

## **Modelagem do conhecimento aplicada a susceptibilidade de ocorrência de incêndios no Parque Nacional de Itatiaia**

Gustavo Mota de Sousa <sup>1,2</sup>  
Manoel do Couto Fernandes <sup>2</sup>  
Gilson Alexandre Ostwald Pedro da Costa <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ/IA/DEGEO  
BR 465, Km 7, Campus da UFRRJ - 23890-000 - Seropédica - RJ, Brasil  
gustavoms@ufrj.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/IGEO/GEOCART  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Cidade Universitária – 21941-916 – Rio de Janeiro - RJ,  
Brasil  
manoel.fernandes@ufrj.br

<sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica – PUC-Rio/LVC  
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea – 22453-900 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
gilson@ele.puc-rio.br

**Abstract.** Forest fires result from numerous causes, usually triggered by human agents. Nevertheless, the landscape has several characteristics that can ease fire generation and spread, which are important indicators for the prevention and combat of forest fires. The goal of this paper is to contribute methodologically to the field of forest fire susceptibility mapping through the application of knowledge models built with conceptual support from Geocology, Data Mining and GEOBIA techniques. The study area is located in Brazil, more specifically in a protected area known as the Itatiaia National Park, an Atlantic Forest reminiscent area between the states of Rio de Janeiro and Minas Gerais. Multiple data sources were used in the development of the methodology: AVNIR-2/ALOS imagery; Digital Elevation Models (DEM); and burned area reports acquired in situ from 2008 to 2012. The Geocological variables were analyzed by means of data mining techniques which supported the generation of decision trees for susceptibility classification. Fire susceptibility mapping was then computed through a GEOBIA-based classification technique. The results showed that the susceptibility mapping produced is highly correlated with the actual forest fires that occurred in the Park, even though they define a smaller percentage of high susceptibility areas when compared to prior susceptibility mapping initiatives for the study area.

**Palavras-chave:** wildfires, geocological cartography, InterIMAGE, WEKA, incêndios florestais, cartografia geocológica, InterIMAGE, WEKA.

### **1. Introdução**

Os incêndios florestais são vistos como um dos principais desafios dos gestores das Unidades de Conservação (UC) existentes no Brasil. Essa problemática é decorrente de inúmeras práticas em que o homem é o principal agente deflagrador devido a diversos interesses que vão desde a necessidade de ocupar a terra até as práticas criminosas. Além disso, existem características que propiciam o espalhamento do fogo e que merecem ser observadas tendo em vista o melhor combate por equipes especializadas. Essas características são denominadas variáveis geológicas e subsidiam análises que utilizam modelos da paisagem. A Geocologia faz o estudo da paisagem através da verificação de suas partes, que são definidas com base no fenômeno em estudo, que neste caso são os incêndios florestais. A análise geológica só é possível diante dos olhares da Geografia e da Ecologia (Troll, 1939), que lançam mão das geotecnologias para a integração e inspeção das variáveis geológicas.

As geotecnologias utilizadas para este trabalho se baseiam em GEOBIA<sup>1</sup>, mineração de dados, e modelagem do conhecimento. Esse conjunto de técnicas torna possível a construção do modelo de análise geocológica para a aplicação alvo deste trabalho, que foi realizado no Parque Nacional do Itatiaia – PNI (Figura 1), localizado entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais e que possui áreas de remanescentes florestais da Mata Atlântica. Essa UC possui sérios problemas relacionados a incêndios de origem criminosa combinados com o período seco durante a estação de inverno (entre Junho e Setembro).

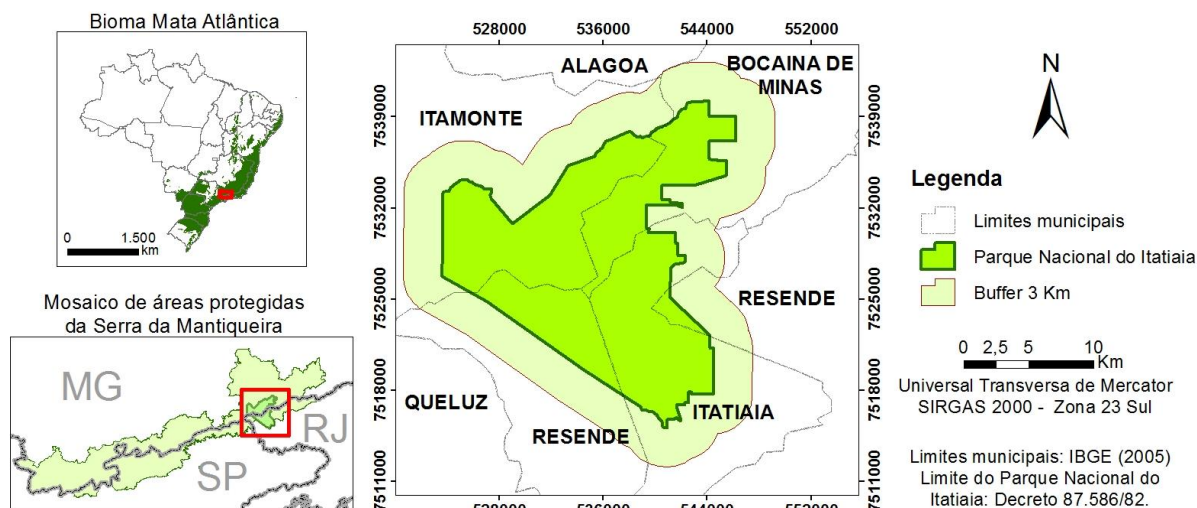


Figura 1. Localização do Parque Nacional do Itatiaia (Adaptado de Tomzhinski, 2012).

O caráter inovador do estudo está na utilização da técnica de GEOBIA em imagens orbitais de média resolução espacial através de ferramentas de código aberto e uso livre, o que favorece a disseminação desses estudos para o Parque Nacional do Itatiaia e outras Unidades de Conservação brasileiras.

## 2. Metodologia

A metodologia verificou a susceptibilidade dos incêndios através da extração de dados da paisagem com base nos quais foram geradas árvores de decisão através de mineração de dados. A metodologia está descrita em dados de entrada, métodos aplicados e resultados (Figura 2).

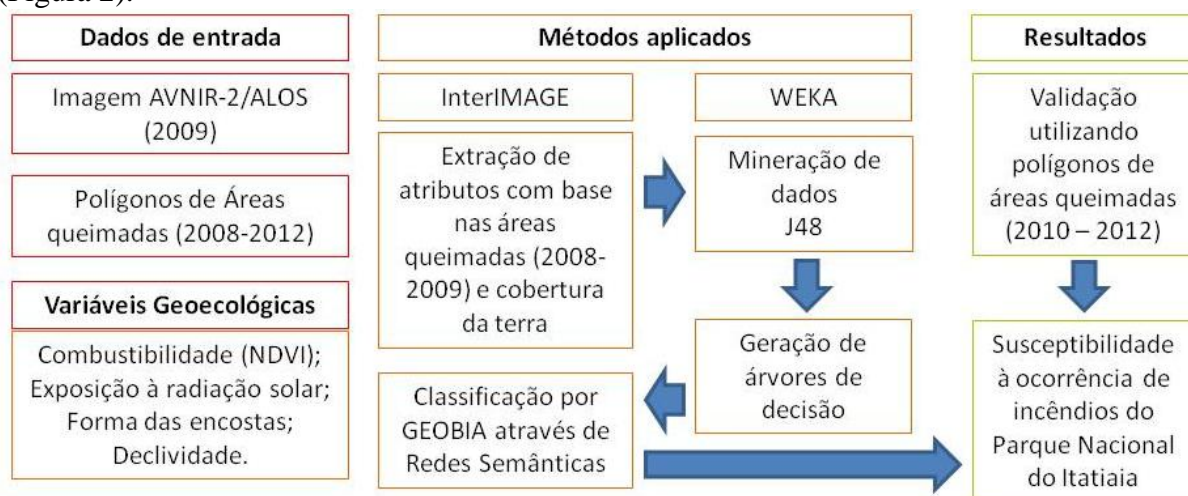


Figura 2. Fluxograma metodológico

<sup>1</sup> Do inglês Geographic Object-Based Image Analysis – Análise de Dados Geográficos Baseada em Objetos.

Os dados de entrada representam um período entre 2008 a 2012 e consistem de polígonos de áreas queimadas identificadas em campo através de Relatórios de Ocorrência de Incêndios (ROI), imagens do sensor AVNIR-2/ALOS (2009) e um Modelo Digital de Elevação – MDE. Polígonos de áreas queimadas serviram para a calibração do modelo de conhecimento (2008 e 2009) e validação da classificação da susceptibilidade à ocorrência de incêndios (2010 a 2012).

Os métodos aplicados utilizaram o modelo 6S (Vermote et al., 1997) e os softwares WEKA (Witten and Frank, 2005) e InterIMAGE (Costa et al., 2010) que foram selecionados por serem sistemas de livre uso, com o propósito de facilitar a disseminação das experiências realizadas para outras Unidades de Conservação.

A imagem AVNIR-2/ALOS passou por correção geométrica e atmosférica (Sousa & Antunes, 2013) antes da geração do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI. O NDVI foi considerado como indicador de combustibilidade da vegetação e combinado com dados extraídos do MDE (exposição à radiação solar, forma das encostas e declividade) para a análise geocológica.

A mineração de dados foi realizada sobre as variáveis geocológicas de combustibilidade, exposição à radiação solar, declividade e forma das encostas, com o auxílio de amostras de áreas queimadas (alta susceptibilidade) e áreas com características de baixa susceptibilidade extraídas do mapa de cobertura da terra (Colares et al., 2013). Como resultado foram criados quatro mapas das variáveis geocológicas, baseados em árvores de decisão (Tabela 1), que subsidiaram a elaboração de um índice de susceptibilidade, que indicou as áreas susceptíveis ao fogo nas classes de alta, média e baixa susceptibilidade.

Tabela 1. Árvores de decisão geradas em mineração de classe por variável geocológica.

Variável geocológica	Árvore de decisão
Combustibilidade (NDVI)	Moda [A26] $\leq$ 0.409105: Alta (78.0/7.0) Moda [A26] $>$ 0.409105: Baixa (79.0/9.0)
Exposição à radiação solar	Máx. pixel [A13] $\leq$ 1809972.75: Baixa (96.0/20.0) Máx. pixel [A13] $>$ 1809972.75: Alta (61.0/1.0)
Declividade	Soma [A09] $\leq$ 649.684245   Amplitude [A01] $\leq$ 12.146927     Entropia [A02] $\leq$ 4.169925: Alta (28.0/7.0)     Entropia [A02] $>$ 4.169925: Baixa(70.0/27.0)   Amplitude [A01] $>$ 12.146927: Alta (36.0/6.0) Soma [A09] $>$ 649.684245: Baixa (23.0/2.0)
Forma das encostas	Min. pixel [A35] $\leq$ 0.047607   Entropia [A32] $\leq$ 4.142664: Alta (28.0/11.0)   Entropia [A32] $>$ 4.142664: Baixa (92.0/31.0) Min. pixel [A35] $>$ 0.047607: Alta (37.0/5.0)

Diferentes métodos de classificação foram explorados e estruturados em três projetos distintos. O projeto 1 (combinação das variáveis) realizou a classificação com base em álgebra de mapas sobre cada variável geocológica. Já o projeto 2 (GEOBIA e combinação das variáveis) obteve a susceptibilidade utilizando os mapas de cada variável geocológica e classificação por GEOBIA. O projeto 3 (GEOBIA e mineração de dados) utilizou os arquivos originais das variáveis geocológicas e as árvores de decisão extraídas da mineração de dados e classificação por GEOBIA.

### 3. Resultados e discussões

Os resultados dos mapeamentos apresentam o tamanho das áreas que foram identificadas no Parque Nacional do Itatiaia (Tabela 2) e a comparação com áreas queimadas de 2010 a 2012 (Tabela 3). A Tabela 2 mostra que o método de “combinação de variáveis” foi o que identificou o maior percentual de áreas com a classe de alta susceptibilidade (42,5%) e menor quantidade de áreas com a classe de baixa susceptibilidade (16,2%). Em comparação com o método de “GEOBIA e combinação das variáveis” ocorreu o inverso, o menor percentual de alta susceptibilidade (7,0%) e maior quantidade de áreas com baixa susceptibilidade (19,9%). Além disso, este método apresentou o maior registro de áreas com média susceptibilidade com 71,4%.

Tabela 2. Total de áreas por classe de susceptibilidade ao fogo por método aplicado.

<b>Método aplicado</b>	<b>Alta</b>	<b>Média</b>	<b>Baixa</b>	<b>Não classificada</b>
Combinação das variáveis	42,5%	39,6%	16,2%	1,7%
GEOBIA e combinação das variáveis	7,0%	71,4%	19,9%	1,7%
GEOBIA e mineração de dados	21,1%	58,0%	19,2%	1,7%

O método de “GEOBIA e mineração de dados” apresentou áreas de classe com o percentual de 21,1% para alta, 58,0% para média e 19,2% para baixa. Esse método registra os valores menos extremos se comparados aos outros métodos utilizados.

A validação dos resultados dos três mapeamentos de susceptibilidade aos incêndios gerados foi realizada através da comparação com as áreas queimadas identificadas em campo pela Brigada de Incêndio do Parque Nacional do Itatiaia. Os relatórios utilizados correspondem ao período entre 2010 e 2012 e, quando espacializados, permitem verificar a qualidade do mapeamento. A Tabela 3 mostra em quais classes de susceptibilidade, alta, média ou baixa, segundo cada um dos três métodos de classificação utilizados, ocorreram os incêndios florestais registrados entre 2010 e 2012. Os três métodos mostraram-se eficazes, mas possuem diferenças que devem ser ressaltadas com a inserção de GEOBIA na classificação.

Tabela 3. Validação da susceptibilidade por método aplicado e áreas queimadas 2010-2012.

<b>Método aplicado</b>	<b>Alta</b>	<b>Média</b>	<b>Baixa</b>	<b>Não classificada</b>
Combinação das variáveis	49,9%	43,0%	6,8%	0,3%
GEOBIA e combinação das variáveis	38,0%	54,6%	7,1%	0,3%
GEOBIA e mineração de dados	59,9%	38,1%	1,6%	0,3%

Observa-se pela Tabela 3 que 59,9% das áreas de incêndio entre 2010 e 2012 ocorreram em áreas de definidas pelo método que utilizou GEOBIA e mineração de dados como de alta susceptibilidade. Adicionalmente, a Tabela 2 mostra que o percentual de áreas definidas por aquele método como de alta susceptibilidade é relativamente pequeno. Isso significa que a utilização daquele mapeamento de susceptibilidade para a prevenção e combate aos incêndios no Parque podem aumentar a eficiência dos órgão responsáveis. Os experimentos demonstraram, portanto, que o uso de GEOBIA e mineração de dados durante o processo de classificação foi o mais apropriado para a análise da susceptibilidade aos incêndios no Parque Nacional do Itatiaia.

As áreas não classificadas que foram apresentadas nas tabelas 2 e 3 representam classes de cobertura da terra (água, rocha, área urbana e solo exposto) não constituintes de características que visam o objetivo deste estudo.

O mapa de susceptibilidade à ocorrência de incêndios apresentado na Figura 3 foi elaborado através da técnica de mineração de dados e GEOBIA que demonstrou maior

detalhamento espacial e precisão em relação aos outros dois mapas elaborados em projetos dentro do *software* InterIMAGE conforme foi demonstrado nos resultados da Tabela 3.

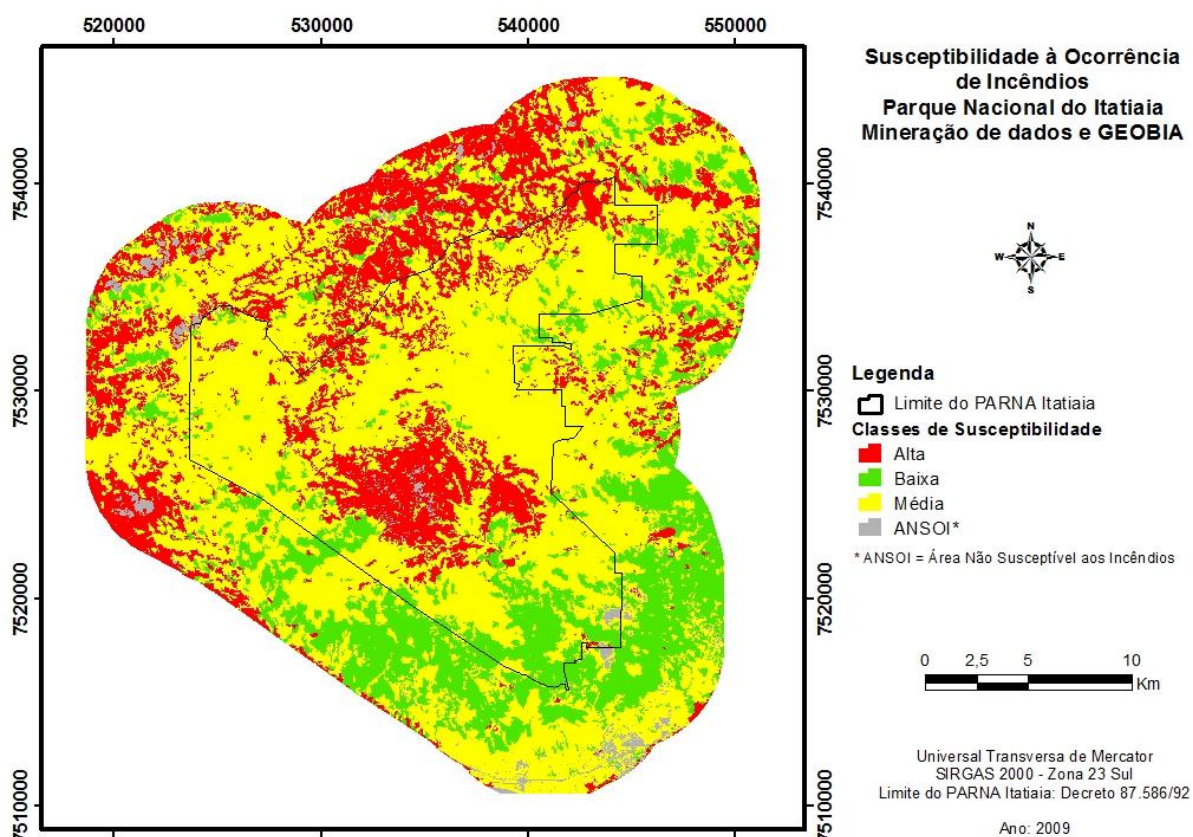


Figura 3. Resultado do mapeamento por GEOBIA e mineração de dados.

As áreas das classes de alta e baixa susceptibilidade apresentam extensões semelhantes. Outra característica interessante no resultado do mapa é a localização das áreas de alta susceptibilidade na parte norte do PNI, que são sobrepostas às classes de cobertura da terra de vegetação herbácea e campos de altitude que oferecem alta combustibilidade ao fogo.

Os objetos classificados no InterIMAGE gerados através de uma segmentação com o algoritmo proposto em (Baatz & Schäpe, 2000) sobre uma imagem NDVI produzida com as bandas do vermelho e infravermelho próximo do sensor AVNIR-2/ALOS. Os parâmetros de segmentação foram: escala com valor de 20; peso de compacidade foi 0,9; peso da cor foi 0,7.

#### 4. Conclusões

Este trabalho demonstrou através da comparação de diferentes metodologias de classificação que as técnicas GEOBIA e mineração de dados obtiveram os melhores resultados na determinação de susceptibilidade de incêndio, como foi observado nas tabelas 2 e 3.

O software InterIMAGE mostrou-se eficaz para a geração do mapeamento da susceptibilidade à ocorrência de incêndios e, em conjunto com o minerador de dados WEKA, foi uma ferramenta fundamental para atingir os objetivos deste trabalho. Apesar de algumas limitações relacionadas ao tamanho da imagem e tempo de processamento, não houve a necessidade de fazer algum recorte dos arquivos utilizados. O InterIMAGE mostrou diferentes possibilidades de classificação tornando possível a comparação com as áreas queimadas e identificação de qual o melhor método a ser aplicado.

O uso de softwares livres como o InterIMAGE e WEKA tornam a metodologia viável para a aplicação em outras UCs brasileiras. Outro fator importante foi o interesse do Parque Nacional do Itatiaia na construção da metodologia demonstrado através da cessão dos Relatórios de Ocorrência de Incêndios, além de constante troca de conhecimentos entre os pesquisadores, brigadistas e servidores, o que tornou possível a geração de um modelo de conhecimento consistente para o mapeamento da susceptibilidade à ocorrência de incêndios.

### Referências bibliográficas

Baatz, M., Schäpe, A. 2000. Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Strobl/Blaschke/Griesebner (editors): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*, Wichmann-Verlag, Heidelberg, pp. 12-23.

Colares, I. V. V.; Nunes, M. T. O.; Sousa, G. M.; Fernandes, M. C. Mapeamento da cobertura da terra do Parque Nacional do Itatiaia com a plataforma cognitiva InterIMAGE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 2329-2336. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GFJ4>>. Acesso em: 28 out. 2014.

Costa, G. A. O. P., Feitosa, R. Q., Fonseca, L. M. G., Oliveira, D. A. B., Ferreira, R. S., Castejon, E. F., 2010, Knowledge-based interpretation of remote sensing data with the InterIMAGE system: Major characteristics and recent developments. *Proceedings of Geographic Object-Based Image Analysis – GEOBIA 2010*, Ghent, Belgium.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C. (1974) Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation, NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD. 371 p.

Sousa, G. M.; Antunes, M. A. H. Correção atmosférica de imagens AVNIR-2/ALOS com o modelo 6S no Parque Nacional do Itatiaia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 1885-1892. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GDTS>>. Acesso em: 28 out. 2014.

Tomzhinski, G.W., 2012. Análise Geoecológica dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia – PPGG/UFRJ. 137 f.

Troll, C., 1939, Luftboldplan und ökologische bodenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, p.p. 241-298.

Vermote, E.F., Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M., Morchete, J.J., 1997, Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Volume 35. n 3, p. 675-686.

Witten, I. H., Frank, E., 2005, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2nd. Ed., 525 p.