

## LOCALIZAÇÃO DE DESMATAMENTOS E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO SEU PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO

Daniel Dias de Andrade<sup>1</sup>, João dos Santos Vila da Silva<sup>2</sup>, Edson Antonio Mengatto Junior<sup>3</sup>, João Luis dos Santos<sup>4</sup>, Vera Aparecida Figueiredo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Geografia. Embrapa Informática Agropecuária. diasandrade.daniel@gmail.com<sup>1</sup>

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia Agrícola. Embrapa Informática Agropecuária. joão.vila@embrapa.br

<sup>3</sup>Doutorando em Geografia. Embrapa Informática Agropecuária. mengattogeo@gmail.com

<sup>4</sup>Analista de Sistemas. Embrapa Informática Agropecuária. jluis\_santos@terra.com

<sup>5</sup>Mestranda em Eng. Elétrica. Embrapa Informática Agropecuária.vera.aparecida@gmail.com

### RESUMO

Purus é a Sub-Região que mais se integra ao restante da Amazônia, em grande parte pela presença de rodovias, e também onde são vistos os maiores desmates da região. O presente trabalho pretende demonstrar o uso de operações estatísticas baseadas em distância, que são a base para a Análise Espacial e para a tomada de decisão dentro de um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A ferramenta “Relatório” integrante do Sistema Interativo de Análise Geoespacial da Amazônia Legal (SIAGEO Amazônia) foi desenvolvida para disponibilizar informações locais a partir da comparação entre uma feição de interesse do usuário e os mapeamentos que compõe a base de dados geográficos do sistema. O relatório identificou em um raio de até 15 quilômetros os polígonos de desmatamento conforme a localização da feição submetida, um ponto aleatório em um cruzamento da Rodovia BR 319 (Transamazônica) no município de Canutama - AM. O padrão da distribuição das ocorrências de áreas desmatadas inscritas em um raio de análise foi calculado para cada ano de levantamento presente no banco de dados do SIAGEO através do método da Distância Média ao Vizinho Mais Próximo. Na grande maioria dos anos utilizados na análise, o valor de “R” indicou que é nula a possibilidade de que os padrões espaciais de distribuição observados reflitam o padrão aleatório hipotético.

**Palavras-chave:** Análise Espacial. Distância. Análise de padrão de pontos.

**Área de Interesse do Simpósio:** Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

## 1. INTRODUÇÃO

Ao sul da Sub-Região do Rio Purus, no Amazonas, estão localizadas as maiores aglomerações populacionais e com melhores infraestruturas da região, com economia voltada principalmente para a pecuária. É também onde são vistos os maiores desmates da região, estimulados inicialmente na década de 70 pela política de ocupação do Governo Federal. O cenário é atribuído à mudanças de Políticas de Governo, ausência de regularização fundiária e ambiental adequada e à deficiência de tecnologias de produção apropriadas, favorecendo o avanço da atividade madeireira ilegal (AMAZONAS, 2011).

Purus é a Sub-Região que mais se integra ao restante da Amazônia e, principalmente, ao centro-sul do país. Tal integração ocorre pela presença de rodovias, a chamada Transamazônica, com destaque para a BR-230, BR-319, BR-364 e a BR-317. A proporção do desmatamento como função da distância das estradas na Amazônia Legal tem, normalmente, padrões exponenciais. Quanto mais próximo à rodovia, maior a intensidade e a diversificação do uso. (AMAZONAS, 2011).

As operações estatísticas baseadas em distância são tipos de descrição de padrões que utilizam uma abordagem espacial, nas quais, tomando-se cada ponto por sua vez, através da medição ou do cálculo da distância, o mais próximo a ele é encontrado. Para um trabalho preciso, é mais seguro calcular as distâncias entre as coordenadas de cada ponto (UNWIN, 1981).

Adicionalmente, a análise de processos pontuais tem por finalidade compreender o mecanismo gerador de uma distribuição, onde a localização dos pontos irregularmente distribuídos em um terreno é o objeto de estudo, e esta localização deve ter sido gerada por um mecanismo estocástico.

De acordo com Câmara (2004), se um padrão de eventos pontuais apresentar desvios significativos do comportamento esperado para um distribuição de Poisson (na qual o valor da média é distante do valor da moda), isto indica a existência de uma distribuição espacial diferente da completa aleatoriedade.

Com a finalidade de reproduzir a variabilidade espacial de uma superfície através de representações do modelo de função aleatória, é necessário definir a hipótese de que o processo estocástico seja estacionário de segunda ordem, ou seja, um processo cuja média é constante no espaço e cuja covariância dependa apenas do vetor distância entre as amostras - ou da estrutura de vizinhança entre elas (CÂMARA, 2004). Ainda segundo Câmara (2004, p.57):

“Os efeitos de primeira ordem, considerados globais ou de larga escala, correspondem a variações no valor médio do processo no espaço. Neste caso, estamos interessados na intensidade do processo, isto é, no número de eventos por unidade de área. Efeitos de segunda ordem, denominados locais ou de pequena escala, representam a dependência espacial no processo, proveniente da estrutura de correlação espacial. Para medir a dependência espacial, procuramos estimar o relacionamento entre pares de eventos (por unidade de área) no espaço, o que corresponde a uma aproximação do cálculo da covariância entre as variáveis aleatórias que representam cada evento”.

Para a análise das propriedades de segunda ordem do processo pontual, uma das técnicas mais utilizadas é a da Distância Euclidiana ao Vizinho Mais Próximo. Se tomarmos a média de todas estas distâncias, produziremos um valor que podemos usar para comparar este padrão de distribuição particular com outros padrões. Este valor depende em parte do tamanho da área em estudo e da escala das unidades de medida utilizadas.

Segundo Taylor (1977), para qualquer análise do vizinho mais próximo, temos uma distância média empírica, ou média real  $r_a$ , e podemos calcular uma distância média esperada,  $r_e$ , sob expectativas aleatórias. A diferença entre estes dois valores irá medir claramente a divergência do padrão real de distribuição dos pontos da aleatoriedade. Esta divergência pode ser expressa como uma razão simples:

$$R = r_a / r_e$$

A pontuação “0” para este índice representa uma situação em que a distância média é nula, e temos o caso limitado de um padrão agrupado. Quando  $R = 1$ , a distância média observada é igual a distância média esperada, e então, em média, um padrão aleatório é indicado. Pontuações mais altas representam vários graus de dispersão. A pontuação “2” é resultante de um padrão quadrático regular e  $R = 2,149$ , resultante de um padrão regular limitado em uma estrutura triangular. Na prática, exemplos empíricos de padrões de ponto resultam em algum lugar entre  $R = 0,33$  e  $1,67$  (TAYLOR, 1977).

Desta forma, este trabalho tem o objetivo de demonstrar o uso de operações estatísticas baseadas em distância, através da escolha de um recorte da área de mapeamento dos Desmatamentos do Estado do Amazonas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto “Uniformização do zoneamento ecológico-econômico da Amazônia Legal e integração com zoneamentos agroecológicos da região” têm como um dos objetivos a

disponibilização, em uma plataforma *WebGIS* i3Geo<sup>7</sup> denominada "Sistema Interativo de Análise Geoespacial da Amazônia Legal" (SIAGEO Amazônia)<sup>8</sup>, dos diversos mapeamentos derivados dos estudos técnicos que compuseram os Zoneamentos Ecológicos-Econômicos (ZEE) dos nove Estados que integram a Amazônia Legal.

A ferramenta "Relatório" integrante do SIAGEO Amazônia foi desenvolvida para disponibilizar informações locais a partir da comparação entre uma feição de interesse do usuário (ponto, linha ou polígono), inserida por ele, e os mapeamentos que compõe a base de dados geográficos do sistema (por exemplo: rios, limites municipais, unidades de conservação, dados socioeconômicos, etc), selecionados pelo usuário e disponíveis para a região de análise específica. No "Módulo Análise Espacial" é gerado um relatório com as distâncias, sobreposições e porcentagem entre o tema de referência e os dados geográficos do SIAGEO Amazônia.

O Programa de Monitoramento da Amazônia por Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realiza anualmente o inventário de perda de floresta primária por corte raso, quando ocorre a retirada total da cobertura florestal, por meio do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), desenvolvido desde 1988. O Sistema não detecta áreas menores que 6,25 hectares e áreas de floresta com tendência a serem convertidas à corte raso (AMAZONAS, 2011; INPE, 2013).

Elaborado a partir da base vetorial digital do PRODES (PRODES DIGITAL/INPE, 2008 apud AMAZONAS, 2008), o tema "desmatamento" é integrante da base de dados do SIAGEO Amazônia. As análises de primeira ordem foram baseadas nos métodos da Distância Euclidiana, através da identificação dos desmatamentos inscritos em um raio de 15 quilômetros em relação a um ponto aleatório - inserido no sistema para geração do relatório, posicionado no cruzamento da Rodovia BR 319 (Transamazônica) com a Estrada do São Francisco, no município de Canutama (AM), distante 55 quilômetros à norte de Porto Velho (RO). As análises de segunda ordem foram feitas para o mesmo conjunto de amostras baseadas no método da Distância Euclidiana ao Vizinho Mais Próximo.

A análise pelo método da Média pelo Vizinho Mais Próximo foi realizada em um SIG mais robusto que contém esta funcionalidade, a saber o *ArcGIS Desktop* versão 9.3. A ferramenta retornou cinco valores: Distância Média Observada, Distância Média Esperada, o

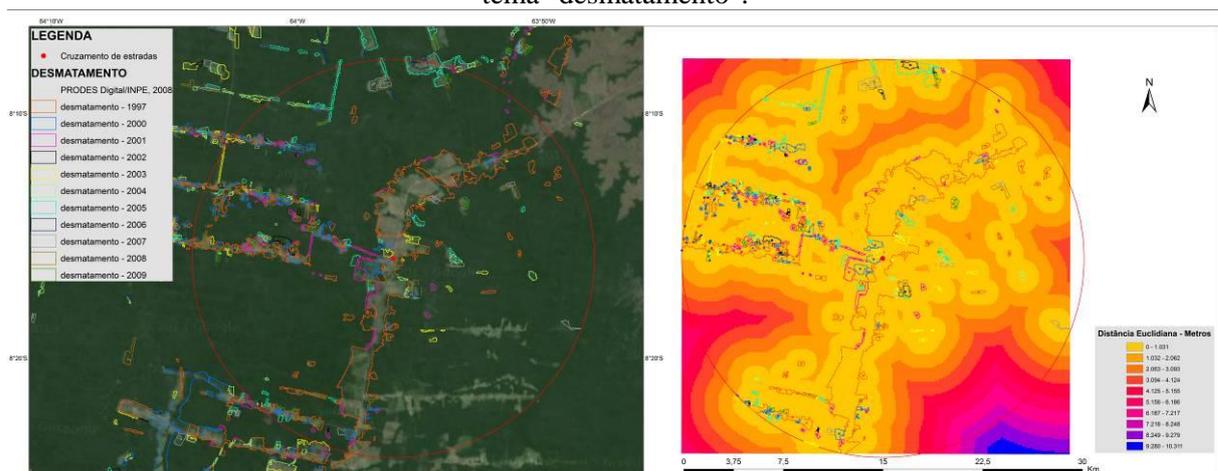
<sup>7</sup> Interface Integrada para Internet de Ferramentas de Geoprocessamento, desenvolvida pelo Ministério do Meio Ambiente, versão 5.0 SP3.

<sup>8</sup> SIAGEO Amazônia, disponível em: <<http://www.amazonia.cnptia.embrapa.br/>> Acesso em 30 de outubro de 2015.

Índice do Vizinheiro Mais Próximo (R), o corte Z e o valor p (probabilidade de que o padrão espacial observado tenha sido criado por algum processo aleatório, representado por uma hipótese nula). Os valores de corte Z nos permitem inferir as diferenças observadas são estatisticamente significativas, sendo que os valores extremos nos permitem rejeitar a hipótese nula de que os padrões observados podem ser resultado do acaso.

A localização do ponto aleatório inscrito por representação do raio de análise de 15 quilômetros, utilizado pela ferramenta "Relatório" para definição da consulta espacial, e os polígonos do tema "desmatamento", simbolizados de acordo com o ano de detecção, são mostrados na Figura 1, assim como o *raster* gerado a partir da funcionalidade "Distância Euclidiana" do ArcGIS, cujos valores das células representam o intervalo de valores de distância euclidiana de cada polígono em relação ao polígono mais próximo (Ajuda do ArcGIS Desktop versão 9.3).

Figura 1. Ponto aleatório em vermelho e polígonos de desmatamento inscritos por representação do raio de análise da ferramenta Relatório e representação da distância euclidiana entre os polígonos do tema "desmatamento".



Fonte: PRODES Digital (2008); Google Earth versão 7.1.5.1557

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que inscritos em um raio de 15 quilômetros do cruzamento utilizado para a análise, contabilizando-se os polígonos classificados como "resíduos" - áreas desflorestadas que tiveram sua detecção no PRODES em um ano diferente de sua ocorrência, foram detectadas 82 áreas de desmate em 1997, somando 6.579,56 ha, 69 áreas de desmate em 2000, somando 768,20 ha, 71 áreas de desmate em 2001, somando 546,99 ha, 10 áreas de desmate em 2002, somando 105,17 ha, 37 áreas de desmate em 2003, somando 425,96 ha, 50 áreas de desmate em 2004, somando 283,42 ha, 36 áreas de desmate em 2005, somando 747,24 ha, também 36 áreas de desmate em 2006, somando 214,30 ha, 14 áreas de desmate

em 2007, somando 274,78 ha, 24 áreas de desmate em 2008, somando 275,68 ha, e 12 áreas de desmate detectadas no ano de 2009, somando 131,82 ha.

Na análise da Distância Média ao Vizinheiro Mais Próximo, os polígonos do tema “desmatamento”, para cada um dos anos contemplados no mapeamento, tiveram a distância média de seus centróides aos centróides dos seus vizinhos mais próximos calculada, e comparadas à uma distribuição de pontos aleatória hipotética, considerando o mesmo número de pontos cobrindo a mesma área total.

A análise retornou os valores de corte de “Z” de -5,73 e de “R” de 0,67 para o ano de 1997, de -5,57 e 0,65 para o ano de 2000, de -4,94 e 0,69 para o ano de 2001, de 2,63 e 1,44 para o ano de 2002, de -4,03 e 0,65 para o ano de 2003, de -4,76 e 0,65 para o ano de 2004, de -2,08 e 0,82 para o ano de 2005, de -3,65 e 0,68 para o ano de 2006, de 1,77 e 1,25 para o ano de 2007, de -1,68 e 0,82 no ano de 2008, e de 1,05 e 0,35 no ano de 2009.

Isto posto, há uma probabilidade de menos de 1% de que nos anos de 1997, 2000, 2001, 2003, 2004, e 2006 os padrões agrupados de distribuição verificados possam ter resultado do acaso. Há uma probabilidade de 5% e de 5 à 10% de que nos anos de 2005 e 2008 respectivamente, também os padrões agrupados de distribuição verificados possam ter resultado do acaso. O ano de 2009 apresentou um padrão de distribuição aleatório, nem agrupado nem disperso, diferentemente dos anos de 2002 e 2007, com menos de 1% e de 5 à 10% de probabilidade respectivamente, de que os padrões dispersos verificados sejam resultantes do acaso.

Os dados já indicam uma menor dependência (concentração) espacial nas detecções de desmatamento dos anos de 2002, 2007 e 2009, tendo este último apresentado um padrão de distribuição aleatório. Também nestes anos em que a distribuição das ocorrências se mostrou mais dispersa que as demais, esta se deu em um menor número de amostras em comparação com os demais anos de análise e também em unidades amostrais com áreas menores em relação aos outros anos.

Os demais anos analisados e que apresentaram um padrão de distribuição mais concentrado das ocorrências de detecção de desmate em geral ocorreram em maior número de núcleos e ocupando áreas maiores, com exceção de 2005, onde comparativamente a área desmatada total apresentou-se elevada em um número não tão grande de núcleos, e de 2004, que, inversamente, apresentou uma área desflorestada menor em relação aos outros anos de análise com números de ocorrências similares.

Mesmo sem a aplicação de uma análise estatística, comparando-se o desmatamento total para cada ano de análise que compõe o estudo com as taxas de desmatamento anual para a Amazônia Legal (INPE, 2013), não há correspondência entre o desmatamento anual por corte raso ocorrido em toda a Amazônia Legal com a análise local realizada.

O fato da análise local realizada, correspondente aos efeitos de segunda ordem (CÂMARA, 2004), não corroborar a análise de larga escala do desflorestamento anual por corte raso ocorrido em toda a Amazônia Legal, pode ter se dado em parte, conforme adverte Unwin (1981), por graves efeitos de borda introduzidos em estudos onde o padrão de pontos mapeados representa meramente uma "janela", colocada sobre um padrão do mundo real. Pontos perto dos limites do mapa são forçados a encontrar vizinhos dentro da área mapeada, enquanto que no mundo real os verdadeiros vizinhos mais próximos podem estar fora do mapa.

Adicionalmente, como destaca Unwin (1981), assumirmos que uma geometria euclidiana é apropriada em determinadas análises pode causar alguns problemas. Medidas de distância entre dois pontos em linha reta podem não fornecer melhor entendimento em comparação com análises feitas através da reafirmação da distância como custo, tempo, ou mesmo distância percebida, que não são suscetíveis de serem euclidianas. Pode-se também, por exemplo, estar-se interessado na distância rodoviária, na distância à um rio, e assim por diante.

Também como adverte Gatrell (1983), quando nos referimos a uma "relação", estamos prevendo muitas maneiras em que a separação espacial dos objetos pode ser descrita. Existe um número quase infinito de relações definidas em conjuntos de objetos, onde a distância física é apenas uma delas. Estas nem sempre irão produzir uma representação gráfica ou visual.

Na prática, conforme discorre Taylor (1977), qualquer que seja o fenômeno em estudo, reproduções de padrões empíricos são muitos, e os padrões resultantes são muito mais complexos do que os simples caso limite em cada extremidade da escala  $R$ . Mesmo quando o processo dominante é contágioso ou competitivo, o padrão resultante pode tender apenas em direção a uma posição limite ao longo da escala  $R$ .

Muitos são os fatores que favoreceram um padrão regular de distribuição de pontos no território, como o relevo, a divisão das terras, a presença de sistema de transportes e serviços, etc. O padrão aleatório normalmente indica uma distribuição e uma densidade diferente dos padrões de distribuições geográficas, cujas diferenciações e descontinuidades do território se dão também pelo fator distância, acesso e dependência espacial entre os objetos.

Considerando as particularidades descritas acima, na grande maioria dos anos de análise, o valor de “R” indica que é nula a possibilidade de que os padrões espaciais observados reflitam o padrão aleatório hipotético, representado por suas hipóteses nulas. Portanto, rejeita-se as hipóteses  $H_0$  ao nível de confiança de 95% para 9 dos 11 períodos analisados.

#### 4. CONCLUSÕES

Considerando o objetivo de demonstrar operações estatísticas baseadas em distância utilizadas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas com fins de identificação e análise do padrão de distribuição das áreas de desmate, detectadas em um raio de 15 quilômetros a partir de um ponto aleatório, a ferramenta obteve êxito na execução.

O módulo de análise espacial é passível de customização em relação aos atributos do banco de dados que são exibidos no relatório, possibilitando análises distintas entre os diferentes dados levantados em cada um dos mais de 600 mapeamentos temáticos disponibilizados.

Um dos desafios postos na elaboração e implementação de políticas de proteção, conservação e manejo sustentável do meio e dos recursos naturais na Amazônia é o de garantir a consolidação da fronteira agrícola já aberta, com estímulos à regularização ambiental e fundiária, e com isso impedir a abertura de novas frentes de ocupação e desflorestamentos.

Reconhecer o padrão de distribuição e difusão no espaço das áreas desmatadas constitui uma contribuição na análise do meio e nas diversas etapas dos processos de tomada de decisão e execução de políticas públicas.

#### REFERÊNCIAS

AMAZONAS. Governo do Estado. **Zoneamento Ecológico Econômico Sub-Região do Purus**. Relatório Executivo / Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Manaus: SDS, 2011. 452 p.

AMAZONAS. Governo do Estado. MACROZEE.. **Macrozoneamento econômico-ecológico do Estado do Amazonas**. Resumo Executivo. SDS, Junho 2008. 78 p.

CÂMARA, G. & CARVALHO, M.. Análise Espacial de Eventos. In: Suzana Fucks; Marília Sa Carvalho; Gilberto Câmara; Antônio Miguel Monteiro. (Org.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMPRAPA, 2004. p. 55-78.

GATRELL, A.. Spatial analysis: a critical perspective (Cap. 1). In: A. Gatrell, **Distance and Space**. Oxford, Clarendon Press, 1983.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos, outubro de 2013. Disponível em: <[http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia\\_TaxaProdes.pdf](http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia_TaxaProdes.pdf)>. Acesso em 26/10/2015.

MENGATTO JUNIOR, E. A.; ANARUMA FILHO, F.; SANTOS, J. L. dos.; SILVA, J. dos S. V. da.; POSSAN, L. H. J. Qualidade de metadados na elaboração de banco de dados em ambiente SIG para disponibilização via web. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., 2015, João Pessoa, PB. **Anais** 17º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 4503-4510.

POSSAN, L. H. J.; SANTOS, J. L. dos.; SILVA, J. dos S. V. da. Uma ferramenta de análise espacial e geração de relatórios dinâmicos para auxílio à gestão ambiental. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 5., 2014, Campo Grande, MS. **Anais** 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. São José dos Campos: INPE, 2014. p. 905-914. 1 CD-ROM. ISBN 978-85-17-00069-0.

TAYLOR, P. J.. The spacing approach. In: P.J. Taylor – **Quantitative methods in geography**. Boston, Houghton Mifflin Co., 1977. p. 156-174.

UNWIN, D.. Point on maps. In: D. Unwin – **Introductory spatial analysis**. London, Methuen, 1981. p. 29-65.