

CAPÍTULO 14

METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DO PERIGO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS: ESTUDO DE CASO

**Nilton César Fiedler
Tiago Sperandio Borges
Alexandre Rosa dos Santos
Reginaldo Gonçalves Mafia
Edmilson Bitti Loureiro
Thiago Reggiani Cotta
Flávio Cipriano de Assis do Carmo
Gleissy Mary Amaral D. A. dos Santos**

1 Introdução

O perigo de ocorrer incêndios florestais em extensas áreas territoriais com diferentes tipos de cobertura no solo e suas diversas interações com fatores topográficos e climáticos está sendo tratado como condição decisiva para realização do planejamento ideal de implantação de plantios homogêneos, independente de qual será o uso final.

Uma das principais razões dessa preocupação é que os incêndios estão mais devastadores e difíceis de ser contidos, mesmo com os avanços em termos de máquinas e equipamentos de combate ao fogo, assim como o treinamento de combatentes, que está sendo mais técnico e aprimorado.

Os índices de risco de incêndios florestais contribuem de forma significativa para a determinação antecipada de locais onde podem ocorrer focos de fogo e assim ser rapidamente contidos, devido ao pré-planejamento realizado nessas áreas pelas equipes de prevenção e detecção de incêndios (VOSGERAU, 2005; VOSGERAU, 2006).

Vários índices de risco de incêndio florestal foram criados e adequados para diferentes tipos de regiões, porém, como são baseados apenas nas condições atmosféricas do dia, podem mascarar os resultados. Locais onde o índice indica risco alto podem ser regiões onde não existe cobertura vegetal, fator este fundamental para a ocorrência de fogo.

Nesse sentido, o método que vem sendo estudado abordando o risco de incêndio e fatores específicos de determinadas áreas é denominado de mapeamento do perigo de incêndios (BATISTA, 2002). Seu objetivo é identificar regiões com maiores ou menores condições de ocorrer incêndios florestais, visando à realização eficiente das atividades de prevenção. Nesses estudos, são analisados fatores como vegetação, uso da terra, relevo, antropismo, além dos próprios fatores meteorológicos, que são agregados aos

índices de risco e contribuem para determinação do grau de perigo de incêndios florestais.

Para maior eficiência dessas atividades são utilizados Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) Estes sistemas surgiram no Canadá e durante os últimos anos sofreram um intenso processo de desenvolvimento, divulgação e ampliação de suas aplicações. Os SIGs podem auxiliar as etapas de detecção do fogo, garantindo maior precisão na identificação do foco inicial do incêndio e na etapa de combate ao fogo, pois fornece ao coordenador das equipes, informações detalhadas do espaço relativo ao incêndio, permitindo simular o melhor caminho para se chegar ao local (CARVALHO, 2005).

Esta pesquisa objetivou mapear o perigo de ocorrência de incêndios florestais na região Norte do Espírito Santo, incluindo vários fatores de caráter permanente, com a utilização dos recursos dos SIGs, considerando a atividade antrópica.

2 Metodologia

2.1 Caracterização da área de estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida em áreas da Fibria Celulose S.A., na regional São Mateus, Norte do estado do Espírito Santo, localizada entre as coordenadas geográficas 17°55' N, 19°18' S, 39°41' E, 40°26' W. O clima da região considerada neste estudo, segundo a classificação de Köppen, é o Am, típico do litoral Norte do estado. A região apresenta clima ameno ao longo do ano, com temperatura média anual em torno dos 24 °C, variando entre 25 e 30 °C, no Verão, e 19 a 21 °C, no Inverno. O solo é classificado como Latossolo, que são solos fortes e moderadamente drenados com pequenas variações de argila, areia e cascalho.

2.2 Dados e ferramentas utilizados

Para realização das análises iniciais foram utilizados os seguintes dados e aplicativos computacionais:

- Polígonos no formato *ArcView (Shape Files)*, com informações que representam as estações meteorológicas, uso e ocupação da terra, curvas de nível e estradas da regional São Mateus;
- *ArcGIS 9.3*;
- *Idrisi32*.

As informações geográficas utilizadas neste trabalho estão no sistema de projeção UTM, correspondente ao *Datum* SAD69.

2.3 Estrutura metodológica

Para a realização deste estudo, a metodologia foi dividida em etapas, utilizando o método AHP criado por Saaty (1977), para execução das análises.

O comportamento humano e suas interferências foram considerados critério principal para escalonar os fatores incluídos no estudo, assim como seus níveis de importância.

O processo inicial consistiu no levantamento de fatores e subfatores que contribuem de forma potencial para o aumento do grau de perigo de incêndios florestais em determinado(s) local(is). Estes fatores podem representar a ameaça ou a vulnerabilidade dessas áreas à ocorrência de fogo, em função da ação antrópica.

2.4 Etapa 1 – Levantamento dos fatores para o mapeamento

a) Fator - Uso e ocupação da terra

Neste estudo, os fatores inerentes às áreas consideradas importantes ao objetivo do trabalho estão relacionados principalmente com o uso e ocupação da terra, com destaque para os seguintes:

- Vias de circulação;
- Áreas com edificações;
- Áreas de rede elétrica;
- Áreas para plantios comerciais;
- Vegetação de preservação.

b) Fator - Declividade

A declividade dos terrenos é um fator que está ligado à propagação dos incêndios. Sua relevância é em razão de o maior risco de incêndios florestais estar associado aos maiores valores de declividade. Em áreas mais inclinadas pode haver o acúmulo de material combustível, aumentando o perigo do fogo tomar grandes proporções naquele local, potencializando seu dano.

Ferraz & Vettorazzi (1998), Oliveira et al. (2004), Ribeiro et al. (2008) e Silveira et al. (2008) destacam o fator declividade como um dos que devem estar presentes em

análises dessa natureza, porém, recebe o menor peso de importância quando comparado aos outros fatores ligados diretamente ao material combustível e condições climáticas.

Neste trabalho, menos de 9% da área em estudo possui relevo considerado ondulado (mais de 20% de inclinação). Por esse motivo, a declividade será distribuída em duas classes de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da declividade

Declividade	Grau de inclinação
Até 20 %	Relevo plano a suavemente ondulado
> 20%	Relevo fortemente ondulado a montanhoso

2.5 Etapa 2 – Desenvolvimento dos mapas de distância de cada subfator

Foi desenvolvido para cada fator em estudo, mapas de distância conforme cada subfator correspondente, tendo como resultado a distância euclidiana de cada célula à sua mais próxima num conjunto de células-alvo pré-especificado (ROSOT et. al., 2000).

2.6 Etapa 3 – Padronização dos mapas de distância euclidiana

Após a execução dos mapas de distância, realizou-se a padronização dos mesmos no intervalo correspondente a um *byte*, ou seja, de 0 a 255. Então, foi definido que quanto mais próximo o subfator das áreas de estudo, maior a ameaça ou vulnerabilidade da mesma. Assim, os mapas de distância foram padronizados numa escala contínua de ameaça ou vulnerabilidade de 0 (menos ameaçada ou vulnerável) a 255 (mais ameaçada ou vulnerável), mantendo-se a integridade dos mesmos, permitindo a combinação dos diferentes mapas de subfatores e posteriormente dos fatores principais. Dessa forma, considera-se que cada *pixel* dos mapas tem potencialmente algum grau de associação a mais de um conjunto (classe), de acordo com o grau com que misturas destas classes existem dentro do *pixel* (EASTMAN, 2001).

2.7 Etapa 4 – Elaboração das matrizes de decisão

A partir do momento em que os mapas temáticos dos subfatores estão prontos e padronizados, são classificados mediante o grau de importância que um exerce sobre o outro. Diante disso, Eastman (2001) propõe uma técnica chamada Técnica Participatória,

que se constitui na realização de reuniões e consultas a especialistas das diferentes áreas de interesse do trabalho, além de uma revisão bibliográfica, que subsidiarão a atribuição de pesos aos fatores e subfatores, discriminando seu grau de importância, um em relação ao outro. Os conceitos dos tomadores de decisão são expressos por critérios, e de acordo com este mesmo autor, são a base do processo e podem ser medidos e avaliados.

Para definir os pesos dos fatores e subfatores por meio da Técnica Participatória, utilizou-se o método AHP, proposto por Saaty (1977), desenvolvendo uma matriz de comparação par a par para os subfatores e fatores, permitindo que cada um tenha seu peso correspondente.

A escolha da matriz considerou a RC e a ordem de importância dos fatores e subfatores previamente estabelecidos. Segundo Saaty (1977), a RC indica a probabilidade de que os valores de comparação entre os fatores e subfatores tenham sido gerados aleatoriamente.

A seguir estão discutidas as justificativas para a escolha das importâncias, que foram julgadas de acordo com a escala fundamental de Saaty (1977). São exibidas também as matrizes desenvolvidas, a RC e os pesos gerados.

a) Matriz de comparação par a par dos subfatores do uso e ocupação da terra

Para a matriz de comparação par a par dos subfatores do uso e ocupação da terra, considerou-se o subfator “vias de circulação” como o que representa maior importância quando comparado com os outros fatores. Por proporcionarem a livre circulação de pessoas, essas vias tornam as áreas vegetadas próximas vulneráveis, podendo sofrer algum tipo de interferência humana. Além disso, é o subfator limitante, ou seja, sem vias de circulação é muito difícil planejar edificações, rede elétrica e implantar cultivos florestais.

Ribeiro et al. (2008) destacam que são as estradas ou trilhas que permitem a exploração mais eficiente de uma região e podem também ser fator desencadeante de risco proeminente de incêndios florestais, por isso devem ser consideradas em estudos de mapeamento de perigo de fogo.

O segundo subfator de maior relevância é a presença de edificações, que podem estar incluídas próximas aos locais vegetados ou entre as florestas. Podem proporcionar certas concentrações de pessoas ou até mesmo abrigá-las, potencializando o risco de ocorrer algum tipo de atividade que provoque incêndio. Autores como Soares (2002) e Oliveira (2007) ressaltam que o número de incêndios causados provavelmente por pessoas aumenta a cada dia, e na maioria dos casos, podem ocorrer quando o indivíduo

está indo em direção a algum lugar localizado entre as florestas e decide atear fogo na vegetação, o que caracteriza a atuação de incendiários.

A presença de redes elétricas é o terceiro subfator de maior relevância quando comparado aos outros dois subfatores, pelo fato de estar condicionada a execução dos mesmos. Depois de instalada, a rede elétrica é monitorada a fim de que não sofra nenhum tipo de intervenção humana ou até mesmo da natureza. Segundo Xavier et al. (2007), a manutenção do fornecimento de energia elétrica sem risco de interrupção depende do manejo empregado na vegetação localizada sob as linhas de transmissão e nas suas bordas. É exatamente nessas áreas que podem surgir focos de incêndios causados por ação humana ou problemas na rede elétrica.

Nesse contexto, os subfatores relacionados à vegetação são considerados menos relevantes porque caracterizam a vulnerabilidade do local à ocorrência de incêndio florestal, enquanto os três primeiros caracterizam potenciais ameaças às áreas vegetadas (Tabelas 2 e 3).

É fato que em todos os subfatores a presença humana se torna condição fundamental para que apresentem esta ordem de importância, visto ser o homem agente idealizador de todas as atividades. Dessa forma, as áreas com plantios comerciais são consideradas mais relevantes com relação às áreas de preservação devido ao seu manejo específico, o que é ainda mais restrito em matas preservadas.

Tabela 2. Matriz de comparação par a par dos subfatores do uso e ocupação da terra

Fatores	Vegetação de preservação	Plantio Comercial	Rede elétrica	Edificações	Vias de circulação
Vegetação de preservação	1	1/3	1/5	1/7	1/9
Plantio Comercial	3	1	1/3	1/5	1/7
Rede elétrica	5	3	1	1/3	1/5
Edificações	7	5	3	1	1/3
Vias de circulação	9	7	5	3	1

Tabela 3. Peso dos subfatores do uso e ocupação da terra

Fatores	Pesos
Vegetação de preservação	0,0333
Plantio Comercial	0,0634
Rede elétrica	0,1290
Edificações	0,2615
Vias de circulação	0,5128
RC	0,05

b) Matriz de comparação par a par dos fatores em estudo

Para a elaboração da matriz de comparação par a par dos fatores em estudo, considerou-se o “uso e ocupação da terra” como o que representa maior importância, pelo fato de estar diretamente ligado às condições de vulnerabilidade e de ameaça. A atividade humana vem se tornando condição decisiva para que fatores que sofrem este tipo de influência se tornem mais importantes nessas análises (SOARES, 2002; OLIVEIRA, 2007).

A declividade foi o segundo fator de importância (Tabela 4 e 5), visto que está diretamente relacionado com a propagação do incêndio (RIBEIRO et al., 2008; SILVEIRA et al., 2008).

Tabela 4. Matriz de comparação par a par dos fatores

Fatores	Declividade	Uso e ocupação da terra
Declividade	1	1/3
Uso e ocupação da terra	3	1

Tabela 5. Peso dos fatores

Fatores	Pesos
Declividade	0,25
Uso e ocupação da terra	0,75
RC	0,00

2.8 Etapa 5 – Mapeamento do perigo de incêndios florestais

Cada mapa de distância ponderado de cada subfator foi multiplicado pelo seu peso correspondente. Depois da multiplicação dos subfatores por seu peso, todos os subfatores de um mesmo fator foram somados. O mapa resultante foi multiplicado pelo peso do fator.

Depois de desenvolvido este processo para todos os subfatores e fatores, obteve-se dois mapas: mapa do fator Uso e ocupação da terra e; mapa do fator Declividade. Os mesmos foram somados para a obtenção do mapa de perigo de incêndio florestal para toda a área de estudo.

Com o objetivo de apresentar o resultado de forma a proporcionar maior clareza, optou-se por dividir o grau de perigo de incêndio florestal para toda a área de estudo em classes, que são: perigo muito baixo; baixo; médio; alto e; muito alto. O critério utilizado para a classificação foi realizado por meio de uma estatística simples, em que as classes foram divididas em intervalos iguais. No entanto, foi também elaborado um mapa de perigo de incêndio florestal sem divisão de classes, utilizando um degrade de cores.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do mapa de perigo de incêndio florestal pode ser observada no fluxograma apresentado na Figura 1.

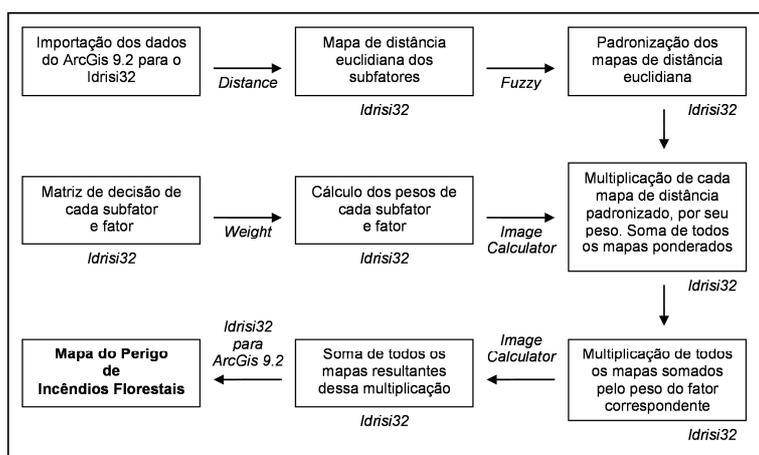


Figura 1. Fluxograma das etapas para obtenção do mapa de perigo de incêndio.

3 Resultados e discussão

O mapa do perigo de incêndios florestais para a região em estudo com a divisão em classes pode ser observado na Figura 2, contudo, o mesmo também está apresentado sem a divisão em classes, na Figura 3.

Por meio da espacialização e soma dos fatores, observa-se que o perigo de ocorrência de incêndio florestal é identificado nas áreas de forma mais objetiva e discriminada, visto o detalhamento dos fatores de caráter permanente (uso e ocupação da terra e declividade), evidenciados por meio da divisão do perigo em diferentes classes.

Observando a Figura 4 e analisando o mapa de acordo com a distribuição das áreas nas classes que indicam menor ou maior perigo de incêndios, é possível destacar que em 2% dos locais, o grau de perigo é muito alto, enquanto que em 7% o grau de perigo é muito baixo.

O subfator “vias de circulação” foi o que mais influenciou o desenvolvimento do mapa de perigo de incêndio florestal, pelo fato de permitir a instalação e a permanência

de todos os outros subfatores, que operam de forma contínua e por longo período de tempo.

Mesmo que este trabalho seja uma análise florestal, a questão antrópica é fundamental para que se entendam as ocorrências de incêndios, pois o ser humano participa diretamente de todas as atividades relacionadas com o uso e ocupação da terra, tornando-se agente ativo e passivo das causas e consequências de seus atos dentro e fora das florestas. De acordo com Soares (2002) e Oliveira (2007), o homem também deve ser alvo dos investimentos para que se torne contribuinte direto na conscientização, regulamentação e fiscalização das florestas, para que existam maior valorização e proteção desses recursos.

A utilização do mapa de perigo de incêndios florestais auxiliará principalmente os trabalhos de prevenção, orientando atividades de vigilância, manutenção de aceiros, conservação de estradas, alocação de equipamentos em pontos estratégicos. Além disso, contribui de forma potencial no planejamento de estratégias de combate, pois fornecerá informações sobre estradas, pontos de captação de água, posicionamento de equipes, que são essenciais na eventualidade de incêndios, permitindo ao pessoal encarregado do combate organizar suas ações com maior rapidez e eficiência.

4 Conclusões

Nas condições em que os estudos foram conduzidos na área de estudo, a análise dos resultados permitiu-se apresentar as seguintes conclusões:

- O mapeamento do perigo de incêndios florestais pode ser realizado de forma objetiva e discriminada, por meio da análise de fatores de caráter permanente (uso e ocupação da terra, declividade).
- A espacialização do perigo permite a elaboração mais criteriosa e eficiente das atividades de prevenção, detecção e combate a incêndios, contribuindo com a otimização da utilização dos recursos destinados para estes fins, discriminando áreas específicas menos ou mais propícias à ocorrência de fogo.
- Em relação ao fator “uso e ocupação da terra”, assim como seus subfatores, o mapa do perigo de incêndios mostra que nas regiões onde este fator está mais concentrado, o perigo é maior. Este fato está ligado diretamente à presença humana nesses locais, que é uma teoria reforçada pelos trabalhos de Soares (2002), Oliveira et al. (2004), Clemente et al. (2006), Oliveira (2007), Ribeiro et al. (2008).
- A metodologia, com o apoio de um sistema de informações geográficas, apresentou-se de forma adequada e pode ser replicada para outras áreas de acordo com as características e fatores de importância mais atuantes em cada caso.

- O método analítico hierárquico se mostrou eficiente, porém é necessário critério na aplicação da escala de Saaty, pois a manipulação de valores e julgamentos pode determinar conclusões que não correspondam à realidade.

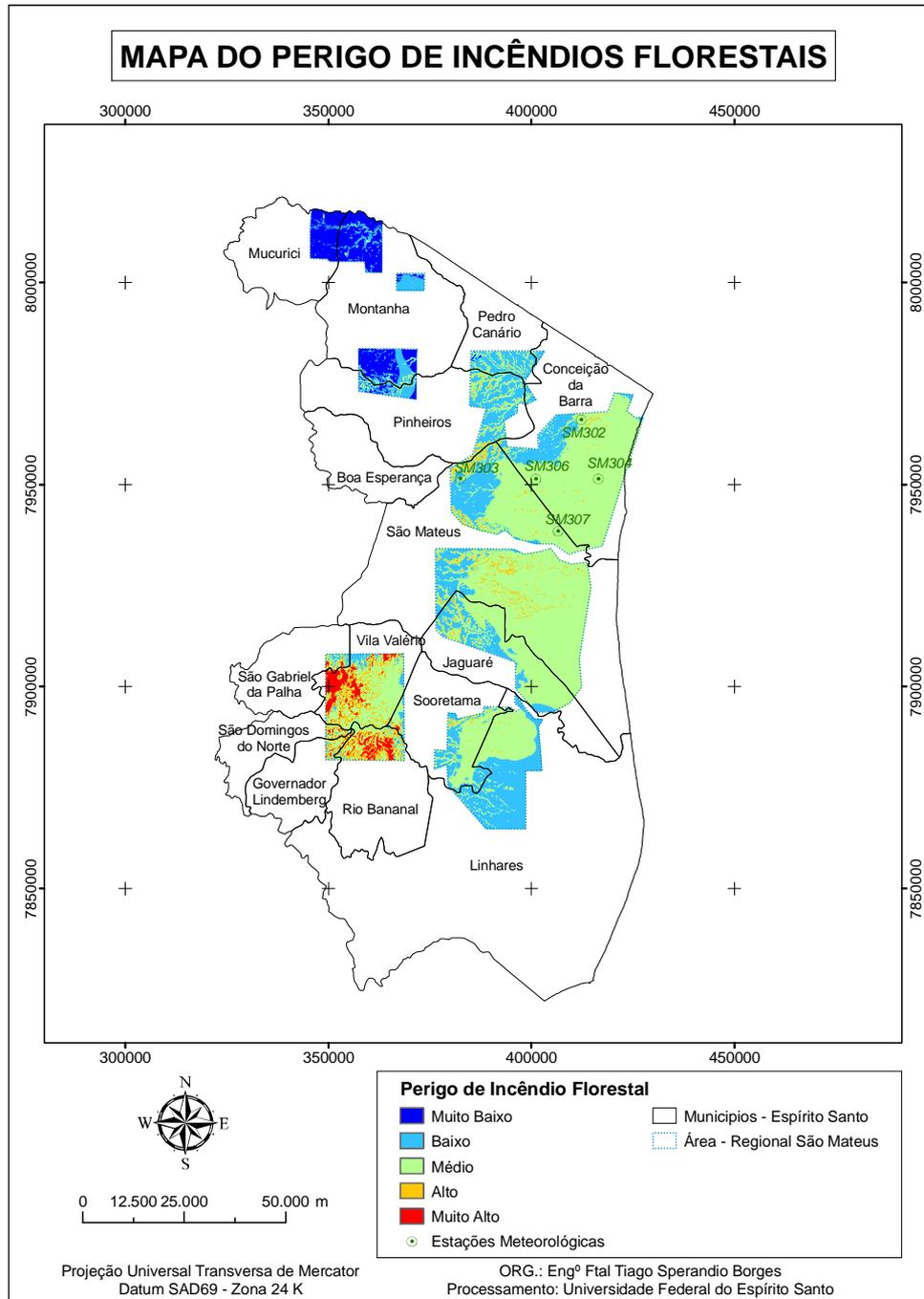


Figura 2. Mapa do perigo de incêndios florestais para a região em estudo com a divisão em classes.

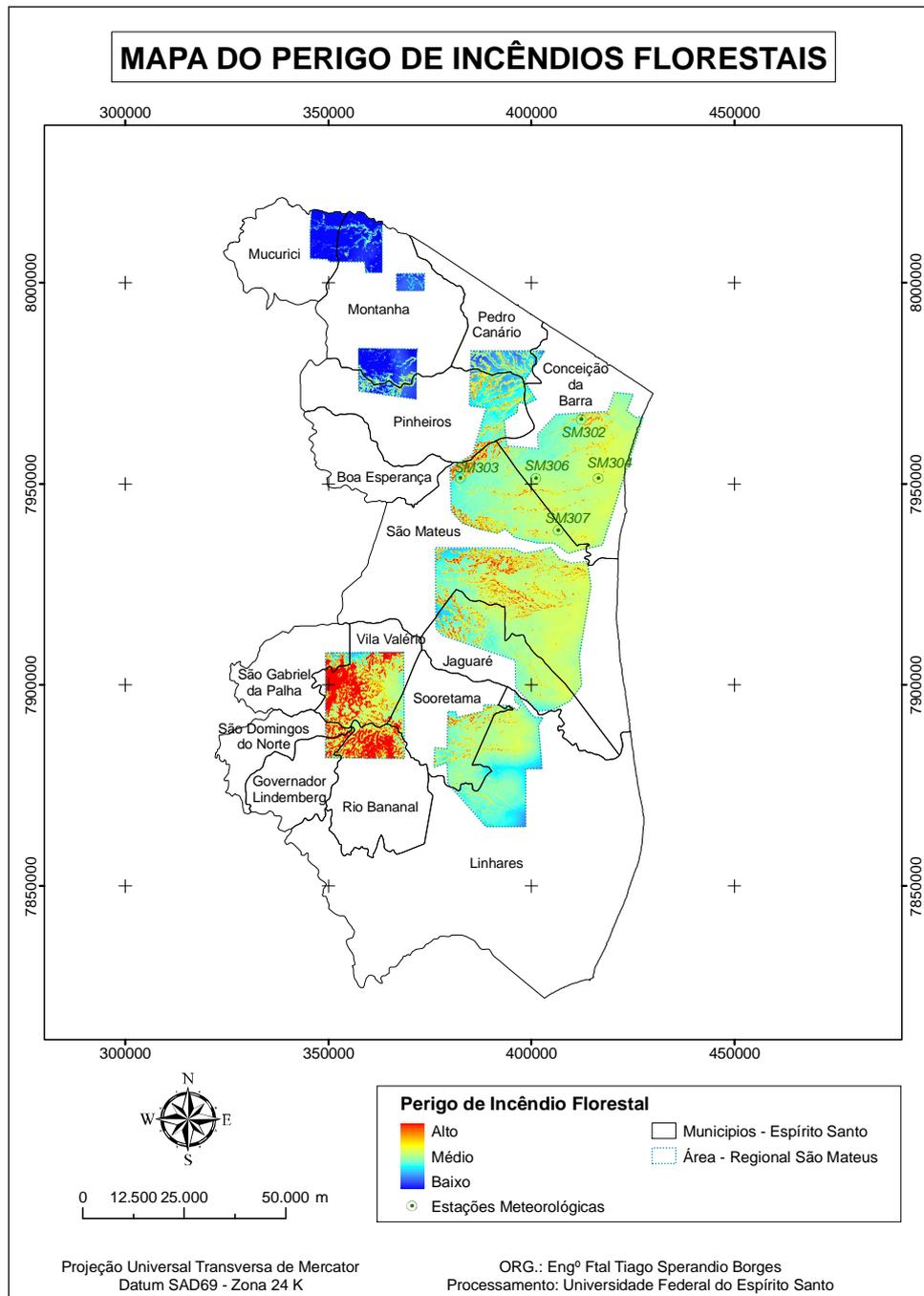


Figura 3. Mapa do perigo de incêndios florestais para a região em estudo sem a divisão em classes.

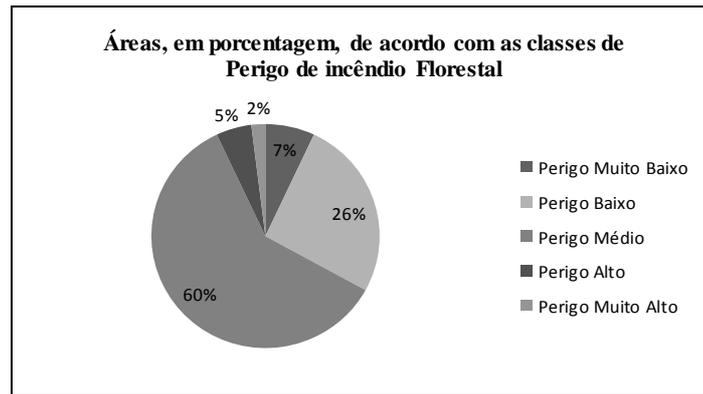


Figura 4. Distribuição das áreas de acordo com o mapa de perigo de incêndio florestal.

5 Referências bibliográficas

- BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p. 45-54, 2002.
- CARVALHO, P. A. C. F. **Modelação do risco de incêndio florestal com redes neuronais artificiais: aplicação ao Parque Natural de Montesinho**. 2005. 197 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistema de Informação Geográfica) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Sistemas de Informações Geográficas, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2005.
- CLEMENTE, R. C. et al. **Algumas considerações sobre incêndios em áreas florestais**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, realizado em Florianópolis em outubro de 2006.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows**. Versão 32. Worcester, MA: Clark university, 2001.
- FERRAZ, S. F. de B., VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). *Scientia Forestalis*, São Paulo, n. 53, p. 40-48, 1998.
- 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.
- OLIVEIRA, P. R. S. **Relação entre empresas florestais e comunidades do entorno: proposta para superação de conflitos**. 2007. 123 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- RIBEIRO, L.; KOPROSK, L. P.; STOLLE, L.; CHRISTEL LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). *Revista Floresta*, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 561-572, 2008.
- ROSOT, M. A. D.; BARCZAK, C. L.; COSTA, D. M. B. **Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacobi a ações antrópicas utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento**. Congresso brasileiro e cadastro técnico multifinalitário, realizado em Florianópolis em outubro de 2000.
- SAATY, T. H. A Scaling Method For Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, n 3, p. 234-281, 1977.
- SILVEIRA, H. L. F. da, VETTORAZZI, C. A., VALENTE, R. de O. A. V. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do rio Corumbataí, SP. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 259-268, 2008.
- SOARES, R. V. Novas tendências no controle de incêndios florestais. *Floresta*, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p. 11-21, 2002.
- VOSGERAU, J. L. **Análise dos incêndios florestais registrados pelo corpo de bombeiros no estado do Paraná no período de 1991 a 2001**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- VOSGERAU, J. L. Avaliação dos registros de incêndios florestais do estado do Paraná no período de 1991 a 2001. *Floresta*, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 23-32, 2006.
- XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; ARAÚJO, F. S.; GOMES, V. S. Manejo da vegetação sob linhas de transmissão de energia elétrica na serra de Baturité. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 351-364, 2007.