

### Análise espacial e correlação entre dados de queimadas e desflorestamento no Estado do Mato Grosso, entre 2001 e 2005

Célia Regina Grego<sup>1</sup>  
Alexandre Camargo Coutinho<sup>2</sup>  
Carlos Fernando Quartaroli<sup>3</sup>

## Resumo

O Estado do Mato Grosso, localizado na região da Amazônia Legal, apresenta características especiais para o entendimento das relações entre os fenômenos de desflorestamento e de queimadas, por apresentar um complexo mosaico de ecossistemas naturais, uma significativa diversidade de sistemas de produção agropecuários e uma dinâmica de uso e ocupação acelerada. Este trabalho apresenta o resultado da análise espacial e de correlação entre os dados de monitoramento de desflorestamento e de focos de calor publicados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o Estado de Mato Grosso, no período compreendido entre 2001 e 2005. Inicialmente, foi estruturada uma base de dados e as variáveis numéricas foram submetidas a cálculos de estatística descritiva e análise geoestatística, permitindo a construção e ajuste de semivariogramas para verificar a existência ou não de dependência espacial. Dados com dependência espacial foram interpolados e espacializados em mapas de isolinhas. A análise mostrou um crescimento dos focos de calor e de áreas desflorestadas de 2001 até 2004. A correlação foi significativa para queimada e desflorestamento em 2003 e em 2004, indicando que os focos de calor identificados estão fortemente associados aos processos de desflorestamento para o mesmo ano, principalmente para os anos com maiores ocorrências destes fenômenos. A dinâmica espaço-temporal de ocorrência de queimadas e desflorestamento não foi aleatória e ocorreu seguindo um padrão espacial e temporal bem definido. A região crítica do Estado foi o Centro-Norte, por se tratar da região com maior participação, tanto das queimadas, quanto do

<sup>1</sup> Engenheira Agrônoma, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite

<sup>2</sup> Biólogo, pesquisador e Chefe Adjunto de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação da Embrapa Monitoramento por Satélite

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite

desflorestamento em Mato Grosso. A correlação e a dinâmica espacial e temporal encontradas indicam ser oportuna a integração das informações disponibilizadas sobre o monitoramento de queimadas e o monitoramento dos desflorestamentos, possibilitando a elaboração de abordagens que considerem esses fenômenos como sendo complementares e auxiliares.

## **Introdução**

O processo de desflorestamento da Amazônia Legal Brasileira tem chamado a atenção da comunidade científica nacional e internacional e da população em geral, desde o início da década de 70. Recentemente, o fenômeno tem sido associado às mudanças climáticas globais, à alteração dos ciclos biogeoquímicos, à dinâmica de uso e cobertura da terra e à diminuição da biodiversidade.

Uma das grandes preocupações dos ambientalistas, que tem gerado intensas e inflamadas polêmicas, está associada ao fenômeno das queimadas. O monitoramento de queimadas baseado na utilização de imagens de satélites é particularmente útil para o caso de grandes extensões territoriais, incluindo regiões remotas ou com acesso limitado. O sistema de Queimadas do INPE, segundo Setzer (1992), detecta a ocorrência de focos de calor através das imagens do sensor "Advanced Very High Resolution" (AVHRR), disposto à bordo dos satélites meteorológicos da série NOAA. Apesar disso, detalhes sobre o que está queimando e da superfície total queimada não são obtidos. Paralelamente, desde 1988, o INPE vem produzindo estimativas anuais das taxas de desflorestamento da Amazônia Legal. Estas estimativas estão sendo produzidas por classificação digital de imagens, seguindo a Metodologia PRODES (CAMARA *et al.*, 2006). A principal vantagem deste procedimento, em relação aos dados de queimadas, está na precisão do georreferenciamento dos polígonos de desflorestamento, organizados em um banco de dados geográfico multitemporal.

Essas informações, com diferentes graus de dificuldade de obtenção e complexidade espacial, demandaram um investimento exploratório para detecção da existência e da intensidade da correlação entre elas e da identificação de tendências espaciais e temporais mútuas ao longo do tempo.

Segundo Gomes e Nepomuceno (2007), pelo cálculo das áreas desflorestadas na Amazônia, detectadas a partir de imagens do satélite LANDSAT, as taxas de desflorestamento estão aumentando sistematicamente. O Estado de Mato Grosso, localizado na região da Amazônia Legal, apresenta características especiais para o entendimento das relações entre o desflorestamento e a incidência das queimadas, principalmente por ser alvo de grande preocupação em relação à preservação dos seus recursos naturais. Setzer (1992) observou que o Estado de Mato Grosso contribuiu sozinho com cerca de 20% do total nacional de queimadas durante os anos de 1991 a 1993. Souza Junior *et al.* (2006), comparando dados de 2004 a 2006, relataram que o Mato Grosso continuou sendo o Estado com maior taxa de desflorestamento na Amazônia Legal. Coutinho (2005) caracterizou e mapeou a dinâmica de queimadas no Estado de Mato Grosso e identificou as principais atividades condicionantes desta dinâmica, além de constatar que o fenômeno das queimadas está forte e intimamente relacionado ao fenômeno dos desflorestamentos.

O método de análise de espacialização denominado geoestatística, originalmente aplicado em mineração, passou a ser usado em análises da descrição detalhada da variabilidade de diversos tipos de propriedades relacionadas à relação solo-água-plantas (GOOVAERTS, 1997; VIEIRA, 2000; DRUCK *et al.*, 2004, GREGO *et al.*, 2006). Com a geoestatística, a dependência espacial pode ser verificada e, se existir, ou seja, se as variáveis amostradas forem dependentes espacialmente, as informações de cada uma delas poderão ser espacializadas.

Este trabalho tem o objetivo de analisar espacialmente a dependência entre os fenômenos de queimada e desflorestamento para o Estado de Mato Grosso, no período de 2001 a 2005.

## **Material e Métodos**

A área escolhida para o desenvolvimento deste trabalho foi o Estado de Mato Grosso, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, entre as coordenadas 06° 00' e 19° 45' de latitude Sul e 50° 06' e 62° 45' de longitude Oeste, inserido entre a área de ocorrência dos cerrados brasileiros, da floresta tropical úmida e da planície do pantanal.

Os dados de queimadas, provenientes da análise e classificação dos dados do NOAA/AVHRR, foram produzidos pelo INPE e colocados à disposição sob a forma de listagens diárias das coordenadas correspondentes aos pixels que apresentaram temperatura indicativa da incidência de queimadas. Esses dados foram em bases correspondentes aos anos de 2000 a 2004, através da interface desenvolvida pelo INPE, disponível no link <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>>.

Os dados de desflorestamento também foram obtidos pelo INPE que os disponibiliza no chamado programa PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia). Segundo Câmara *et al.* (2006), esta metodologia foi desenvolvida originalmente durante o período 1988-2002 para ser utilizada no contexto do projeto PRODES-Analógico. Neste período, a interpretação das imagens era feita por interpretação visual de imagens impressas em papel fotográfico. A partir de 2003, o INPE passou a adotar o processo de interpretação assistida pelo computador para o cálculo da taxa de desflorestamento na Amazônia, chamado de programa PRODES-Digital para distingui-lo do processo anterior. O PRODES detecta desflorestamentos acima de 6,25 hectares. A taxa é obtida dentro de um período de 12 meses, compreendido entre agosto de um ano a julho do ano seguinte.

As variáveis foram agrupadas por quadrículas de 25 km<sup>2</sup>, especializadas no mapa do Estado de Mato Grosso, totalizando 30662 quadrículas, e submetidas aos cálculos de estatística descritiva (média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose). Também foi verificada a significância da correlação entre dados de queimadas e desflorestamento, pelo cálculo do coeficiente de determinação ( $r^2$ ).

A hipótese de que a distribuição das propriedades estudadas apresentam padrões de distribuição espacial e temporal foi testada pela análise geoestatística. Foram construídos semivariogramas que, por sua vez, foram ajustados escolhendo o melhor modelo para representar o crescimento da semivariância em função da distância. A análise foi descrita por Vieira (2000) partindo das pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca. A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada através da semivariância  $\gamma(h)$  estimada pela equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

onde  $N(h)$  é o número de pares dos valores medidos ( $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$ ), separados por um vetor  $h$ , que é a distância determinada a partir das coordenadas de  $Z(x_i)$  e de  $Z(x_i + h)$ .

Os dados que apresentaram dependência espacial foram espacializados pela krigagem, sem tendência e com variância mínima, descrito por Vieira (2000). A krigagem é uma técnica usada na geoestatística para estimar valores de propriedades para locais onde esta propriedade não foi medida. Para que esta ferramenta seja usada, é necessário que exista a dependência espacial definida pelo semivariograma (VIEIRA, 2000). O resultado é expresso em forma de mapas, permitindo detectar e identificar eventuais padrões espaciais com a dinâmica temporal encontrada. Foi utilizado, para a espacialização, o software ArcGis 9.2, que possibilitou a entrada, armazenamento, manipulação e saída de dados georreferenciados.

## Resultados e Discussão

O resultado da estatística descritiva para queimadas e desflorestamento de 2001 a 2005 encontra-se na Tabela 1. Para as queimadas, traduzidas pelo total de pontos de focos de calor por quadrícula, ocorreram muitos valores zero (0) na maior parte do Estado, o que resultou em valores médios bastante baixos com pequena variação, de 1,04 focos de calor em 2001 para 2,51 em 2004, sendo que para a área desflorestada, a menor porcentagem média ocorreu em 2001 e a maior em 2003. Verifica-se também um crescimento das áreas queimadas e desflorestadas de 2001 até 2004, com queda em 2005. Souza Junior *et al.* (2006) identificaram maior pico de desflorestamento em 2004, com redução de 30% em períodos mais recentes (2005 a 2006). Os valores de assimetria e curtose são bastante altos, o que indica anormalidade da distribuição de frequência dos conjuntos de dados.

**Tabela 1.** Resultado da estatística descritiva para variáveis queimadas e desflorestamento de 2001 a 2005.

Ano	Quadrículas /contagem	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Variância	Curtose	Assimetria
<b>Queimadas (focos em 25km<sup>2</sup>)</b>								
2001	30662	1,04	0	40	2,47	6,11	27,83	4,31
2002	30662	1,82	0	61	4,06	16,47	27,58	4,29
2003	30662	1,72	0	76	4,29	18,44	38,82	5,09
2004	30662	2,51	0	90	5,50	30,23	30,09	4,43
2005	30662	1,64	0	76	3,85	14,83	29,68	4,36
<b>Desflorestamento (% em 25 km<sup>2</sup>)</b>								
2001	30662	0,23	0	23,69	0,86	0,74	85,64	7,52
2002	30662	0,31	0	23,47	1,12	1,25	71,51	6,98
2003	30662	0,35	0	25,70	1,21	1,45	67,15	6,71
2004	30662	0,34	0	21,26	1,17	1,37	59,04	6,53
2005	30662	0,28	0	20,80	0,97	0,95	64,54	6,74

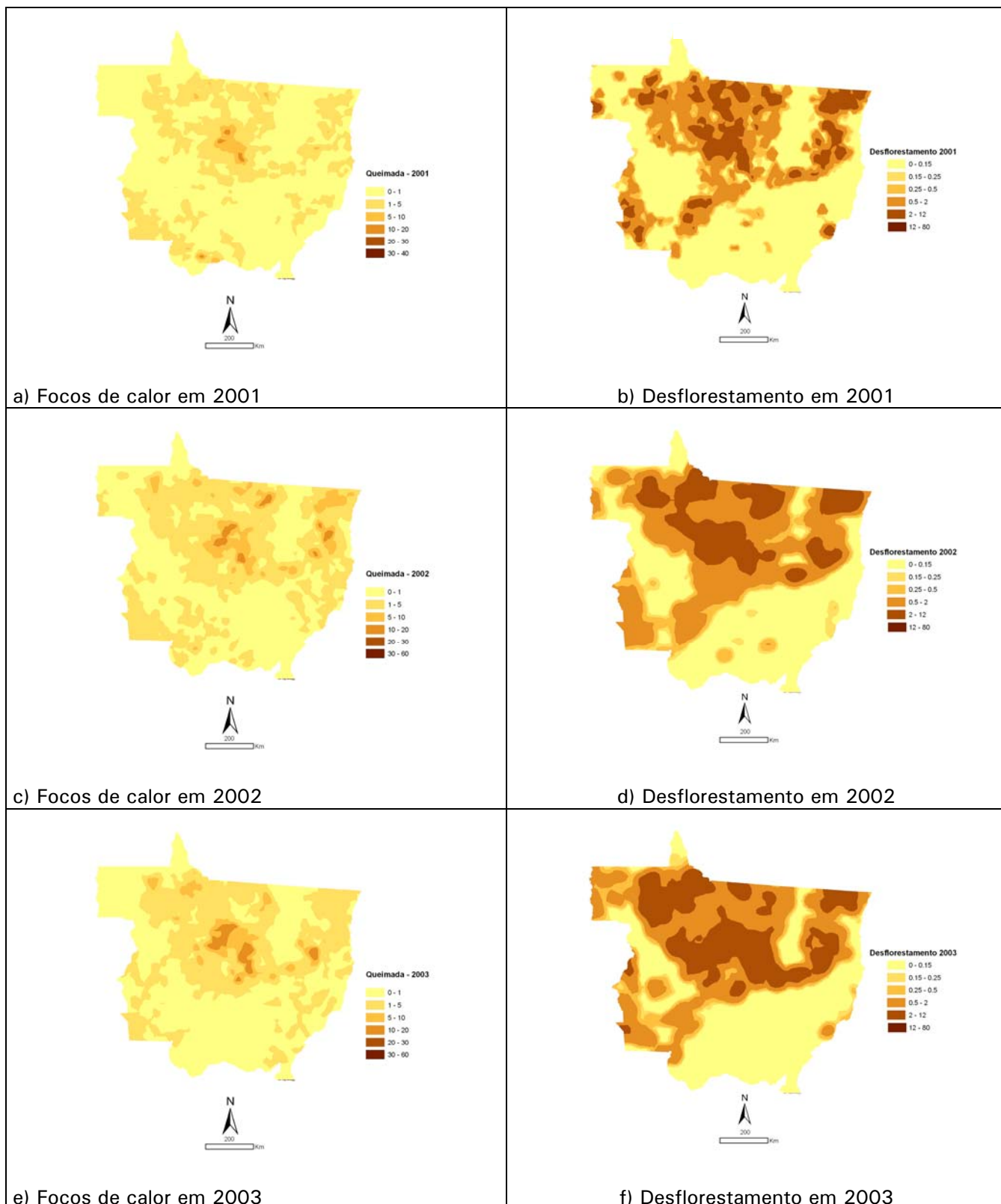
Na tabela 2 encontra-se o resultado da correlação entre queimada e desflorestamento. A correlação foi maior e significativa somente para queimada e desflorestamento em 2003 e em 2004. Isto indica que os focos de calor identificados são fortemente associados a processos de desflorestamento para o mesmo ano, principalmente para anos com maiores ocorrências (Tabela 1). A correlação encontrada entre focos de calor e desflorestamento indica que o desflorestamento pode ser atribuído também aos mesmos fatores que levam ao fenômeno das queimadas. Vários trabalhos estudaram o que condiciona a dinâmica de queimadas e desflorestamento (BECKER, 2001; MARGULIS, 2004; ALENCAR *et al.*, 2004) e apontaram o processo de expansão da fronteira e as relações entre os diferentes atores envolvidos como agentes dos processos.

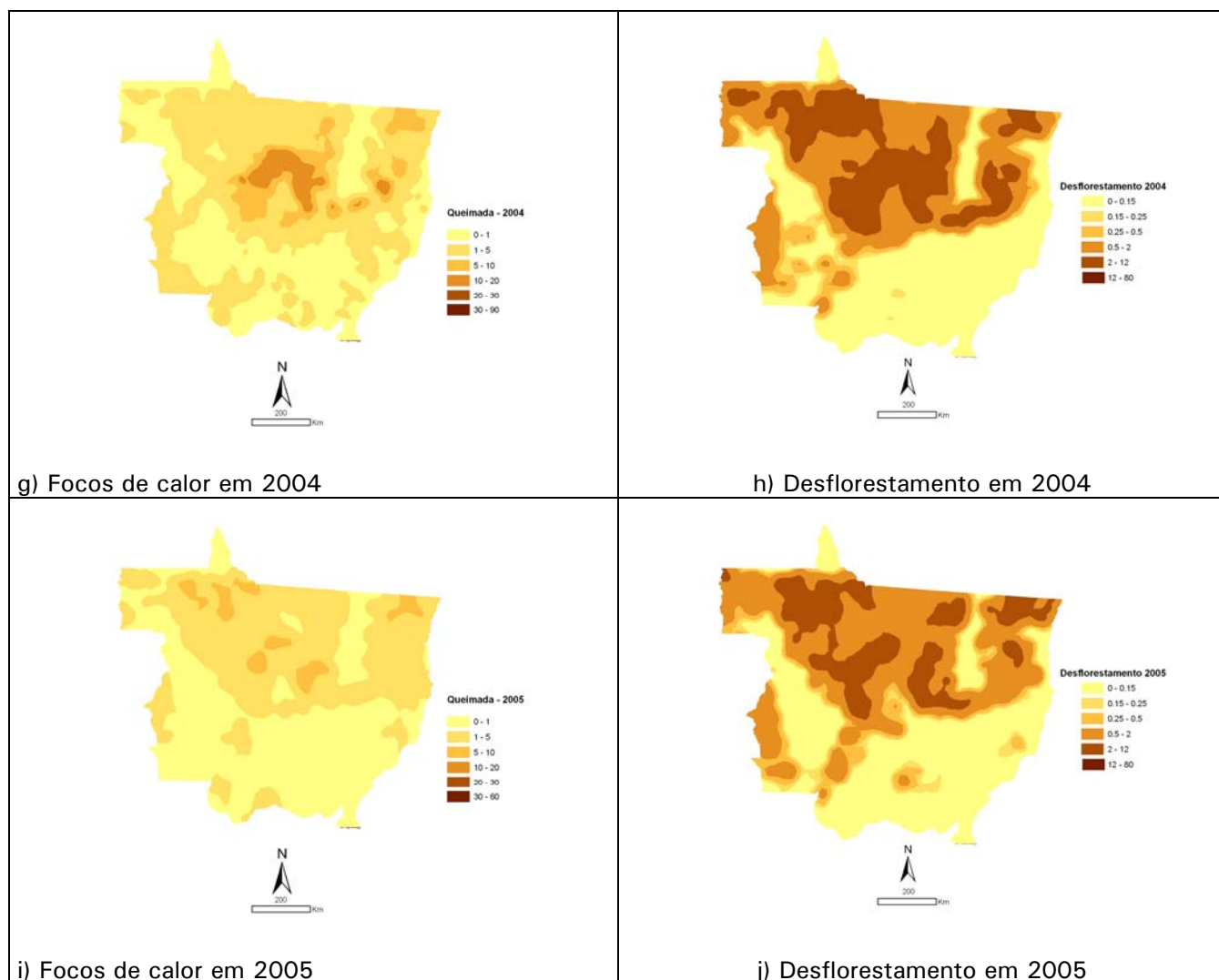
**Tabela 2.** Análise de correlação entre queimadas e desflorestamento de 2001 a 2005 e significância dos coeficientes de determinação pelo teste T (5%).

Queimadas (focos em 25km <sup>2</sup> )	Desflorestamento (% em 25 km <sup>2</sup> )				
	2001	2002	2003	2004	2005
2001	0,31	0,21	0,14	0,12	0,08
2002	0,38	0,44	0,24	0,17	0,16
2003	0,25	0,34	0,47**	0,25	0,16
2004	0,21	0,31	0,43	0,45**	0,25
2005	0,20	0,29	0,35	0,39	0,44

\*\* significativo a 5%

Houve dependência espacial para os focos de calor e desflorestamento de 2001 a 2005. Os mapas obtidos por krigagem indicam como região crítica, de 2001 a 2005, o Centro-Norte como sendo a região com maior participação tanto de queimadas quanto de desflorestamento em Mato Grosso (Figura 1). Este resultado está de acordo com os encontrados por Souza Júnior *et al.* (2006) e também confirma as hipóteses levantadas por Coutinho (2005), de que a dinâmica espaço-temporal de ocorrência de queimadas não é aleatória e de que existe um padrão espacial e temporal bem definido para a ocorrência das queimadas, estando este fortemente relacionado a processos de desflorestamento.





**Figura 1.** Mapas dos focos de calor e desflorestamento por quadrícula no Estado de Mato Grosso, espacializados por krigagem de 2001 a 2005. Focos de calor a) 2001, c) 2002, e) 2003, g) 2004, i) 2005. Desflorestamento b) 2001, d) 2002, f) 2003, h) 2004, j) 2005.

De acordo com os mapas da Figura 1, observa-se também o pico de focos de queimada e de desflorestamento em 2003 e 2004 (Figuras 1.e 1.f e 1.h), como verificado nos valores médios da Tabela 1. Manchas com valores altos e de maiores alcances são observadas nos mapas de desflorestamento em 2003 e 2004, enquanto para as queimadas isto é observado principalmente em 2003. Esta correlação espacial e temporal encontrada indica que os fenômenos, de queimada e de desflorestamento, são complementares e por isso não devem ser tratados e analisados separadamente.

## Conclusões

Houve crescimento dos focos de calor e das áreas desflorestadas de 2001 até 2004, com reduções em 2001 e 2005. A correlação foi significativa para queimadas e desflorestamentos em 2003 e em 2004 indicando que os focos de calor identificados são fortemente associados a processos de desflorestamento para o mesmo ano, principalmente para anos com maiores ocorrências destes fenômenos.

A dinâmica espaço-temporal de ocorrência de queimadas e desflorestamento não foi aleatória e apresentou um padrão espacial e temporal bem definido, existindo dependência espacial para os dados de focos de calor e desflorestamento de 2001 a 2005. A região crítica do Estado foi o Centro-Norte, pois foi a região com maior participação tanto das queimadas quanto do desflorestamento em Mato Grosso.

A correlação e a dinâmica espacial e temporal encontradas indicam ser fundamental a integração das informações disponibilizadas quanto ao monitoramento de queimadas e ao monitoramento dos desflorestamentos, na definição de políticas públicas que tenham como objetivo alterar o estado crônico de ocorrência de qualquer um desses dois fenômenos complementares e espacialmente dependentes.

## Referências Bibliográficas

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; McGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. C. V.; SOARES FILHO, B. S. **Desflorestamento na Amazônia indo além da "emergência crônica"**. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2004. 85 p.

BECKER, B. K. **Síntese do processo de ocupação da Amazônia – lições do passado e desafios do presente**. In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Causas e dinâmica do desflorestamento na Amazônia. Brasília, 2001. p. 5-28.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D. M.; SOARES, J. V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. 2006. In: PRODES: banco de dados. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 25 out. 2008.

COUTINHO, A. C. **Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local**. São Paulo: USP, 2005. Originalmente apresentada como tese de Doutorado na Universidade de São Paulo, Ciências Ambiental – PROCAM, 2005, 308p.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004, 209p.

GOMES, M. P.; NEPOMUCENO, A. M. Análise comparativa entre os dados gerados pelos sistemas de detecção de desflorestamentos para a Amazônia: SIAD e DETER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis. **Anais...** [São José dos Campos]: INPE, 2007. p. 6763-6770

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 2003, 483 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; LOURENÇÃO, A. L. Spatial distribution of *Pseudaletia sequax* Franclemont in triticale under no-till. **Revista Scientia Agricola**. v.63, n.4, p.321-327, 2006

MARGULIS, S. **Causas do desflorestamento da Amazônia brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2004. 80 p.

SETZER, A. W. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. **Climanálise**, São José dos Campos, MCT – INPE, v.7, n.8, p. 41-263, 1992.

SOUZA JUNIOR, C. S.; VERISSIMO, A.; MICOL, L.; GUIMARÃES, S. **Boletim Transparência Florestal. Estado do Mato Grosso**. IMAZON, 2006, 8p. (Boletim n.1)

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.

## Comunicado Técnico, 25



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,  
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Monitoramento por Satélite**  
Endereço: Av. Soldado Passarinho, 303  
Fazenda Chapadão  
CEP 13070 115 Campinas-SP, BRASIL  
Telefone: (19) 3211 6200  
Fax:(19) 3211 6222  
sac@cnpm.embrapa.br  
<http://www.cnpm.embrapa.br>

## Comitê de Publicações

**Presidente:** *José Roberto Miranda*  
**Secretária:** *Shirley Soares da Silva*  
**Membros:** *Adriana Vieira de Camargo de Moraes, André Luiz dos Santos Furtado, Carlos Alberto de Carvalho, Carlos Fernando Quartaroli, Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues, Graziella Galinari, Gustavo Souza Valladares, Mateus Batistella, Meire Volotão Stephano.*

1ª edição  
1ª impressão (2008: 50 exemplares)  
Fotografias: Arquivo do Centro