

## Cicatrizes de queimadas e padrões de mudanças de uso e cobertura da terra no sudoeste do estado do Pará, Brasil

Greison Moreira de Souza<sup>1</sup>  
Maria Isabel Sobral Escada<sup>1</sup>  
Vinícius do Prado Capanema<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{greison.souza, vinicius.capanema}@inpe.br  
isabel@dpi.inpe.br

**Abstract.** Wildfires represent a major disturbance factor leading to environmental changes with local or regional impacts. In the Amazon, although fire is associated with several land-practices, the long dry season in some regions, especially during extreme droughts. This study aims to evaluate the relationship between fire and land use and land cover changes in the southwestern region of Pará. The images used were acquired from OLI and LISS-III sensor to map the scars of fires and the deforestation data were obtained from PRODES/INPE project. Visually it's possible to see the similarity of the spatial configuration between the fire and deforestation. The burned area observed predominated in deforested areas prior to 2010, labeled as "old deforestation". Land use and land cover data obtained from TerraClass was used in this analysis showing that the use of fire is often associated to secondary vegetation removal for pasture establishment and management.

Palavras-chave: amazon, deforestation, fire, remote sensing, amazônia, desmatamento, fogo, sensoriamento remoto.

### 1. Introdução

A floresta Amazônica é vista como um grande depósito de carbono e só na última década, via desmatamento, a região emitiu 3% de carbono do total global (Houghton, 2005), o que corresponde a 55% do total emitido pelo Brasil (Mendonça et al. 2004). A emissão de carbono pode ser muito maior se for contabilizado o que é emitido pelas queimadas na Amazônia. Queimadas em anos secos podem emitir carbono em quantidades iguais as emissões via desmatamento (Houghton et al. 2000). Entretanto, as queimadas não têm acompanhado a redução do desmatamento ocorrida nos últimos anos na Amazônia Legal (Aragão e Shimabukuro, 2010). Aragão e Shimabukuro, (2010) observaram incremento de 59% na ocorrência de queimadas em áreas com redução da taxa de desmatamento. Nesse sentido, a emissão de carbono via queimadas pode anular ou reduzir muito os esforços de mitigar a emissão de carbono por desmatamento (Santilli et al. 2005; Lima et al. 2012).

O padrão do uso do fogo varia conforme fatores biofísicos e econômicos (Morton et al. 2006). Morton et al. (2006) mencionam que em áreas destinadas a agricultura intensiva, a limpeza do terreno é feita majoritariamente com maquinário pesado e as práticas de manejo com fogo são pouca usadas nesse processo. Por outro lado, em locais com poucos ou sem incentivos econômicos, a conversão é destinada principalmente para pastagem e o fogo é comumente utilizado para manutenção e renovação do pasto.

Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar, por meio de dados de sensoriamento remoto, processos de desmatamento antigos e recentes e avaliar sua relação com cicatrizes de queimadas detectadas com imagens de satélite, observando-se áreas com maior recorrência de queimadas, considerando um período de 3 anos. Também foi feito um cruzamento das áreas

queimadas com os dados do TerraClass de 2012 para verificar em quais classes de uso e cobertura da terra ocorrem as queimadas com maior frequência.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a cena 227/065 do sistema órbita-ponto do OLI/Landsat 8 e está localizada entre as coordenadas 6°31'S, 54°17' e 7°52'S, 56°13'W. A cena está situada na região sudoeste do estado do Pará (Fig. 1), que tem experimentado intensas mudanças na cobertura da terra. A cena engloba o município de Novo Progresso, que é considerado um dos municípios que mais tiveram áreas desmatadas na Amazônia Legal (Escada et al. 2009; INPE, 2010). Essa região é cortada pela rodovia BR-163, considerada um dos principais vetores de desmatamento na Amazônia (Alencar et al. 2005).

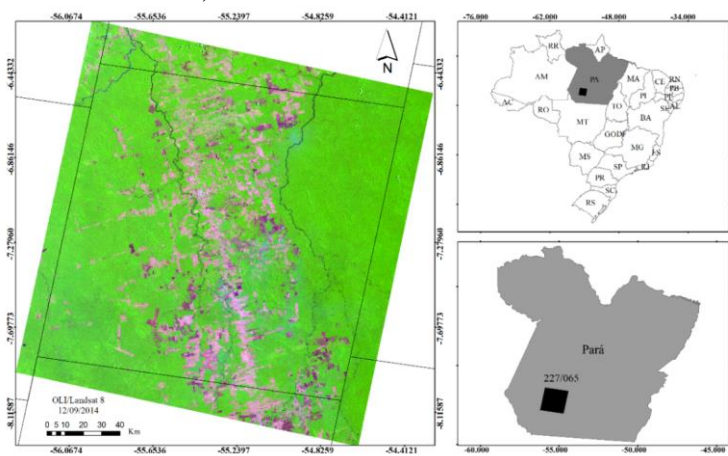


Fig. 1. Localização geográfica da área de estudo, correspondendo a cena 227-065 do OLI/Landsat 8 na região sudoeste do estado do Pará, composição colorira R6G5B4.

### 2.2 Aquisição de dados

Para mapear as cicatrizes de queimadas foram utilizadas imagens da cena 227/065 do sistema de indexação WRS-2. Para o ano de 2014 foram utilizadas duas imagens do OLI/Landsat 8, uma imagem de 2013 também do OLI/Landsat 8 e cinco imagens do LISS-III/Resource-sat 1 para compor a cena 227/065. A seleção das datas foi pautada considerando a disponibilidade de imagens sem nuvens e o período com maior ocorrência de queimadas na região (Tabela 1).

Tabela 1. Imagens utilizadas do sensor OLI e LISS-III para mapear as áreas queimadas da área em estudo.

Ano	Sensor/Satélite	Cena	Data de aquisição
2014	OLI/Landsat 8	227/065	10/julho e 12/setembro
2013	OLI/Landsat 8	227/065	24/agosto
2012	LISS-III/Resource-sat 1	319/080;319/081; 319/082;320/081; 320/082	01/agosto

Todas as imagens foram registradas com base em uma imagem ortorretificada TM/Landsat 5 obtida do portal ([landsat.org/ortho/](http://landsat.org/ortho/)) na projeção UTM, datum WGS 84 e zona 21 sul.

Em adição, foram obtidos os polígonos de desmatamento resultantes do monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite (PRODES), no período de 1997 a 2014 (Fig. 2a). O projeto PRODES monitora sistematicamente o desmatamento por corte raso na Amazônia

Legal desde 1988 e disponibiliza as taxas anuais de desmatamento na região, que são usadas pelo governo brasileiro para o estabelecimento de políticas públicas (INPE, 2015).

Com os polígonos de desmatamento foram criadas duas classes de desmatamento: desmatamento até 2010 (desmatamento antigo) e desmatamento de 2011 a 2014 (desmatamento recente) e uma classe denominada floresta primária (Fig. 2b).

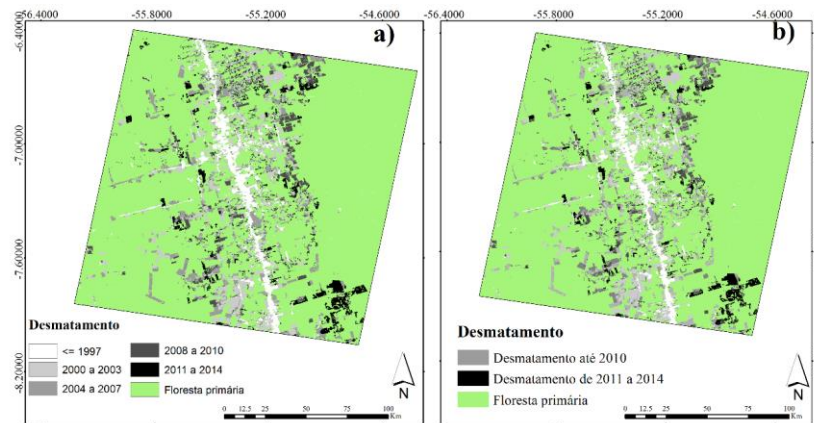


Fig. 2. Mapa de desmatamento produzido pelo PRODES; a) desmatamento acumulado até 1997 e incrementos anuais até 2014 e b) classes de desmatamento até 2010 e de 2011 a 2014.

O critério adotado para definir o desmatamento recente entre os anos de 2011 e 2014 partiu do pressuposto de que o uso do fogo é realizado no ano em que ocorreu o desmatamento ou até o ano seguinte. Essa dinâmica é comum em regiões descapitalizadas, onde os produtores não têm acesso a outras alternativas de preparo do solo. A utilização das queimadas se justifica por ser o processo menos oneroso de preparo do solo e remoção da vegetação (Homma et al. 1992).

Uma mapa de uso e cobertura da terra da cena produzido pelo INPE para o ano de 2012 foi utilizado nesse trabalho com o objetivo de avaliar a relação entre as queimadas e os tipos de uso e cobertura da terra. O projeto TerraClass tem como objetivo qualificar os desmatamentos ocorridos na Amazônia Legal por meio da elaboração de mapas de uso e cobertura da terra das áreas desmatadas pelo PRODES para toda a extensão da Amazônia Legal (INPE, 2015).

### 2.3 Mapeamento e classificação das imagens

O modelo linear de mistura espectral (MLME) foi utilizado para mapear as cicatrizes de queimadas. O MLME estima a proporção de diferentes elementos que compõe um *pixel*. Para isso, é necessário definir *pixels* considerados puros (*endmembers*) dos elementos considerados (Shimabukuro e Smith, 1991). No presente estudo o MLME foi feito na composição 654 (SWIR/NIR/RED) do sensor OLI e 543 (SWIR/NIR/RED) do sensor LISS-III. Os *endmembers* utilizados foram de vegetação, sombra e solo.

A fração sombra evidencia bem as cicatrizes de queimadas, dessa forma, foi empregada nos passos seguintes de classificação (Lima et al. 2012). O passo seguinte da classificação foi constituído pela segmentação por crescimento de regiões. Essa técnica requer a definição de valores de similaridade e área para as imagens segmentadas, portanto, o valor de similaridade escolhido foi de 15 e de área foi de 20. O limiar de aceitação utilizado foi 95%.

Por fim, após a segmentação foi gerada uma classificação não supervisionada pelo método ISOSEG, que é um algoritmo que procura agrupar regiões a partir de atributos estatísticos de

média, matriz de covariância e área a partir de uma medida de similaridade entre elas (Korting, 2006).

A avaliação da classificação das áreas queimada foi realizada de forma visual que inclui uma etapa de edição manual para dirimir confusões da classificação.

## 2.4 Análise dos dados

As variáveis foram convertidas em grades de células regulares de 5 x 5 km (25 km<sup>2</sup>). Essa transformação teve como objetivo normalizar o efeito da variabilidade das áreas resultantes do mapeamento (Lima et al. 2012).

Por meio do mapeamento das cicatrizes de queimadas nos três anos, foi avaliada a recorrência de queimadas. Recorrência de queimadas refere-se especificamente a reincidência de eventos de fogo em uma mesma área (Heinselman, 1981). Com essa informação, buscou-se identificar as classes de uso e cobertura da terra que mais queimaram nos três anos de estudo.

A análise das áreas queimadas *versus* desmatamento foi realizada por meio da sobreposição das cicatrizes de queimadas e áreas desmatadas, computando-se as áreas queimadas contidas dentro das classes de desmatamento até 2010 e do período de 2011 a 2014. Exclusivamente para essa etapa do trabalho, as áreas desmatadas foram calculadas para células de 60 x 60 metros, para que tivessem o mesmo tamanho e para que fosse possível escolher aleatoriamente os polígonos de tamanhos iguais.

Considerando que a classe de desmatamento até 2010 é muito maior que a área total de desmatamento recente, então, para evitar que a análise fosse feita com um número muito maior de células de desmatamento antigo, nessa fase selecionou-se a mesma quantidade de células para ambas classes, assim, do total de células de desmatamento antigos e recentes foi selecionado aleatoriamente percentual de 20; 40; 60; 80 e 100% de células.

## 3. Resultados e Discussão

Na Fig. 3 é possível analisar a configuração espacial das áreas de desmatamento antigas e recentes. A estrutura espacial do desmatamento mostra maior concentração de áreas desmatadas até 2010 no eixo diagonal da cena. Esse padrão denota a influência da BR-163 no processo de ocupação da região, em especial nas áreas de desmatamento até 2010, onde o processo mais intenso ocorreu às margens da rodovia, como pode ser visto na Fig. 3a.

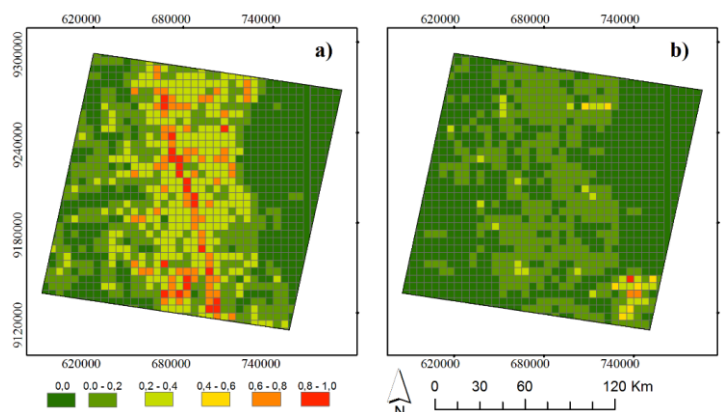


Fig. 3. Representação visual da estrutura espacial das áreas de desmatamento em células de 5 x 5 km; a) desmatamento antigo (até 2010); b) desmatamento recente (de 2011 a 2014).

As áreas desmatadas entre 2011 e 2014 (desmatamento recente) ocorreram em células já consolidadas pelo desmatamento antigo, ou seja, não houve avanço substancial do desmatamento entre 2011 e 2014 sobre novas áreas (células) de vegetação natural. Neste período, a maior intensificação do desmatamento ocorreu na porção sudeste da cena Fig. 3b.

O mapeamento das cicatrizes de queimadas para o ano de 2012, 2013 e 2014 resultou em 59,62 km<sup>2</sup>, 142,01 km<sup>2</sup>, 1416,67 km<sup>2</sup> de áreas queimadas, respectivamente. O total dessas áreas representam 0,22%, 0,52% e 5,2% da área total em estudo.

A estrutura espacial das queimadas mostra concentração das cicatrizes, predominantemente, no eixo diagonal da cena, esse padrão remete ao padrão espacial do desmatamento. As regiões nordeste e sudoeste, composta predominantemente por floresta primária, foram os locais que apresentaram menor ocorrência de queimadas (Fig. 4).

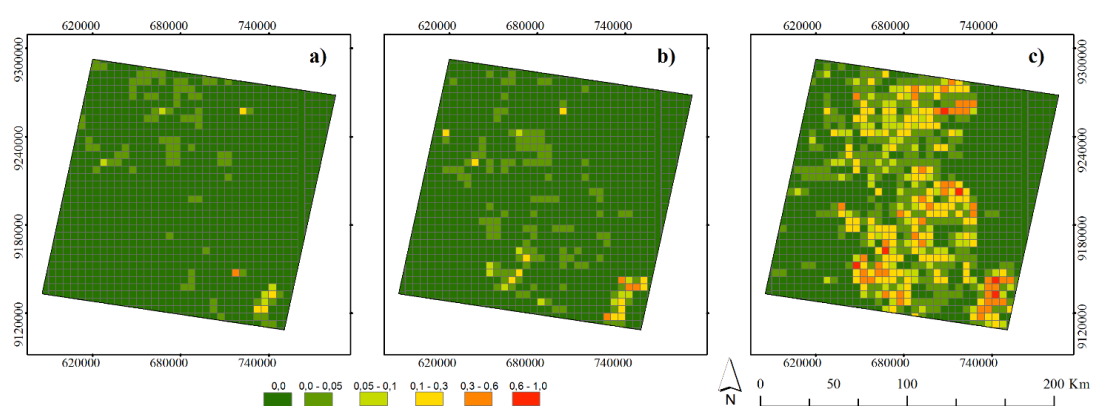


Fig. 4. Configuração espacial em células de 5 x 5 km das cicatrizes de queimadas na área de estudo; a) queimadas em 2012; b) queimadas em 2013; c) queimadas em 2014.

Os anos de 2012 e 2013 apresentaram baixa incidência de queimadas, enquanto o ano de 2014 foi crítico em relação as queimadas. O monitoramento de queimadas realizado pelo INPE (2015) mostrou crescimento de 70% dos focos de calor em 2014 em relação ao ano anterior. Na área em estudo, o crescimento das cicatrizes de queimadas para o mesmo período foi de 897%.

Na região sudeste da cena, onde houve maior intensificação do desmatamento recente, foi a região com maior ocorrência de queimadas em 2012 e 2013 e em 2014 esse padrão alta ocorrência de queimadas se confirma.

Por meio do cruzamento dos mapas de cicatrizes de queimadas nos três anos, foi avaliada a recorrência de queimadas. As áreas que queimaram em 2012 e também em 2013 somaram 3,23 km<sup>2</sup>, enquanto a recorrência em 2013 e 2014 representou 33,38 km<sup>2</sup>. A área que queimou nos três anos consecutivos somou 1,89 km<sup>2</sup>. A Fig. 5 mostra a espacialização da recorrência de queimadas nos anos de 2012, 2013 e 2014. Esse resultado é importante pois, regiões com alto percentual de áreas queimadas em anos consecutivos tornam-se mais susceptíveis ao fogo (Chuvieco et al. 1997).

A região do canto inferior direito da cena queimou nos três anos consecutivos (Fig. 5c), sendo esta a região que apresentou a maior intensificação do processo de desmatamento no período de 2011 2014. Isso mostra que o processo de remoção da vegetação está ligado ao uso do fogo.

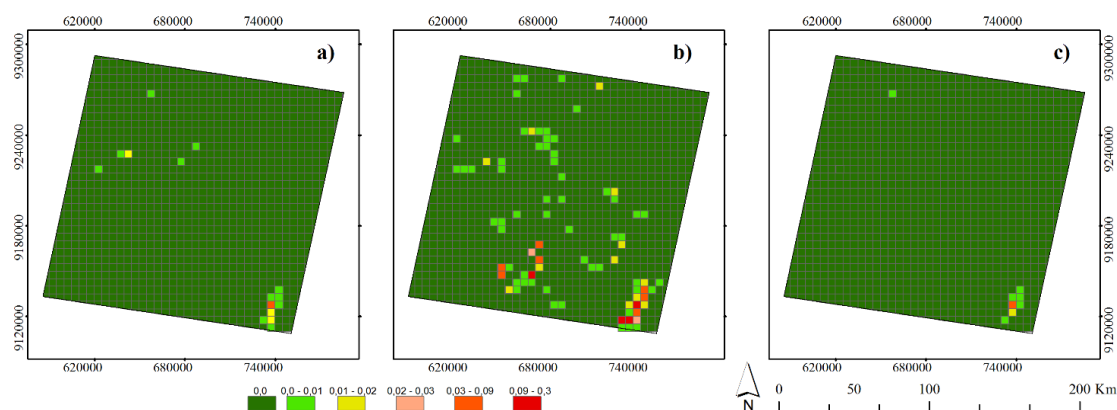


Fig. 5. Representação espacial em células de 5 x 5 km das recorrências de queimadas; a) recorrência de queimadas em 2012 e 2013; b) recorrência de queimadas em 2013 e 2014; c) recorrência de queimadas nos três anos consecutivos.

As classes de uso e cobertura da terra com maior recorrência de queimadas em 2012-2013 foram as classes floresta e regeneração com pasto; a maior recorrência de queimadas em 2013-2014 foram sobre as classes floresta, pasto limpo e vegetação secundária. As principais classes das áreas que queimaram nos três anos consecutivos foram regeneração com pasto e floresta.

Em regiões onde os incentivos econômicos são escassos ou ausentes, as áreas desmatadas, em geral, são destinadas para a pecuária e a limpeza total da área pode ocorrer em até três anos. Neste caso, o fogo é usado repetidas vezes para manutenção e renovação do pasto (Morton et al. 2006; Aragão e Shimabukuro, 2010). Em geral, as áreas que são constantemente queimadas na Amazônia são áreas de novas fronteiras de ocupação, áreas que ainda não estão totalmente consolidadas, sendo o fogo amplamente empregado como ferramenta de manejo da terra para limpar a vegetação em preparação para a agricultura e pecuária (Sorrensen, 2000).

No cruzamento para análise da recorrência de queimadas (2012, 2013 e 2014) com as classes de uso e cobertura da terra, observou-se que as classes que mais sofreram queimadas nos três anos analisados foram as áreas de floresta e pastagem. A maior recorrência de queimadas em áreas de floresta pode ser devido a dois fatores: queimadas em anos consecutivos para limpeza da área após o corte raso ou escape do fogo das áreas adjacentes. A recorrência do fogo em áreas de pastagem é devido a prática de manejo para remoção e manutenção da pastagem.

Diversos estudos tem mostrado a associação espacial e temporal entre o fogo e o desmatamento (Cochrane et al. 1999). A espacialização das queimadas e do desmatamento permitiu avaliar visualmente a alta incidência de queimadas em áreas de desmatamento, entretanto, visualmente não é possível concluir se a maior ocorrência de queimadas está sobre áreas de desmatamento antigo ou recente.

A sobreposição do percentual de áreas desmatadas (20; 40; 60; 80 e 100%) com o total anual das áreas queimadas são apresentadas na Fig. 6, a seguir. A Fig. 6a mostra que as áreas queimadas em 2014 ocorreram predominantemente sobre áreas desmatadas até 2010 (desmatamento antigo). As áreas queimadas de 2013 ocorreram mais em áreas de desmatamento recente, apesar da pequena diferença entre a ocorrência de queimadas em desmatamento recente e antigo, conforme a Fig. 6b, enquanto as queimadas do ano de 2012 predominaram em áreas de desmatamento antigo (Fig. 6c).

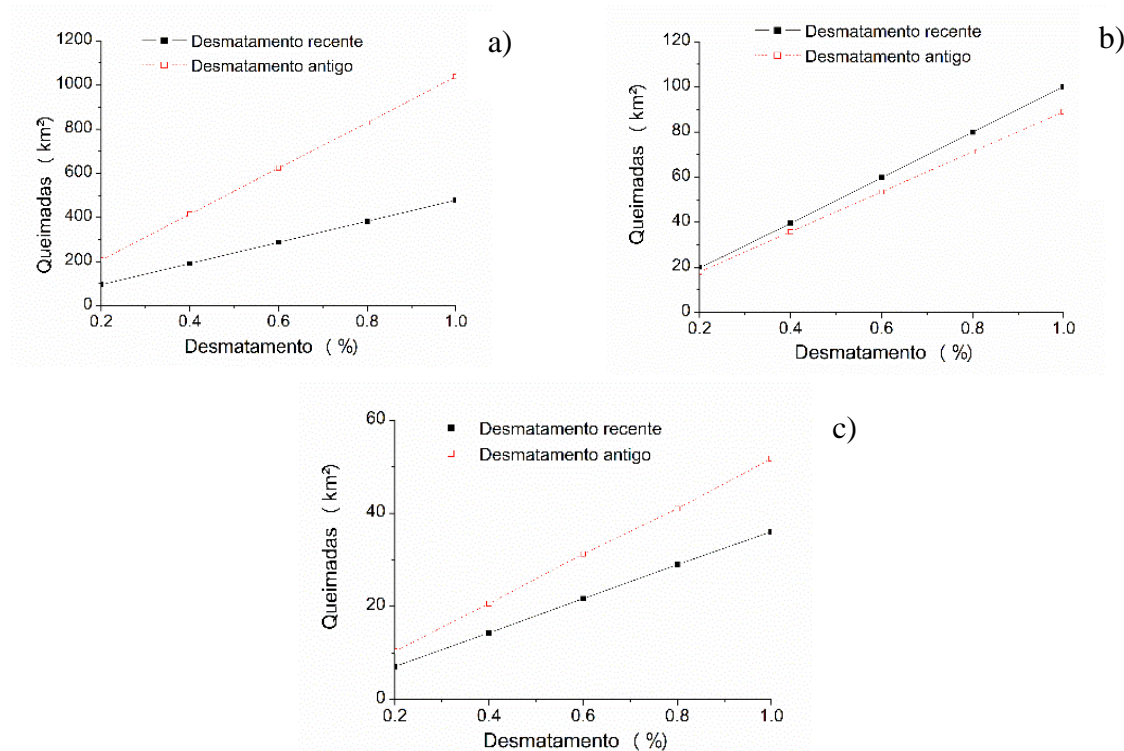


Fig. 6. Extensão das áreas queimadas sobre o percentual de áreas desmatadas; a) queimadas em 2014; b) queimadas em 2013; c) queimadas em 2012.

Como verificado no presente estudo, as queimadas tem ocorrido predominantemente em áreas de mudanças de uso e cobertura da terra mais antigas. A maior incidência de queimadas em áreas desmatadas mais antigas está associada ao uso do fogo para limpeza da vegetação secundária, principalmente em áreas de pastos (Fearnside et al. 2007).

#### 4. Conclusão

A espacialização dos polígonos de desmatamento e de queimadas permite inferir visualmente que a estrutura espacial desses dois eventos estão intimamente relacionados. Com a análise apresentada, verificamos que as queimadas ocorreram mais frequentemente em áreas antigas de conversão, isso demonstra que o uso do fogo continua sendo uma ferramenta de manejo para manutenção de pastagens. A região sudeste da cena apresentou uma maior intensificação no processo de mudança da cobertura do solo recente e foi a região com maior incidência e recorrência de queimadas, mostrando a importância do uso do fogo no processo de conversão recente.

Ao sobrepor as áreas desmatadas com as cicatrizes de queimadas é de se esperar que as queimadas ocorram mais em desmatamento antigo. Além disso, com a redução das taxas de desmatamento nos últimos anos na Amazônia, o tamanho da área queimada no processo de mudança da cobertura da terra recente passou a ser bem menor do que o de áreas que são queimadas para renovação da pastagem e limpeza da vegetação secundária, as áreas de desmatamento até 2010.

#### Referências Bibliográficas

Alencar, Ane.; Micol, Laurent.; Reid, John.; Amend, Marcos. V.; Oliveira, Marília.; Zeidemann, Vivian.; Júnior, Wilson. 2005. **A pavimentação da BR-163 e os desafios à sustentabilidade: análise econômica, social e ambiental**. Belo Horizonte: Conservation Strategy Fund (CSF/Brasil).

- Aragão, L. E. O. C.; Shimabukuro, Y. E. 2010. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. **Science**, 328(5983), 1275-1278, 2010.
- Chuvieco, E.; Salas, F.; Vega, C.. **Remote Sensing and GIS for Long-Term Fire Risk Mapping**. Megafires project ENV-CT96-0256, Alcalá de Henares, pp. 91-108, 1997.
- Cochrane, M. A.; Alencar, A.; Schulze, M. D.; Souza, C. M.; Nepstad, D. C.; Lefebvre, P., et al. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. **Science**, 284(5421), 1832 e 1835, 1999.
- Escada, M. I. S.; Amaral, S.; Rennó, C. D.; Pinheiro, T. **Levantamento do Uso e Cobertura da Terra e da rede de infra-estrutura no Distrito Florestal da BR-163**. São José dos Campos: INPE, 52 p. 2009.
- Fearnside, P. M.; Barbosa, R. I.; Graça, P. M. L. A. Burning of secondary forest in Amazonia: Biomass, burning efficiency and charcoal formation during land preparation for agriculture in Apiaú, Roraima, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.242, p.678 – 687, 2007.
- Heinselman, M. L. Fire intensity and frequency as factor in the distribution and structure of northern ecosystems. In: Mooney, H. A. ; Bonnicksen, T. M. ; Christensen, N. L. ; Lotan, J. E. ; Reiners, W.A. (eds). **Fire Regime and Ecosystem Properties**. [ S.l ]: USDA Forest Service. p. 7-57. 1981.
- Homma, A. K. O.; Walker, R. T.; Scatena, F.; De Conto, A.; Carvalho, A. Da Rocha, A, Ferreira, C. & Dos Santos, A. 1992. **A Dinâmica dos Desmatamentos e das Queimadas na Amazônia: Uma Análise Microeconômica**. Unpublished manuscript, Belém, Brazil: EMBRAPA.
- Houghton, R. A.; D. Skole, C.; Nobre, J. L.; Hackler, K. T. Lawrence, and W. H. Chomentowski. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, 403: 301-304.
- Houghton, R.A. 2005. Tropical deforestation as a source of greenhouse gases. In —Tropical Deforestation and Climate Change Edited by P. Moutinho and S. Schwartzman. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e Environmental Defense (ED).
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. PRODES – Programa de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia por Satélite, 2010. Acesso em 04.mai.2012.
- INPE. 2015. PRODES. Acesso em 29/07/2015. Disponível em < <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php> >
- Korting T. S: Divisão de Processamento de Imagens, INPE. Classificação de Imagens por Regiões, São José dos Campos, 2006.
- Lima, A.; Silva, T.S.F.; Aragão, L.E.O.; Freita, R.M.; Adami, M.; Formaggio, A.R.; Shimabukuro, Y.E.. Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. **Applied Geography**, 34, 239–246, 2012.
- Mendonça, M. J. C., M. d. C. V. Diaz, D. C. Nepstad, R. S. d. Motta, A. A. Alencar, J. C. Gomes, and R. A. Ortiz. The economic costs of the use of fire in the Amazon. **Ecological Economics**, 49: 89-105, 2004.
- Morton, D. C.; DeFries, R. S.; Shimabukuro, Y. E.; Anderson, L. O.; Arai, E., EspiritoSanto, F. D., et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 103(39), 14637 e 14641, 2006.
- Santilli, M.; P. Moutinho, S. Schwartzman, D. Nepstad, L. Curran, C. Nobre. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay. **Climate Change**, 71: 267-276, 2005.
- Sorrensen, C. L. Linking smallholder land use and fire activity: examining biomass burning in the Brazilian Lower Amazon. **Forest Ecology and Management**, 128(1e2), 11-25, 2000.