ANÁLISE ESPACIAL DOS FOCOS DE CALOR E DO DESFLORESTAMENTO DO ESTADO DE RORAIMA - BRASIL

SPATIAL ANALYSIS OF HOT SPOTS AND DEFORESTATION DATA IN RORAIMA STATE - BRAZIL

Maristela Ramalho Xaud [1,2], Haron Abrahim Magalhães Xaud [1,2]

[1] Embrapa Roraima, BR- 174, km 8, Bairro: Distrito Industrial, 69.301-970 – Boa Vista, Roraima, Brasil.
[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil, mramalho@dsr.inpe.br, haron@dsr.inpe.br

RESUMO

O presente trabalho visa analisar o comportamento espaço-temporal de focos de calor e de desmatamento utilizando os dados gerados pelo Projeto Queimadas e pelo PRODES (INPE) para o Estado de Roraima, durante o período de 2001 a 2006. Foram utilizadas técnicas de análise espacial aplicadas a dados pontuais como estimador de intensidade de Kernel, além da análise do padrão dos dados de focos, através do método do vizinho mais próximo. As superfícies de intensidade foram fatiadas e classificadas em extrema, muito alta, alta e moderada. Para adequação espacial aos dados de desmatamento, com os mesmos foram geradas zonas de proximidade (4000m). As regiões geradas pelos dados de focos e de desmatamento foram cruzadas e os resultados melhoraram qualitativamente a análise dos eventos em questão. Os resultados indicaram uma superfície de intensidade de focos maior nas áreas florestais do que nas áreas desmatadas, principalmente nos anos mais secos, chegando à classe extrema em 2003. Nesse ano, incêndios florestais ocorreram em vastas áreas na região, associados à ação antrópica e efeito do *El Niño*.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, queimadas, desflorestamento, monitoramento, análise espacial.

ABSTRACT

This study aims to analyze the spatiotemporal behavior of hotspots and deforestation using data generated by Projeto Queimadas and PRODES (INPE) in the State of Roraima, during the period of 2001 to 2006. We used spatial analysis techniques applied to data points as Kernel estimator of intensity, and pattern analysis of data, through the method of nearest neighbor. The areas of intensity were sliced and scored in extreme, very high, high and moderate. To match hotspots with deforestation data, it was made buffers (4000m). The regions generated by hotspots and deforestation were crossed and the results improved qualitative analysis of the events in question. The results indicated a more intensity surface of hotspots in forest areas than in deforested areas, especially in drier years, reaching the extreme class in 2003. This year, forest fires occurred in vast areas in the region, linked to human action and effect of *El Niño*.

Keywords: Remote sensing, GIS, forestry engineering, mapping, monitoring.

INTRODUÇÃO

O processo de ocupação da região amazônica vem se caracterizando nos últimos anos pela rápida transformação das áreas florestais em outros tipos de cobertura do solo, ou através do corte raso da vegetação ou por um processo mais gradativo de transformação, que está vinculada à extração de madeira, às atividades de mineração ou mesmo ao uso indiscriminado de queimadas na região.

Associadas ao processo de abertura das áreas florestais, as queimadas fazem parte das atividades agrícolas (corte, derrubada e queima) e da limpeza de pastagens. O fogo é utilizado tanto para eliminar os resíduos das derrubadas, como também para manejo das pastagens já implantadas. Ocasionalmente, o fogo escapa de

áreas de queimadas controladas (ou não) em fazendas e assentamentos, avançando acidentalmente sobre áreas de florestas naturais, provocando incêndios florestais (BARBOSA, 1998; XAUD, 1998).

Em Roraima, a ocorrência de incêndios florestais tem sido cada vez mais freqüente. Após o grande incêndio florestal de 1998, observou-se o aumento da susceptibilidade das áreas florestais atingidas, mesmo em condições normais de estação seca. XAUD e SILVA (2004) relatam que no ano de 2001 (estação seca considerada normal), foi necessário realizar intensa campanha de monitoramento e controle de queimadas agrícolas, com utilização de dados orbitais e presença de helicópteros de combate, brigadas municipais e acionamento do Exército, para evitar que se repetisse a severidade do incêndio de 1998. Em 2003, quando novamente houve forte influência do *El Niño*, fazendo com que a umidade relativa do ar ficasse, em média, abaixo de 60% e a temperatura máxima quase sempre ultrapassasse os 35ºC, várias frentes de fogo acidental avançaram novamente sobre áreas de produção e florestas intactas, ocasionando novamente prejuízos econômicos, sociais e ambientais a agricultores, ao Estado e à sociedade como um todo (BARBOSA *et al.*, 2004).

O Brasil tem se destacado nos últimos anos pelo monitoramento de queimadas e do desmatamento com imagens de satélites. Tal monitoramento é particularmente útil para regiões remotas sem meios intensivos de acompanhamento, como o caso da região amazônica. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que tem entre seus objetivos desenvolver tecnologias e aplicações com satélites artificiais e produtos relacionados ao tempo e clima que sejam de utilidade para a sociedade, tem sido responsável por esses dados.

O sistema de monitoramento orbital de queimadas detecta a ocorrência de focos de calor, informação extremamente importante e necessária para milhares de usuários. Alguns satélites foram e vem sendo utilizados no monitoramento de queimadas há muitos anos (como o caso do NOAA-12, desativado em 2007) e a análise dos dados acumulados aumentam o entendimento sobre a ocorrência de queimadas no Brasil ou em regiões específicas. A utilização dos dados de focos de calor ao longo dos anos monitorados pelo INPE, considerando o modo regular de detecção e o crescente volume de dados, tem sido referência nos estudos de queimadas na América Latina (JUSTINO *et al.*, 2002; DEPPE *et al.*, 2004; SISMANOGLU e SETZER, 2005; ARAÚJO *et al.*, 2007).

Quanto ao monitoramento do desmatamento, o Projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite) tem como objetivo estimar a taxa anual e a extensão do desmatamento bruto da Amazônia, por estado, por município e por imagem. Desmatamento é considerado como "a conversão de áreas de floresta primária por atividades antropogênicas para o desenvolvimento de atividades agropecuárias", sendo contabilizadas apenas áreas de corte raso da vegetação. As imagens utilizadas são principalmente do satélite LANDSAT (INPE, 2008b).

Levando em conta que desmatamento e queimadas são processos associados quando se trata da Amazônia brasileira, tendo regionalmente comportamentos específicos e ainda pouco estudados, o entendimento dos padrões espaciais desses dois eventos e suas inter-relações visa melhorar o conhecimento dos processos de ocupação das fronteiras agrícolas na Amazônia. O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento espaço-temporal dos focos de calor e do desmatamento utilizando os dados gerados pelo Projeto Queimadas e pelo PRODES para o Estado de Roraima.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados constantes no banco de dados Queimadas (INPE, 2008a), sendo selecionado o Estado de Roraima e a passagem noturna do satélite NOAA-12, nos anos de 2001 a 2006. Os dados de desmatamento utilizados foram derivados do mosaico estadual do banco de dados do PRODES (INPE, 2008b), de base anual, que utiliza imagens TM/LANDSAT. Os intervalos anuais de coleta de dados de focos foram organizados de forma a coincidirem com o calendário do PRODES (de agosto a julho).

O software utilizado foi o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) – versão 4.3.3. Para os dados de focos de calor, foram utilizadas as ferramentas de análise espacial para padrões pontuais, tais como análise univariada de pontos e estimador de densidade de Kernel.

A metodologia para o desenvolvimento do trabalho consta no fluxograma da Figura 1.

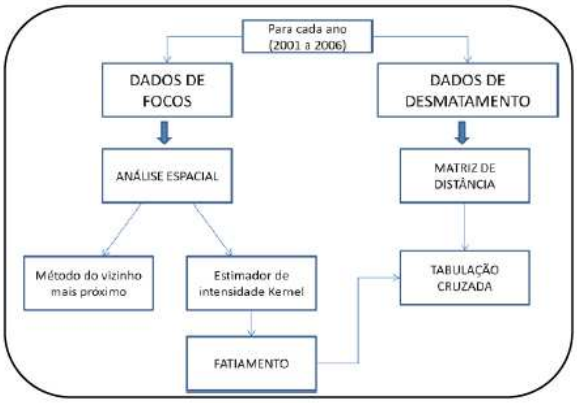

Figura 1. Fluxograma das rotinas de análise espacial desenvolvida pela pesquisa.
Figure 1. Flowchart of spatial analysis routines developed by the research.

Na análise dos padrões espaciais, o método da distância do vizinho mais próximo teve objetivo de verificar se os focos na região de estudo apresentavam comportamento sistemático (agrupamento, regularidade ou aleatoriedade) em cada período analisado (intervalos anuais) e se havia variações entre os anos observados. O método do vizinho mais próximo estima a função de distribuição cumulativa ($\hat{G}(w)$), baseado nas distâncias entre eventos em uma região de análise (BAILEY e GATRELL, 1995). Foi utilizada a distância mínima de 1000 metros e máxima de 10000 metros, com 10 intervalos. O método do vizinho mais próximo com simulação foi utilizado para verificar a significância do resultado através de um modelo teórico de aleatoriedade espacial completa (AEC). Foram utilizadas 50 simulações.

A plotagem dos resultados de $\hat{G}(w)$ em relação às distâncias pode ser utilizada como um método exploratório para verificar se existe evidência de interação entre os eventos. Cada curva do gráfico representa o padrão de distribuição dos focos nos anos analisados, lembrando que os períodos vão de agosto a julho, englobando para o caso de Roraima, todo o período seco (de novembro a abril).

O estimador de densidade de Kernel foi utilizado para analisar a intensidade do padrão espacial dos focos, originando uma grade e uma imagem da superfície de intensidade para cada ano analisado. Foi utilizada largura de banda de 8500 metros, com uma resolução de grade de 1000 metros, mostrando-se favorável à análise dos focos de calor, principalmente nos anos com mais focos (2000-2001 e 2002-2003). A grade originada foi fatiada e os intervalos de fatiamento levaram em consideração os valores máximos e mínimos de toda a série, de forma a possibilitar a comparação anual dos dados.

Os dados cumulativos de desmatamento para cada ano foram organizados e agrupados segundo a legenda do PRODES, de acordo com o ano de detecção. Sobre a superfície cumulativa de cada ano, foram geradas zonas de proximidade (*buffer*) de 4 km, visando adequar uma melhor possibilidade de análise dos dados PRODES com os dados de focos de calor.

A superfície de intensidade dos focos de calor foi cruzada com a superfície cumulativa dos polígonos de desmatamento incluindo as respectivas zonas de proximidade, sendo então calculadas as áreas de intersecções entre as classes em cada ano analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise dos padrões dos focos de calor pelo método da distância do vizinho mais próximo são apresentados no gráfico da Figura 2. As curvas apontam para padrões similares de agrupamentos entre os

anos observados com maiores evidências de interação entre os focos nos períodos de 2000-2001 e 2002-2003. Em todos os anos analisados, a distância crítica que se deu o maior agrupamento dos focos foi 2000 metros, com Ĝ(w) variando de aproximadamente 0,75 a 0,92. Através da aplicação do método do vizinho mais próximo com simulação pode-se comprovar significativamente a tendência ao agrupamento para todos os períodos analisados.

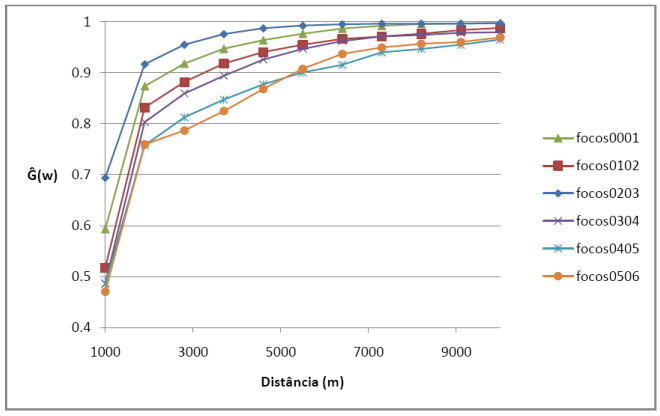

Figura 2. Gráfico da função de distribuição cumulativa anual dos eventos de focos para o período analisado (2000/2006).
Figure 2. Cumulative distribution function graph of the annual hotspots for the period analyzed (2000-2006).

Os resultados da análise espacial dos focos de calor mostram a tendência ao agrupamento relacionada às queimadas na região. O agrupamento é ainda mais significativo em anos mais secos e consequentemente com mais focos, como no caso de 2003.

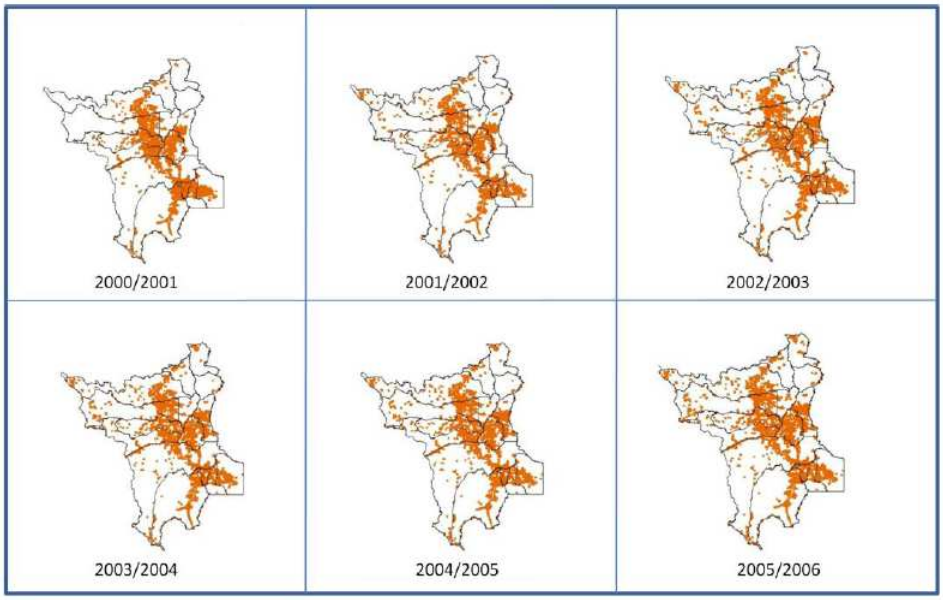

Figura 4. Dados PRODES com a aplicação de *buffer* de 4 km.
Figure 4. PRODES data with the application of 4 km buffer.

Os resultados dos *buffers* sobre os dados de desmatamento podem ser observados na Figura 4. Verifica-se que a partir de 2001 houve um acréscimo de pequenos polígonos de desmatamento na região oeste do Estado, que ficaram realçados com a aplicação de *buffers* de 4 km. Essas aberturas podem estar ligadas a prática de atividades agrícolas das comunidades indígenas na região (yanomami) ou mesmo a atividades garimpeiras ilegais, o que deve ser mais bem caracterizado em outros trabalhos futuros. Tais aberturas são contabilizadas pelo PRODES de forma cumulativa, mas possuem característica diferente em relação às áreas de fronteira agrícola, com maior capacidade regenerativa (LEONEL, 2000).

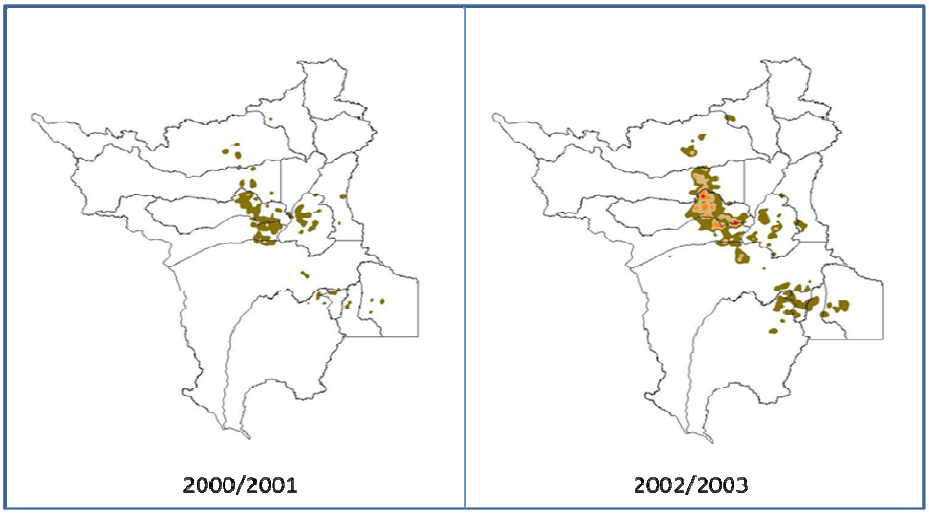

Figura 5. Superfícies de intensidade dos focos geradas a partir do estimador de Kernel com largura de banda de 8500m. Cores vermelha e laranja representando intensidades extrema e muito alta e cores bege e verde intensidades alta e moderada.

Figure 5. Surface intensity of hotspots generated from Kernel estimator with bandwidth of 8500m. Red and orange colors representing extreme and very high intensities and colors beige and green high and moderate intensities.

Exemplos dos resultados da aplicação do estimador de densidade de Kernel dos focos são mostrados na Figura 5. A largura de banda de 8500 metros mostrou-se adequada à análise dos focos de calor, principalmente nos anos com mais focos (2000-2001 e 2002-2003), originando quatro classes de intensidade: moderada, alta, muito alta e extrema.

Os resultados da tabulação cruzada entre as superfícies de intensidade e as áreas desmatadas (com *buffer* de 4000m) e florestais para cada um dos anos analisados (Figura 6) indicam que as áreas florestais apresentam maior intensidade de focos de calor que as áreas desmatadas, principalmente em anos mais secos (2001 e 2003). A variação de intensidade foi melhor observada no ano de 2003, chegando à classe extrema.

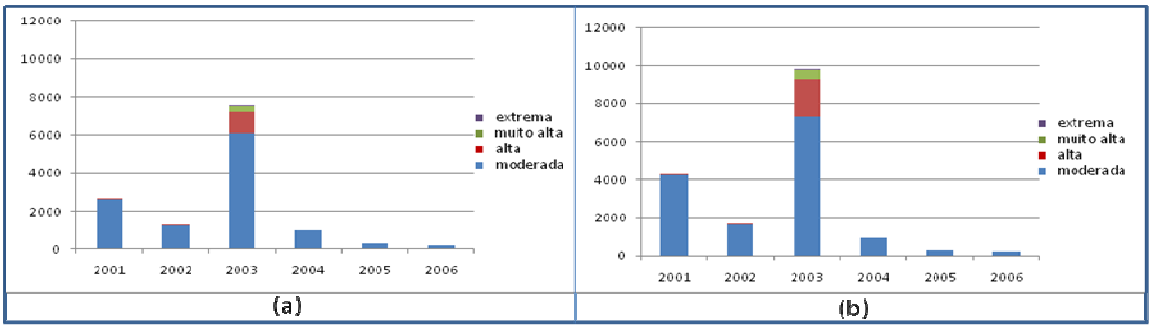

Figura 6. Resultados dos cruzamentos das superfícies de intensidade (estimador Kernel) de focos de calor com: (a) áreas desmatadas (+ *buffer* de 4000m) e (b) áreas florestais.

Figure 6. Results of crosses between the surfaces of intensity (Kernel estimator) of hotspots with: (a) deforested areas (buffer + 4000m) and (b) forest areas.

CONCLUSÕES

A metodologia adotada melhorou qualitativamente a análise do comportamento espaço-temporal dos dados de focos de calor em relação aos dados de desmatamento. A análise dos dados referentes ao período de 2001 a 2006 indica que quanto maior o número de focos de calor em Roraima, maior a tendência a aglomeração.

Os resultados indicaram uma superfície de intensidade de focos maior nas áreas florestais do que nas áreas desmatadas, principalmente nos anos mais secos, chegando à classe extrema em 2003. Nesse ano, incêndios florestais ocorreram em vastas áreas na região, associados à ação antrópica e efeito do *El Niño*.
O banco de dados organizado tem possibilidade futura de novos cruzamentos, podendo relacionar superfícies de intensidade dos focos com desmatamentos subseqüentes, em processos de análise com variação dos intervalos de tempo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Embrapa e ao INPE pelo apoio disponibilizado para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L.M.A. *et al.* Análise dos focos de calor em áreas florestais ao longo do Arco do Desflorestamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007. Florianópolis. *Anais*. Florianópolis, p. 4421-4423.

BAILEY, T.C.; GATRELL, A.C. *Interactive Spatial Data Analysis.* John Wiley and Sons, New York, NY, 1995.

BARBOSA, R.I. *Avaliação preliminar da área dos sistemas naturais e agroecossistemas atingida por incêndios no Estado de Roraima (01.12.1997 a 30.04.1998) em 16.05.1998*: Relatório Técnico II. Relatório de Pesquisa. Boa Vista, INPA/Roraima, 1998.

BARBOSA, R.I. *et al.* Cinzas na Amazônia: incêndios florestais reencontram Roraima. Rio de Janeiro: *Ciência Hoje*, v. 35, n. 207, p.22-27, 2004.

DEPPE, F. *et al.* Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná. Curitiba: *Revista Floresta*, v.34, n.2, p.119-126, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Banco de dados queimadas: Monitoramento de focos.* Cachoeira Paulista: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008a. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas. Acesso em 03.12.2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite.* São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008b. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes. Acesso em 03.12.2008.

JUSTINO, F.B. *et al.* Relação entre “focos de calor” e condições meteorológicas no Brasil . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, Foz do Iguaçu. *Anais*. Foz do Iguaçu, 2002. p. 2086-2093.

LEONEL, M. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. São Paulo: *Estudos Avançados*, v.14, n.40, p. 231-250, 2000.

SISMANOGLU, R.A.; SETZER, A. Risco de fogo da vegetação na América do Sul: comparação de três versões na estiagem de 2004. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia. *Anais*. Goiânia, 2005. p. 3349-3355.

XAUD, H.A.M. *Queimadas*: uma faca de dois gumes. Embrapa: Boa Vista, 1998. 2p. (Embrapa Roraima. Embrapa Informa, 2).

XAUD, M.R.; SILVA, G.F.N.S. Implementação de monitoramento de queimadas na prevenção e no controle de incêndios florestais no Estado de Roraima. In: Sétimo CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS – FOREST 2004, Brasília. *Volume de Resumos*. Rio de Janeiro: Biosfera, 2004. p. 83-84.