

O uso do Sensoriamento Remoto e da Estatística de Varredura (*Scan*) na detecção e quantificação em significância de agrupamentos de desmatamento no sul da Amazônia

Julierme Gonçalves Pinheiro¹
Carlos Antônio Oliveira Vieira¹
Nerilson Terra Santos²
Antônio Alcirley da Silva Balieiro³

¹Universidade Federal de Viçosa - UFV
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil
Setor de Engenharia de Agrimensura
Campus Universitário – 36570-000 – Viçosa – MG, Brasil
{Julierme Gonçalves Pinheiro} juliermeufv@hotmail.com
{Carlos Antônio Oliveira Vieira} carlos.vieira@ufv.br

²Universidade Federal de Viçosa - UFV
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Informática
Setor de Estatística
Campus Universitário – 36570-000 – Viçosa – MG, Brasil
{Nerilson Terra Santos} nsantos@ufv.br

³Fundação de Vigilância em Saúde do Estado Amazonas - FVS/AM
Av. André Araújo nº 701 - Aleixo, CEP. 69.060-001 - Manaus - Amazonas, Brasil
{Antônio Alcirley da Silva Balieiro} alcirley@gmail.com

Abstract. This work introduces a potential link between the techniques of Remote Sensing and the Statistic Scan that was developed by Martin Kulldorff (KULLDORFF, 1997). The Remote Sensing and the Statistic Scan working together provide a powerful technique to find significant clusters of deforestation. Many works such as: Fragmentation on Continental United States Forests (RIITTERS et al., 2002) have been concerned about locating the deforestation areas, but they have not focusing on the possible chance to find significant clusters of deforestation. In contrast, this work's purpose goes beyond the concern about just locating deforestation area. It also focuses on the potential chance to find cluster of deforestation. These clusters are found through the Statistic Scan that was first developed to find clusters of epidemic diseases. This work was capable to find nine significant clusters of deforestation for the year of 2004; eleven significant clusters of deforestation for the year of 2005; nine significant clusters of deforestation for the year of 2006; and thirteen significant clusters of deforestation for the year of 2007. These results show the growth of deforestation in the Amazonas State and can be used by governmental forest inspectors and researchers that have been concerned about the sustainable biodiversity management.

Keywords: Remote Sensing and Statistic Scan

1. Introdução

A Floresta Amazônica é uma reserva ecológica que vem sendo desmatada ano após ano. Os danos causados a cobertura florestal e a biodiversidade da Amazônia vêm introduzindo mudanças nos ciclos hidrológicos, alterando ecossistemas e destruindo espécies. Esses danos a floresta, estão também associados à rápida expansão do desmatamento; no entanto, um avanço no monitoramento e mapeamento

de áreas exploradas têm se tornado uma emergência devido aos ricos de vida que animais e plantas estão sujeitos, podendo ocasionar a extinção da Floresta Amazônica. Portanto, faz-se necessário o estudo de tecnologias que possam fornecer dados precisos sobre mudanças no uso e ocupação do solo, em períodos mais curto possível.

O Sensoriamento Remoto tem se tornado uma ferramenta fundamental no mapeamento e monitoramento de mudanças ocorridas na cobertura do solo. Dentro dos vários trabalhos já realizados por pesquisadores interessados no monitoramento de cobertura do solo alterada por fatores antrópicos e naturais, percebe-se uma grande preocupação em determinar a localização dessas coberturas afetadas e tomadas como alvo de estudo. Por exemplo, Anderson (2005) trabalhou na detecção de mudanças na cobertura vegetal e uso da terra, devido à fenologia e as atividades de desmatamento e queimadas, a partir de dados multitemporais do sensor MODIS. A análise de agrupamento será desenvolvida a partir da metodologia de análise espacial, a estatística de varredura (*Scan*), desenvolvido por Martin Kulldorff (KULLDORFF, 1997). As análises serão realizadas utilizando o *software* Satscan que é um *software* livre e puramente estatístico que foi inicialmente desenvolvido para detectar a concentração geográfica de doenças epidêmicas. Dentro deste contexto, este artigo tem o objetivo apresentar o potencial das técnicas do Sensoriamento Remoto e da Estatística de Varredura (*Scan*) para determinar áreas que formam agrupamentos de casos de desmatamento, podendo esses ser considerados alertas de onde se encontra as florestas de maior risco no Sul da Amazônia e alertas de áreas que necessitam uma urgente investigação da causa e do delineamento da expansão do desmatamento.

2. Materiais

2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende a região Sul da Amazônia localizada entre 67°53'46" a 61°02'21" de latitude sul e entre 10°12'10" a 05°03'34" de longitude oeste. Três grandes municípios pertencentes à região de estudo: Lábrea, Canutama e Humaitá (Figura 1) foram tomados como foco de análise devido à grande ocorrência de desmatamento nesta área.

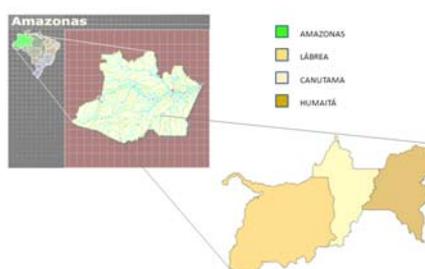


Figura 1 – Área de Estudo

2.2. Imagens

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas as bandas 1 e 2 com resolução espectral de 620 – 670 nm e 841 – 876 nm respectivamente, com resolução espacial de 250m; as bandas de 3 a 7 com resolução espectral de 459 – 479 nm, 545 – 565 nm, 1230 – 1250 nm e 1628 – 1652 nm 2105 – 2155 nm respectivamente, com

resolução espacial de 500m do sensor MODIS. Foram utilizadas quatro imagens fornecidas pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais reamostradas para a resolução espacial de 500m.

2.3. Softwares utilizados

O *software* Arcview Gis foi utilizado para separação dos polígonos que constituem setores censitários do tipo *shape* que antes faziam parte de uma única malha de polígonos que delimitavam os municípios de Lábrea, Canutama e Humaitá. O centróide de cada polígono foi calculado no Arcgis. O *software* Idrisi foi utilizado para a classificação das imagens utilizando os algoritmos: Redes Neurais e Maxver. E o *software* Satscan foi utilizado para detectar agrupamentos significativos de desmatamento dentro da área de estudo. O editor de texto *Notebook* foi utilizado para gerar os arquivos de entrada para o Satscan.

4. Metodologia

4.1. Composição das imagens Modis

As imagens para os anos de 2004, 2005, 2006 e 2007 foram formadas e reamostradas para a resolução de 500m através da composição das bandas: RED – banda do Vermelho, NIR – banda do Infravermelho Próximo e MIR – banda do Infravermelho Média.

4.2. Imagens de referência

Depois que as imagens foram compostas, foram geradas as imagens de referência para os respectivos anos de 2004, 2005, 2006 e 2007 através de uma digitalização em tela. As classes informacionais em análise, referentes às amostras selecionadas, são: nuvens, desconhecido (atribuído a áreas desconhecidas), hidrovia, floresta e desmatamento. Salientando que a amostra de desmatamento é formada pela malha de polígonos já identificados pelo INPE e que podem ser obtidos gratuitamente no site: www.inpe.org/deter.

4.3. Classificação das imagens

O passo seguinte foi realizar a classificação das imagens utilizando os dois algoritmos supervisionados: Redes Neurais e Maxver. As imagens temáticas resultado da classificação Maxver e Redes Neurais estão ilustradas na Figura 2:

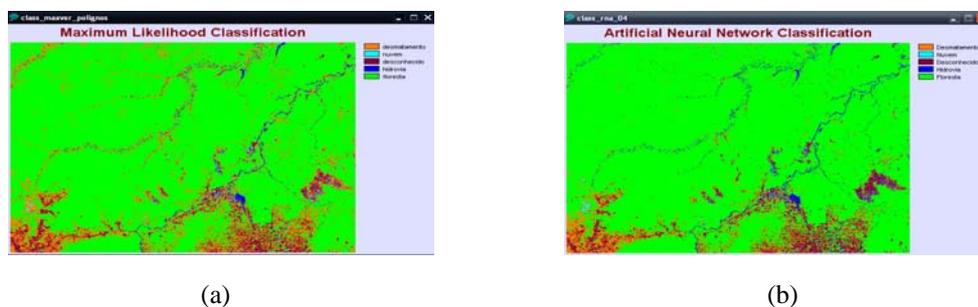


Figura 2 – Imagens Temáticas: (a) Maxver 2004 e (b) Redes Neurais 2004

4.4. Gerando o banco de dados para o Satscan

Nesta fase, foi gerado o banco de dados para o sistema Satscan, obtido a partir de uma interseção de polígonos censitários (Figura 3) pertencentes aos municípios de Lábrea, Canutama e Humaitá com as imagens classificadas utilizando a função *OVERLAY (multiply)* do *software* Idrisi.



Figura 3 – Interseção da imagem temática Maxver com polígonos censitários

4.5. A metodologia da Estatística de Varredura (*Scan*)

A Estatística de Varredura (*Scan*) é utilizada para detectar e avaliar agrupamentos com uma formação temporal, espacial e espaço-temporal. Isto é feito através de uma janela que gradualmente varre uma região para um determinado intervalo de tempo e/ou até alcançar a dimensão de uma área com base no raio de expansão predeterminado, contando o número de observações já realizadas e esperadas dentro da janela em cada região. A janela utilizada para varrer uma zona pode ser um intervalo de tempo (análise temporal), um círculo (Figura 4), uma elipse (análise espacial) ou um cilindro com uma base circular ou elíptica (análise espaço-temporal). Agrupamentos são, então, identificados para diferentes raios de varredura. Contudo, apenas alguns agrupamentos podem ser considerados de importância. Para identificar estes, para cada agrupamento, é testada a hipótese de o mesmo ter ocorrido ao acaso. O teste utilizado para esta finalidade é o da razão da verossimilhança. O agrupamento mais importante é aquele que apresenta maior razão de verossimilhança significativa supondo um nível de significância pré-estabelecido. A Estatística de Varredura (*Scan*) tem aplicação em diversas áreas, podendo também ser usado para problemas similares em outras áreas tais como, arqueologia, astronomia, botânica, criminologia, ecologia, economia, engenharia, genética, geografia, geologia, história, neurologia e zoologia (KULLDORFF, 2006). A metodologia pelo mecanismo de varredura é fundamentalmente estatística. Dada uma região S . N_j , o número de indivíduos em risco ou população de floresta em S . C_j , o número de casos ou área de desmatamento em S . Dado também, A_j , outra região dentro de S . E c_j , número de casos ou desmatamento dentro da região A_j ; e n_j , número de população em risco ou floresta dentro da região A_j . Dado z uma área circular em torno do centróide de A_j . Z o conjunto de todas as zonas z criadas pelo método. E p , a probabilidade de indivíduos virem a ser um caso dentro de z . E q , a probabilidade de indivíduos virem a ser um caso fora de z . O teste estatístico realizado pelo mecanismo de varredura espacial lança uma hipótese $H_0: p = q$, conhecida por hipótese nula, que assume a não

existência de agrupamentos na região em estudo. E uma segunda hipótese H_1 , hipótese alternativa, é lançada, assumindo que existe uma zona z , tal que o risco é significativamente mais elevado do que na região em estudo, ou seja, a probabilidade de indivíduos virem a ser um caso dentro de z é maior do que a probabilidade de indivíduos virem a ser um caso fora de z , em outras palavras, $H_1: p > q$.

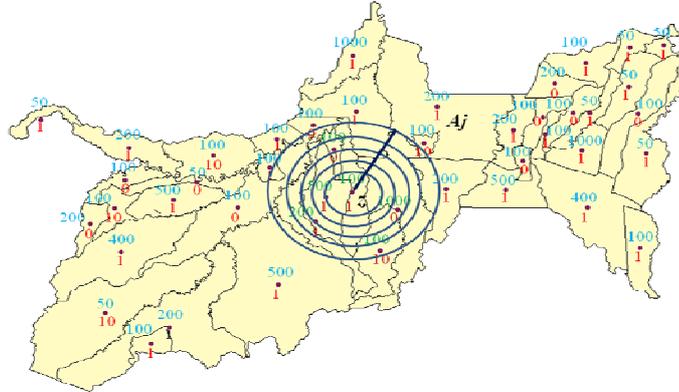


Figura 4 – Janela da Estatística de Varredura (*Scan*)

Um valor de razão de verossimilhança, λ , é calculado a partir da Equação (1):

$$\lambda = \frac{\text{Modelo sob } H_1}{\text{Modelo sob } H_0} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{\max_{Z, H_1} L(Z, p_1, \dots, p_k, q_1, \dots, q_k)}{\max_{Z, H_0} L(Z, p_1, \dots, p_k, q_1, \dots, q_k)} = \frac{\max_Z L(Z)}{L_0} \quad (1)$$

Um histograma (Figura 5) dos valores λ é gerado a partir de K simulações de Monte Carlo oriundas de combinações do número de casos observados dentro da região S , para cada aglomerado. O histograma dos valores de λ – obtidos a partir das simulações, é dividido em duas regiões: a região de rejeição e não rejeição de H_0 . Em seguida, uma análise final é feita para o valor de λ a partir dos dados reais a um nível de significância de 5%. Se o valor de λ ir dentro da região de rejeição, rejeita-se H_0 , ao contrário, se λ cair dentro da região de não rejeição de H_0 , não rejeita-se H_0 .

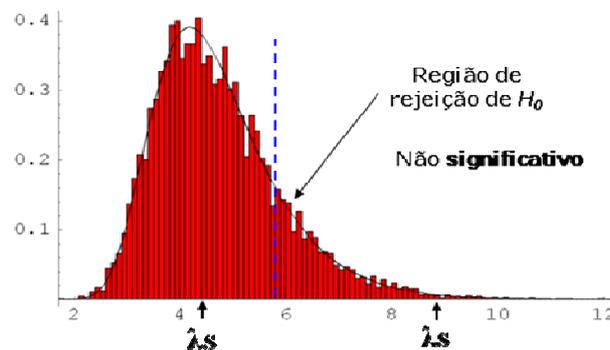


Figura 5 – Histograma gerado pelas simulações Monte Carlo – Fonte: Detecção de conglomerados dos alertas de desmatamentos no Estado do Amazonas usando estatística de varredura espaço-temporal (BALIEIRO, 2008).

5. Resultados e discussão

O sistema Satscan identificou nove agrupamentos para o ano de 2004 (Figura 6), onze agrupamentos para o ano de 2005 (Figura 7), nove agrupamentos para o ano de 2006 (Figura 8) e treze agrupamentos para o ano de 2007 (Figura 9). Todos os agrupamentos quando mapeados, seguem um mesmo padrão de espacialização para os quatro anos estudados, 2004, 2005, 2006 e 2007. Porém, o agrupamento com maior probabilidade de não ter ocorrido devido ao acaso, ou seja, o agrupamento primário, não foi o mesmo em todos os anos avaliados.

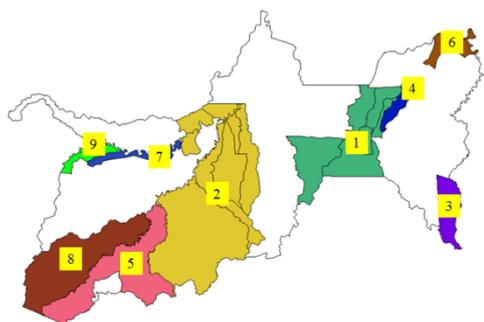


Figura 6 – Agrupamentos de desmatamento 2004

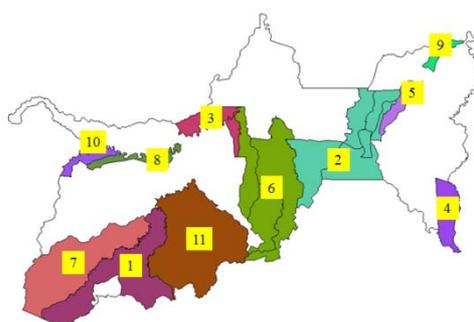


Figura 7 – Agrupamentos de desmatamento 2005

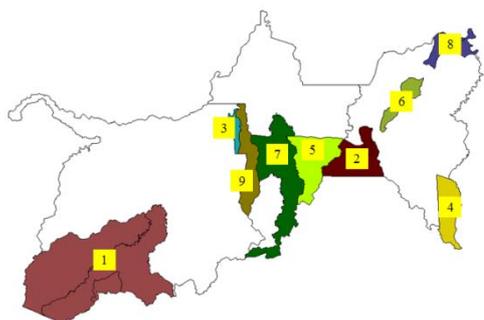


Figura 8 – Agrupamentos de desmatamento 2006

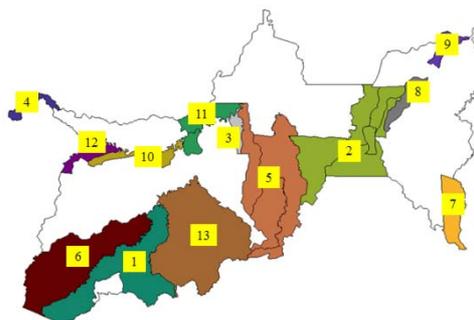


Figura 9 – Agrupamentos de desmatamento 2007

A variação do agrupamento de maior probabilidade de um ano para outro ocorreu devido à própria expansão do desmatamento que é registrada a partir dos dados do Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia (DETER) que atualiza o banco de dados de desmatamento num período muito curto. Qualquer expansão de desmatamento que ocorre num polígono já existente, o DETER registra esta variação, ocasionando a oscilação do agrupamento de maior probabilidade de um ano para outro. O uso dos polígonos de desmatamento já registrados pelo DETER como amostra da imagem de referência foi uma técnica que favoreceu o uso das Imagens MODIS, pois permitiu uma maior consistência na seleção das demais amostras de treinamento que, por conseguinte possibilitou uma classificação das imagens mais precisa.

6. Conclusões

Depois de analisados os resultados, podem-se concluir que foram aceitas as hipóteses: de ser possível identificar áreas desmatadas com o uso do Sensoriamento Remoto e a de ser possível identificar e quantificar agrupamentos de desmatamento mais importantes usando Estatística de Varredura (*Scan*).

Através dos experimentos foi possível encontrar nove, onze, nove e treze agrupamentos de desflorestamentos para os anos de 2004, 2005, 2006 e 2007, respectivamente.

O número de agrupamentos de desmatamento identificados mostra a eficiência das técnicas de Sensoriamento Remoto no monitoramento de cobertura de solo, pois foi através dessas classificações que o banco de dados para o Satscan foi montado. Sendo, portanto recomendadas sempre que fizer necessário.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Pesquisador Yosio Edemir Shimabukuro e sua equipe do INPE pelas imagens MODIS gentilmente concedidas.

8. Referências bibliográficas

- ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura do Estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do Sensor Modis**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2004.
- BALIEIRO, A. A. S. **Detecção de conglomerados dos alertas de desmatamentos no Estado do Amazonas usando estatística de varredura espaço-temporal**. Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- CONGALTON, R. G.; GREEN K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999.
- DUARTE, V. *et al.* **Monitoramento de desflorestamento em escala global: uma proposta baseada nos projetos Prodes digital e Deter**. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21 – 26 abril 2007, INPE, p. 6687 – 6694.
- ESPINHOSA, M. C.; GALO M. L. B. T. **Uma Aplicação de Redes Neurais Artificiais e Sensoriamento Remoto Na Detecção de Macrófitas Emersas em Grandes Reservatórios**. Universidade Estadual Paulista, 2003. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte, 2003.
- FEIBELMAN, S. D. *Exploratory Spatial Analysis of Infant Mortality: Sudden Infant Death Syndrome and Infant Homicides between 1999 and 2003 in Shelby County, Tennessee*. The University of Memphis May 2007. Disponível em: < <http://www.urisa.org/files/SFeibelman.pdf> > Acesso em: 09 de Setembro de 2008
- FILHO, C. C. B. *et al.* **Conglomerados de homicídios e o tráfico de drogas em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, de 1995 a 1999**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro. v.17, n.5, 2001. p. 1163 – 1171
- KAMPEL, S. A. *et al.* **Análise exploratória das relações espaciais do desflorestamento na Amazônia Legal brasileira**. In: Anais Gisbrasil, Salvador, Brasil, 2000.
- KULLDORFF, M. **Satscan Users Guide**, 2006. Disponível em: http://www.satscan.org/cgi-bin/satscan/register.pl/SaTScan_Users_Guide.pdf?todo=process_userguide_download . Acesso em: 05 de Agosto de 2008
- KUPLICH, T. M. *et al.* **Mosaico do desmatamento no Estado do Acre em 1985**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16 – 21 abril 2005, INPE, p. 1577 – 1583.
- PELLEGRINI, D. C. P. **Análise Espaço-Temporal da Leptospirose no Município Do Rio de Janeiro (1995-1999)**. Escola Nacional de Saúde Pública, Março de 2002.
- RIITERS, K. H. *Fragmentation on Continental United States Forests*. Department of Forestry, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA, 2002.
- TRANCOSO, R. *et al.* **Padrões de desflorestamento na Amazônia Legal: diferenças espaciais e temporais das mudanças na cobertura da terra**. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21 – 26 abril 2007, INPE, p. 3187 – 3194.
- VIEIRA, C. A. O. **Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study**. 2000. 327p. Thesis (Doctor of Philosophy). University of Nottingham, 2000.