

## FOCOS DE CALOR E OS PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURACOBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUDOESTE PARAENSE

*Nathália Silva de Carvalho*<sup>1</sup>, *Maria Isabel Sobral Escada*<sup>1</sup>, *Liana Oighenstein Anderson*<sup>2</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1758 – Jardim da Granja, São José dos Campos – SP, 12227-010, Brazil;

<sup>1</sup>{nathalia.carvalho, isabel}@dpi.inpe.br; <sup>2</sup>liana.anderson@cemaden.gov.br

### RESUMO

A Amazônia é uma das regiões do planeta mais vulneráveis ao fogo e tem apresentado, nas últimas décadas, grande incidência de fogo devido ao uso desta prática para o manejo de áreas de pasto e agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre a ocorrência de focos de calor e os padrões de mudança de uso e cobertura da terra, no município de Novo Progresso. O produto MODIS/MS14ML foi utilizado para identificação dos focos de calor. Para a identificação dos padrões de uso e cobertura da terra, foram utilizados os dados do Projeto TerraClass, sendo aplicadas técnicas de mineração de dados. Os resultados evidenciaram relação entre a incidência de focos de calor e o padrão geométrico, associado a grandes fazendas, que se concentram principalmente ao longo da BR-163. A maior incidência de focos de calor foi associada a padrões com estágios avançados de uso e cobertura da terra.

**Palavras-chave** — desmatamento, degradação florestal, processamento digital de imagem, métricas da paisagem, florestas tropicais.

### ABSTRACT

*The Amazon is one of the most vulnerable regions to fire events in the world and has presented, in the last decades, a great incidence of fire due to the use of this practice for management of pasture and agriculture lands. The objective of this study was to evaluate the relationship between active fire and the patterns of land use and cover, in the municipality of Novo Progresso. We used the product MODIS/MS14ML to identify active fire. To identify the patterns of land use and cover change, we used the data from TerraClass Project and we applied techniques of data mining. The results showed a relationship between the incidence of active fire and the geometric pattern, associated with big farms, which were concentrated mainly along the BR-163 road. The highest incidence of active fire was associated with patterns which had advanced stages of land use change.*

**Key words** — deforestation, forest degradation, image digital processing, landscape metrics, tropical forest.

### 1. INTRODUÇÃO

Em uma escala global, as florestas tropicais correspondem aos domínios que apresentaram a maior proporção de redução florestal na última década [1]. Considerando a importância destes ecossistemas para a regulação climática, estabilidade de ciclos biogeoquímicos e serviços ecossistêmicos [2], o monitoramento destes ecossistemas é fundamental para identificar e quantificar as mudanças na cobertura florestal.

O uso do fogo para o manejo da terra consiste em uma das principais atividades antrópicas que têm levado ao empobrecimento das florestas tropicais [3]. [4] integraram dados sobre valores socioeconômicos, prestação de serviços ecossistêmicos e valores ecológicos da biodiversidade, e concluíram que a Bacia Amazônica é uma das regiões do planeta que apresenta maior vulnerabilidade ao fogo. Atualmente, a prática frequente da queima nesta região tem principalmente o intuito de reduzir os custos da limpeza de áreas e, portanto, da produção agropecuária [3].

Em um contexto ambiental, o fogo pode afetar a prestação de serviços ecossistêmicos, como o fornecimento de água, alimento, qualidade do solo, absorção de CO<sub>2</sub>, entre outros serviços [4]. Quanto ao valor ecológico, o fogo pode afetar os ecossistemas reduzindo áreas de habitat e interferindo na conservação da biodiversidade [4]. Já em um contexto de impactos ambientais globais, a alteração no uso e cobertura da terra devido ao uso do fogo é responsável pela emissão de gases do efeito estufa como o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), os quais são liberados durante diferentes estágios da queima da biomassa vegetal [5].

Na Amazônia os padrões de uso e cobertura da terra estão relacionados principalmente aos diferentes tipos de atividades humanas desenvolvidas na região [7]. Assim, os dados de sensoriamento remoto podem auxiliar na identificação de padrões associados as mudanças no uso e cobertura da terra. Além disso, a análise destes padrões ao longo do tempo, permite estabelecer e compreender trajetórias do uso e cobertura da terra, permitindo compreender as dinâmicas e os principais fatores relacionados com essas mudanças.

O uso de grades celulares para a análise dos padrões de uso e cobertura da terra permite que métricas sejam utilizadas para a caracterização da paisagem e que mudanças possam ser analisadas em uma unidade de área que não se modifica ao longo do tempo. Técnicas de mineração de dados podem ser aplicadas ao conjunto de objetos delimitados pelas

células, a partir da extração de medidas relativas aos seus atributos espaciais. A partir deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre a ocorrência de focos de calor e os padrões espaço-temporais de mudança de uso e cobertura da terra no período de 2004 a 2012, no município de Novo Progresso, no sudoeste do Pará.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na porção sudoeste do Pará, compreendendo o município de Novo Progresso, que apresenta uma área de 38.000 km<sup>2</sup> [8] (Figura 1).

A vegetação predominante consiste nas formações de Floresta Ombrófila Densa, e o clima é quente e úmido com estações bem definidas, sendo o período chuvoso entre janeiro e julho e, o período de seca, entre agosto e dezembro. O município está inserido no Distrito Florestal Sustentável (DFS) da rodovia BR-163, conceituado como um complexo geoeconômico e social que foi criado para o desenvolvimento de atividades baseadas no uso sustentável dos recursos florestais. Entretanto, é o setor agropecuário que apresenta uma importante participação no PIB de Novo Progresso [8], o qual representa 31% do total.

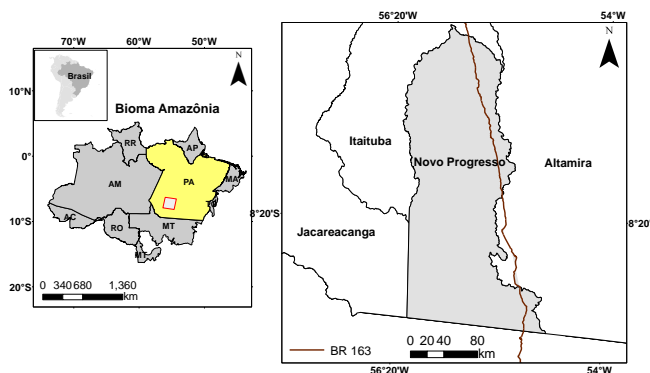


Figura 1. Área de estudo localizada no sudoeste do Pará, compreendendo o município de Novo Progresso.

### 2.2 Aquisição de dados

Os dados de focos de calor foram obtidos a partir do sistema *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS), sendo utilizado o produto MCD14ML da Coleção 6, registrado a partir sensor MODIS, o qual está a bordo dos satélites Terra e Aqua. Os focos de calor são registrados com uma frequência diária, considerando uma resolução espacial de 1km. Para cada ano avaliado foram utilizados apenas os registros de focos de calor com um nível de confiabilidade superior a 80%.

Também foi utilizado o mapeamento do uso e cobertura da terra do projeto TerraClass, o qual tem o objetivo de qualificar o desflorestamento na Amazônia Legal [9]. Para

cada ano avaliado foram obtidos os mapeamentos de Novo Progresso, referente às cenas Landsat órbita/ponto 226/66, 226/67, 227/64, 227/65, 227/66, 227/67, 228/64 e 228/65. O mapeamento do TerraClass inclui 12 classes de uso e cobertura da terra, contudo considerando os objetivos deste trabalho, estas foram reclassificadas para floresta (áreas de floresta primária e floresta secundária) e outros usos (a qual inclui as classes de hidrografia, pastagem, mineração, mosaico de ocupações, outros e área não observada).

### 2.3 Relação entre os focos de calor e os padrões de uso e cobertura da terra

A relação entre a ocorrência de focos de calor e os padrões de uso e cobertura da terra foi analisada para os anos de 2004, 2008 e 2012.

Conforme proposto por [7], foram identificados os seguintes padrões de uso e cobertura em Novo Progresso: consolidado, difuso, espinha-de-peixe, floresta, geométrico, linear e multidirecional (Figura 2). Para a classificação destes padrões foram aplicadas técnicas de mineração de dados espaciais, utilizando o software *Geographic Data Mining Analyst* (GeoDMA), [10]. Inicialmente, foi gerada uma grade celular de 10 km para o município, sobre as quais foram extraídas métricas da paisagem considerando as características das classes de uso e cobertura do solo definidas anteriormente. Em seguida, foram selecionadas amostras de treinamento para os padrões de uso e cobertura da terra, para treinamento do algoritmo de árvore de decisão C 4.5. Para gerar a classificação, este algoritmo utiliza métricas da paisagem como atributos para a definição de limiares, que permitem distinguir diferentes classes de padrões de uso e cobertura da terra, apresentados na Figura 2.

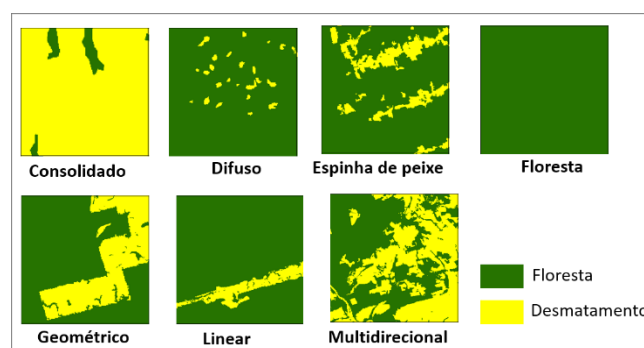


Figura 2. Padrões de uso e cobertura da terra identificados no município de Novo Progresso.

Para a análise que relaciona focos de calor com padrões, foram utilizadas apenas as células que apresentaram pelo menos um foco de calor. Esta abordagem foi utilizada para caracterizar a relação entre a incidência de focos de calor e os padrões de uso e cobertura da terra. Em seguida, foi utilizado o Índice de Moran Local [11] para identificar a distribuição espacial dos focos de calor existentes em cada célula. Este índice avalia a correlação espacial local, explorando o grau

de dependência espacial a partir da análise da covariância entre uma entidade geográfica e sua respectiva vizinhança [11]. Um índice positivo sugere a existência de *clusters*, os quais podem ser formados por entidades geográficas que possuem atributos com valores altos ou baixos, circundadas por vizinhos com atributos que possuem valores altos ou baixos semelhantes. Um índice negativo, indica a existência de *outliers*, que podem ser formados por entidades geográficas que possuem atributos com valores altos ou baixos, circundadas por vizinhos que possuem atributos com valores distintos [11]. Neste trabalho, o Índice de Moran Local foi utilizado para identificar a existência de *clusters* formados por células com alta incidência de focos de calor circundadas por células com este mesmo comportamento. Em seguida, foi feita uma relação destes *clusters* com os padrões de uso e cobertura da terra identificados em cada célula.

Para as células que apresentaram focos de calor nos três períodos analisados também foi feita a análise da trajetória das mudanças de padrões de uso e cobertura da terra ao longo dos anos 2004, 2008 e 2012.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A contagem das células que apresentaram pelo menos um foco de calor, evidenciou que entre 2004 e 2012 houve um aumento de 50% na ocorrência de focos em células com o padrão multidirecional (Figura 3a). Além disso, para o ano de 2004 também é evidente a alta ocorrência de células dos padrões difuso e linear, com uma posterior queda de cerca de 70% em 2012, para ambos. Para os três períodos avaliados, o padrão geométrico apresentou o maior número de células com ocorrência de focos de calor, correspondendo a mais de 40% do total. O padrão geométrico também foi o que apresentou a maior incidência de focos de calor (Figura 3b). Neste caso, o número de focos representou cerca de 60%, 48% e 41% do total de registros observados em cada padrão de uso e cobertura da terra nos anos 2004, 2008 e 2012, respectivamente.

Em relação a distribuição espacial, observa-se que ao longo dos três períodos o padrão geométrico concentra-se principalmente na região nordeste do município (Figura 4). Além disso, também é evidente em 2004 a ocorrência de células com os padrões linear e difuso principalmente na região noroeste, mas apesar do alto número de células, a incidência de focos de calor nestes padrões soma apenas 17% do total. A partir da análise espacial observa-se também o aumento progressivo do número de células do padrão multidirecional, principalmente em direção à região nordeste do município. Neste caso, em 2012 o número de células no padrão multidirecional correspondeu a 38% do total, apresentando também a maior incidência de focos de calor neste ano, sendo igual a 50% do total de registros.

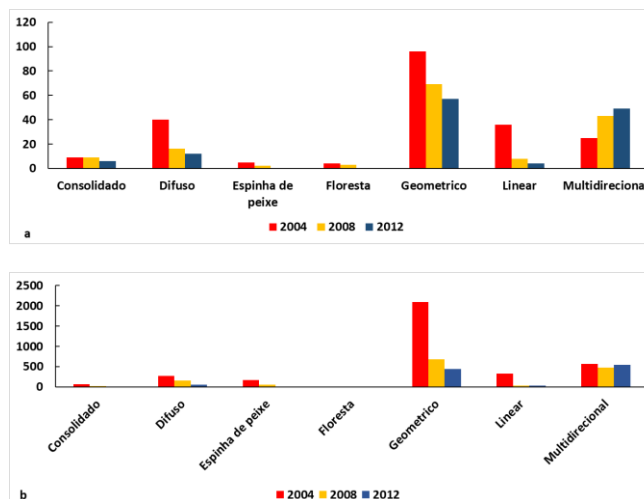


Figura 3. Número de células com focos de calor (a) e número de focos de calor (b) identificados em cada padrão de uso e cobertura da terra.

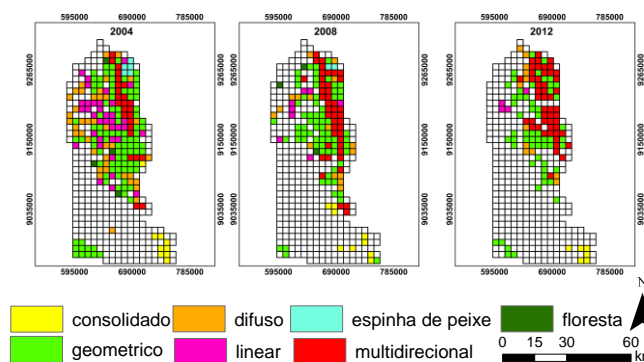


Figura 4. Distribuição espacial dos padrões de uso e cobertura da terra com focos de calor.

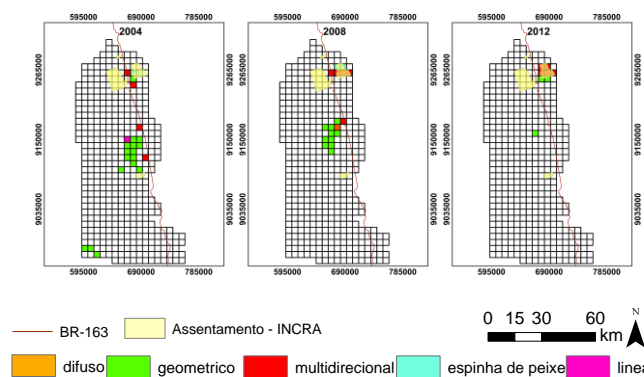


Figura 5. Regiões com alta incidência de focos de calor.

A partir da análise do Índice de Moran Local foi possível identificar a localização de *clusters* em Novo Progresso, correspondendo as áreas que apresentaram a maior incidência de focos de calor (Figura 5). Ao longo dos anos 2004, 2008 e 2012 é possível observar a recorrência do *cluster* situado na

região nordeste do município, na qual situam-se assentamentos da reforma agrária. Neste caso, observa-se uma mudança nos padrões de uso e cobertura da terra com transições principalmente entre os padrões espinha de peixe, geométrico e multidirecional. Em 2004 e 2008 também nota-se a formação de um *cluster* na região central, formado por células principalmente do padrão geométrico e localizado próximo a BR-163. O total de focos de calor situados nestas áreas correspondeu a 34%, 38% e 21% do total de registros observados para os anos de 2004, 2008 e 2012, respectivamente.

A análise das trajetórias evidenciou que 95 células apresentaram focos de calor nos três períodos avaliados, sendo identificadas 18 possíveis transições entre os padrões de uso e cobertura da terra. A maior incidência de focos de calor ocorreu em trajetórias em que não ocorreram mudanças no padrão de uso e cobertura da terra. Neste caso, 20% dos focos de calor concentraram-se em células com a trajetória geométrico-geométrico-geométrico e 17% na trajetória multidirecional-multidirecional-multidirecional.

Nas trajetórias iniciadas com o padrão linear e que resultaram nos padrões geométrico ou multidirecionais foram registradas apenas 5 células com focos, contudo, o total de focos de calor que ocorreram ao longo dos três períodos nesta área representam 17% do total.

Na Amazônia, queimadas são utilizadas principalmente para o manejo da terra [3] e os resultados obtidos neste trabalho, indicam a ocorrência desta prática também em Novo Progresso. Foi também observada uma relação entre a ocorrência do fogo e o padrão geométrico principalmente, o qual apresentou a maior incidência de focos de calor em todos os períodos avaliados, distribuindo-se principalmente próximo à rodovia BR-163. Em contraste, houve uma incidência muito baixa em células que apresentaram o padrão florestal.

O padrão geométrico pode ser caracterizado como um estágio intermediário de cobertura e está associado a existência de médios e grandes estabelecimentos rurais, nos quais as principais atividades econômicas estão relacionadas a pecuária de média e grande escala [7]. [3] retratam como o uso do fogo na Amazônia consiste em uma prática recorrente para limpeza e preparo do solo. Esta caracterização pode explicar a relação entre focos de calor e o padrão geométrico observada em Novo Progresso.

#### 4. CONCLUSÃO

Neste estudo técnicas de mineração de dados foram aplicadas para investigar a relação entre a ocorrência de focos de calor e os padrões de uso e cobertura da terra, em Novo Progresso. Em síntese, os focos de calor concentraram-se principalmente em áreas que apresentam padrão geométrico, associadas a grandes fazendas, distribuídos na região nordeste do município, próximos a rodovia BR-163. A ocorrência de focos de calor neste padrão de uso e cobertura da terra está

relacionado ao uso do fogo para o manejo das áreas agropecuária.

#### 5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos 309247 / 2016-0 e 140379/2018-5 e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – Brasil (CAPES).

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] HANSEN, M. C. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, v. 342, n. 6160, p. 850–853, 15 nov. 2013.
- [2] MYERS, Norman et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853–8, 24 fev. 2000.
- [3] MENDONÇA, Mário Jorge Cardoso et al. The economic cost of the use of fire in the Amazon. *Ecological Economics*, v. 49, n. 1, p. 89–105, maio 2004.
- [4] CHUVIECO, Emilio et al. Integration of ecological and socio-economic factors to assess global vulnerability to wildfire. *Global Ecology and Biogeography*, v. 23, n. 2, p. 245–258, fev. 2014.
- [5] ARAGÃO, Luiz Eduardo O. C. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, v. 9, n. 1, p. 536, 13 dez. 2018.
- [6] BORRALHO, Antônio et al. Os Padrões no Ensino e Aprendizagem da Álgebra. In: VALE, Isabel et al (Org.). *Números e álgebra*. Lisboa: Sem-spce, 2007. p. 193-211.
- [7] SAITO, T.F. Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeireiras da Amazônia. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015, 181p.
- [8] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Estatística sobre município de Novo Progresso, Pará. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/novo-progresso/panorama>>. Acesso em: 20 agost. 2018.
- [9] COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C.; VENTURIERI, A.; ESQUERDO, J. C. D. M.; SILVA, M. Projeto TerraClass: Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas na Amazônia Legal. Brasília, DF: Embrapa; Belém: INPE, 2013.
- [10] KORTING, Thales et al. GeoDMA: a novel system for spatial data mining. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA MINING WORKSHOPS, 1., 2008, Pisa. *Proceedings...* [s.l.]: IEEE, 2008. p. 975 - 978.
- [11] ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis*, v. 27, n. 2, 1995, p. 93–115.