios mais longas que as de altas elevações. A variação da altitude representa uma variável ambiental que influencia o risco de incêndios florestais devido à relação que possui com a umidade relativa presente no ar (RIBEIRO et al., 2008). Segundo Salas e Chuvieco (1994), conforme se aumenta a altitude, ocorre um decréscimo da temperatura e uma elevação na umidade relativa, diminuindo assim o risco de incêndios florestais.

O mapa de altimetria foi obtido por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE), que foi reclassificado de acordo com as classes de risco (Tabela 1) e posteriormente convertido para o formato *raster*.

Tabela 1. Classificação de risco quanto à altimetria.

Classes altimétricas	Risco	Peso
< 600 m	Extremo	25
600 - 900 m	Muito Alto	20
900 - 1200 m	Alto	15
1200 - 1500 m	Moderado	10
> 1500m	Baixo	5

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2008).

2.2.2 Declividade

A propagação do fogo em aclives (áreas de maior inclinação) é superior, se comparado aos de declives (áreas de menor inclinação), portanto, as áreas mais declivosas são consideradas de maior risco, pois a transferência de calor é facilitada à medida que o grau de inclinação aumenta, aumentando a velocidade de propagação do fogo (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998; SOARES; BATISTA, 2007).

O mapa referente a declividade foi obtido por meio do MDE, onde foi possível gerar um mapa de superfície no formato *raster* contendo as áreas de declividade para a fazenda. Em seguida este foi reclassificado de acordo com o risco de cada classe (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação de risco quanto à declividade do terreno.

Classes de declividade	Risco	Peso
< 15 %	Baixo	5
15 - 25 %	Moderado	10
25 - 35 %	Alto	15
35 - 45 %	Muito Alto	20
> 45 %	Extremo	25

Fonte: Adaptado de Soares e Batista (2007); Ribeiro et al. (2008).

2.2.3 Faces de exposição do terreno

Esse fator tem grande importância com relação a disponibilidade energética para a redução da umidade presente nos materiais combustíveis (TAGLIARINI; GONÇALVES, 2016). De acordo com Soares e Batista (2007) no hemisfério Sul os raios solares incidem mais sobre as faces do terreno voltadas para o Norte, fazendo com que essa face de exposição receba e transmita mais energia que qualquer outra exposição do terreno, aumentando dessa forma o risco de incêndios.

O mapa que corresponde à face de exposição do terreno também foi obtido por meio do MDE e posteriormente reclassificado de acordo com o risco referente a cada classe (Tabela 3).

Tabela 3. Classificação de risco quanto às faces de exposição do terreno.

Classes de exposição do terreno	Risco	Peso
S / SE / SW	Baixo	5
E	Moderado	10
NE	Alto	15
NW / W	Muito Alto	20
N	Extremo	25

Fonte: Adaptado de Nicolete e Zimback (2013).

2.2.4 Influência de estradas

A malha viária seja por meio de rodovias, estradas vicinais, carreadores e/ou até mesmo trilhas são elos que se interligam e permitem o acesso a uma dada localidade e também o escoamento do sistema produtivo do meio rural, permitindo a exploração mais eficiente da região (TAGLIARINI; GONÇALVES, 2016). Porém, as estradas são consideradas um fator desencadeante, seja devido a incêndios criminosos; prática de cultos religiosos; incêndios causados por cigarros e fogueiras, além de outras ocorrências, portanto devem ser consideradas quando se realiza uma análise de zoneamento do risco de fogo (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998; RIBEIRO et al., 2008; SILVEIRA et al., 2008).

O mapa de influência de estradas foi obtido por meio do mapa da malha viária da bacia hidrográfica, onde conforme proposto por Ribeiro et al., (2008) foi gerado um *buffer* de 50 metros de distância para as estradas vicinais e carreadores e outro *buffer* de 100 metros de distância para as rodovias, autoestradas e ferrovias, a área interna do buffer foi considerada com influência e a área externa sem influência (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação de risco quanto à proximidade de estradas.

Classes de influência de estradas	Risco	Peso
Sem influência (acima de 100 m)	Ausente	0

Classes de influência de estradas	Risco	Peso
Sob influência (até 100 m)	Presente	25

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2008).

2.2.5 Uso e ocupação do solo

O tipo de uso e ocupação do solo possui influência no comportamento do fogo de várias maneiras, sendo esse fator de grande importância na determinação do risco de ocorrência de incêndios florestais (TAGLIARINI; GONÇALVES, 2016). A variação na presença ou ausência de cobertura vegetal implica em mudanças de diversos aspectos relacionados com o comportamento do fogo, principalmente em relação ao material combustível de origem e as condições microclimáticas que dado uso pode representar no momento do incêndio.

A representação do uso e ocupação do solo também contribui para a determinação das atividades econômicas que têm potencial para o aumento do risco (NICOLETE; ZIMBACK, 2013). O fator referente ao uso e cobertura do solo foi obtido por meio da interpretação visual das imagens do satélite LANDSAT-8, onde foram vetorizados polígonos sobre cada classe de uso representante. Em seguida o mapa foi reclassificado de acordo com o risco que cada classe possui (Tabela 5).

Tabela 5. Classificação de risco quanto ao uso e ocupação do solo.

Classes de uso e ocupação do solo	Risco	Peso
Erosão / Represa / Solo exposto / Várzea	Baixo	5
Bairro de Anhumas / Edificações	Moderado	10
Ferrovias / Rodovias	Alto	15
Reflorestamento / Vegetação Nativa	Muito Alto	20
Café / Citrus / Culturas anuais / Pastagens	Extremo	25

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2008); Silveira et al. (2008); Nicolete e Zimback, (2013).

2.3 Definição de pesos dos fatores

Uma das técnicas mais utilizadas na atribuição de pesos a fatores é o Processo Hierárquico Analítico (PHA), proposto por Saaty (1980). O PHA faz uma comparação pareada entre cada um dos fatores, para determinar a importância que cada um possui, por meio de uma matriz quadrada em que os fatores são analisados em pares.

Dessa forma, cada uma das células da matriz é preenchida com um valor de julgamento que expressa a importância relativa entre pares de fatores (NICOLETE; ZIMBACK, 2013). Os valores então são derivados de uma escala contínua de nove pontos (Figura 2).



Figura 2. Escala de nove pontos para a comparação pareada entre fatores.

Fonte: Nicolete e Zimback (2013).

A Taxa de Consistência (TC) dos pesos é um importante índice a ser determinado, devido a matriz de comparação pareada apresentar múltiplos caminhos pelos quais a importância

relativa dos critérios pode ser avaliada. Para Saaty (1980) a TC indica a probabilidade de os valores da matriz terem sido gerados ao acaso e seu valor deve ser inferior a 0,10.

2.4 Mapa de risco de incêndios florestais

Por fim, após a geração dos planos de informações referentes a cada um dos fatores, estes foram ordenados de acordo com seus respectivos pesos e integrados na forma de um mapa base por meio das ferramentas de overlay do *software* ArcGIS 10.4. Dessa forma, cada *pixel* do mapa resultante representa a soma dos valores do mesmo *pixel* em cada plano de informação, ordenado de acordo com seu peso (FERRAZ; VETTORAZZI, 1998).

3. Resultados e Discussão

Com a utilização do PHA proposto por Saaty (1980) foi possível elaborar a matriz de comparação pareada e determinar os pesos de cada fator, bem como a taxa de consistência para a matriz (Tabela 6).

Tabela 6. Matriz de comparação pareada entre os fatores de risco de incêndios florestais.

Fatores	F1	F2	F3	F4	F5	Pesos
F1	1	1/7	1/3	1/3	1/9	0,036
F2	7	1	7	3	1/5	0,237
F3	3	1/7	1	1/3	1/9	0,060
F4	3	1/3	3	1	1/7	0,101
F5	9	5	9	7	1	0,566

TC = 0,09

Onde: TC = Taxa de Consistência; F1 = Altimetria; F2 = Declividade; F3 = Face de Exposição do Terreno; F4 = Influência de Estradas; F5= Uso e Ocupação do Solo.

A TC obtida para a matriz quadrada foi de 0,09 (valor inferior a 0,10), que segundo Nicolete e Zimback (2013), indica que os valores de comparação entre os cinco fatores foram gerados aleatoriamente, não havendo a necessidade de uma possível reorganização da matriz para comparação.

A ponderação tem influência direta sobre a espacialização referente a cada uma das áreas de risco de incêndios florestais a serem analisadas, espera-se nesse caso que as áreas de risco mais altas estejam em locais declivosos e em locais onde se tem como cobertura do solo as classes de culturas anuais, reflorestamentos e pastagens, pois são referentes aos fatores que receberam o maior peso.

As áreas referentes a cada classe de risco (Figura 3) estão distribuídas da seguinte forma: a classe de risco Baixo apresenta uma área de 150,64 ha (5,69 %) da área total da fazenda; a classe de risco Moderado apresentou uma área de 406,54 ha, representando (15,34 %) da área; a classe de risco Alto apresenta 618,36 ha (23,34 %) da área total, sendo essa a segunda mais importante em termos de área ocupada; a classe referente ao risco Muito Alto está distribuída em 1211,78 ha (45,73 %) do total, sendo essa classe a mais significativa em termos de área ocupada; e a classe risco Extremo apresentou uma área de 262,35 ha (9,90 %) do total.

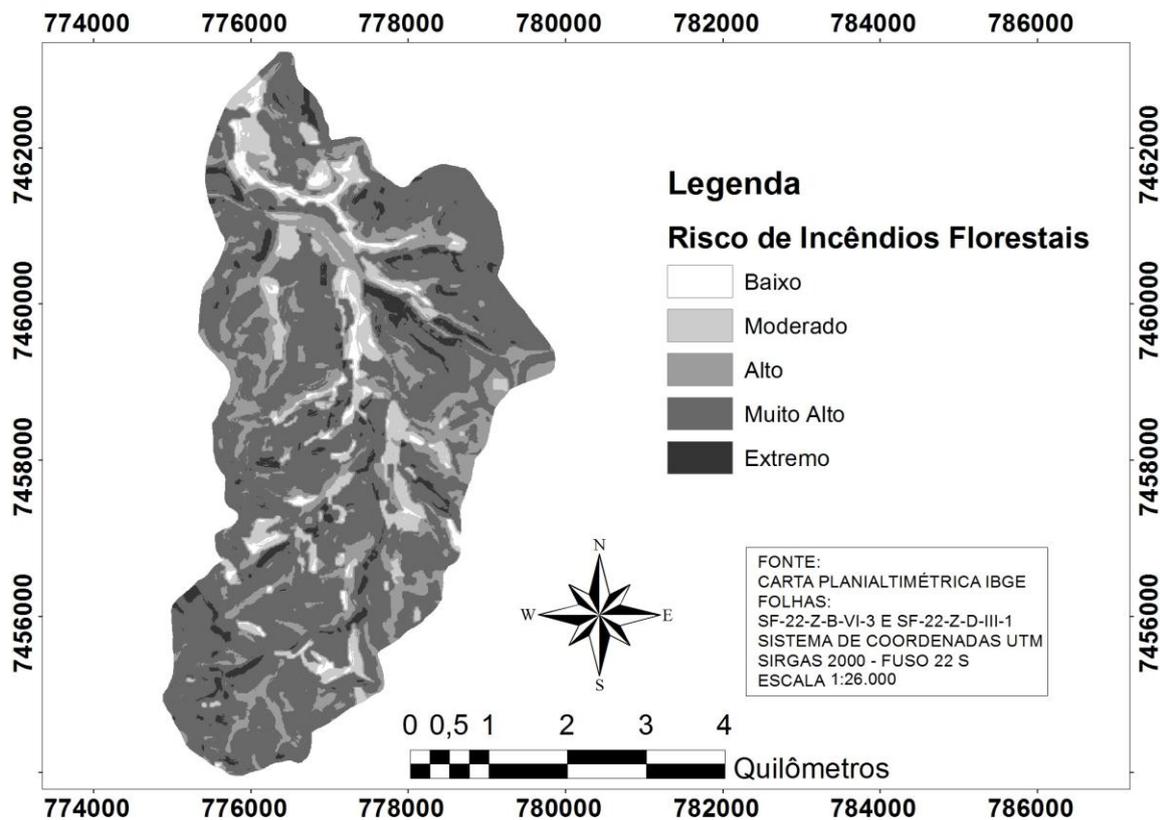


Figura 3. Espacialização das zonas de risco de incêndios florestais para a bacia hidrográfica do Córrego Anhumas - SP.

As áreas que merecem maiores cuidados são aquelas correspondentes as classes de risco Alto, Muito Alto e Extremo, pois ocorreram em mais de 75 % da área de estudo, este resultado é semelhante ao encontrado por Silveira et al. (2008) estudando a bacia do Rio Corumbataí (SP), e Tagliarini e Gonçalves (2016) estudando o risco de incêndio para a bacia hidrográfica do Córrego do Petiço, Botucatu-SP. Para casos como esses, deve-se ter um planejamento quanto à construção de aceiros e demais práticas preventivas, além de uma logística bem elaborada para o acesso rápido ao combate do incêndio quando for necessário.

A etapa de maior sensibilidade dentro do presente estudo foi a forma de atribuição de pesos aos fatores, devido à ausência de um banco de dados referentes a incêndios posteriores na área, pois de acordo com Ferraz e Vetorazzi (1998) um banco de dados com registros e históricos de incêndios florestais poderiam auxiliar na identificação da contribuição de um determinado atributo da área no início e propagação do fogo, dessa forma, a definição dos fatores e seus pesos para a bacia do Córrego Anhumas ficou restrita a dados de literatura.

Para Ferraz e Vetorazzi (1998) o zoneamento de risco de incêndios florestais deve ser sempre associado a métodos preventivos, como os índices de perigo de incêndios, sendo a Formula de Monte-Alegre um exemplo disso, conforme Soares e Batista (2007), um índice robusto capaz de determinar a ocorrência de incêndio para determinado período, levando em consideração as condições meteorológicas.

4. Conclusões

A análise multicritérios por meio do Processo Hierárquico Analítico é fortemente influenciada pelo conhecimento do fenômeno a ser mapeado, bem como de características da paisagem. Esse conhecimento determina a robustez da solução para o processo de tomada de decisão.

O mapa de zoneamento de incêndios florestais permitiu a integração dos fatores de riscos em um único mapa-base permitindo uma visão ampla de todos os fatores, facilitando o planejamento de práticas preventivas e de combate aos incêndios.

O Sistema de Informação Geográfica mostrou-se eficiente para o zoneamento da área, pois, permitiu uma rápida análise, visualização e a geração de produtos como mapas e tabelas.

Referências Bibliográficas

- Bonazountas, M.; Kallidromitou, D.; Kassomenos, P.A.; Passas, N. Fire risk analysis. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 11, p. 617–626, 2005.
- Carrão, H.; Caetano, M.; Freire, S.; Nunes, A. Carta de ocupação do solo e avaliação do estado da vegetação com imagens de satélite para prevenção de fogos florestais. In: Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG), 7., 2002, Oeiras, Portugal. **Anais...** Oeiras, Portugal: ESIG, 2002. Artigos, p. 01-10. Disponível em: <<https://goo.gl/NvLNME>>. Acesso em 20 out. 2016.
- Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI). **Clima dos municípios paulistas**. 2016. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_563.html>. Acesso em: 20 out. 2016.
- Ferraz, S.F.B.; Vettorazzi, C.A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG). **Scientia Forestalis**, v. 26, n. 53, p. 39-48, 1998.
- Marques, S.; Borges, J.G.; Garcia-Gonzalo, J.; Moreira, F.; Carreiras, J.M.B.; Oliveira, M.M.; Cantarinha, A.; Botequim, B.; Pereira, J.M.C. Characterization of wildfires in Portugal. **European Journal Forest Research**, v. 130, n. 5, p. 775-784, 2011.
- Marques, S.; Garcia-Gonzalo, J.; Botequim, B.; Ricard, A.; Borges, J.G.; Tome, M.; Oliveira, M.M. Assessing wildfire occurrence probability in *Pinus pinaster* Ait. stands in Portugal. **Forest Systems**, v. 21, n. 1, p. 111-120, 2012.
- 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. **Zoneamento de risco de incêndios em povoados florestais no norte de Santa Catarina**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2002.
- 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**, v. 38, n. 3, p. 561-572, 2008.
- Salas, J.; Chuvieco, E. Geographic information systems for wildland fire risk mapping. **Wildfire**, v. 3, n. 2, p. 07-13, 1994.
- Saaty, T. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.
- Silveira, H.L.F.; Vettorazzi, C.A.; Valente, R.O.A. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 259-268, 2008.
- Soares, R.V.; Batista, A.C. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: UFPR, 2007. 264 p.
- Tagliarini, F.S.N.; Gonçalves, A.K. Zoneamento de risco de incêndios florestais para a bacia hidrográfica do Córrego do Petiço - Botucatu (SP). In: Fórum Ambiental da Alta Paulista (FAAP), 12., 2016, Tupã. **Anais...** Tupã: ANAP, 2016. Artigos, p. 393-404. On-line. ISBN 978-85-68242-22-3. Disponível em: <<https://www.amigosdanatureza.org.br/eventos/data/inscricoes/399/form1511203.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2016.