Incêndios florestais como fator de mudança na dominância do bambu em florestas abertas no leste do Acre

Sonaira Souza da Silva [1,2]
Paulo Mauricio Lima de Alencastro Graça [2]
Izaya Numata [3]
Evandro José Linhares Ferreira [2]
Philip Martin Fearnside [2]
Edneia Araújo dos Santos [5]
Antonio Willian Flores de Melo [1,2]
Maury Sérgio da Silva Dias [4]
Rodrigo Cunha de Lima [4]
Irving Foster Brown [6]

[1] Universidade Federal do Acre - UFAC
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Rio Branco - AC, Brasil
{sonairasilva, willianflores}@ufac.br

[2] Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Caixa Postal 515 - 12227-010 - Manaus - AM, Brasil
{pmfearn, pmlag}@inpa.gov.br

[3] South Dakota State University – SDSU
Box 506B, Brookings SD 57007, EUA
Izaya.Numata@sdstate.edu

[4] UNINORTE - União Educacional do Norte
Alameda Hungria, 200, Jardim Europa - 69915-901 - Rio Branco - AC, Brasil
maury.play@hotmail.com; rcunhabiologia@gmail.com

[5] Rio Branco – AC, Brasil
edneiasantos_14@hotmail.com

[6] Woods Hole Research Center - WHRC
149, Woods Hole Road – Falmouth - 02540-1644 - MA, Estados Unidos
fbrown@uol.com.br

Abstract. With the increase of frequency of extreme droughts in Amazonia, there is also an increase in the occurrence of forest fires. There is change in the forest after the fire through the expansion of bamboo in the forests. However, our knowledge about the relation between bambu dominance and forest fire is still limited. The objective of this study was to evaluate the bamboo's dominance in open forest with bamboo affected by wildfires in 2005 and 2010 in the State of Acre, using remote sensing techniques and forest inventory. The mapping of forest fire scars was performed with Landsat images processed in the Claslite software. After the identification of scars, this data was overlayed with a map of open forest with bamboo, in order to select areas for forest inventory. The following parameters were evaluated: Total number of bamboo culms/m2, the number of living trees > 10 cm diameter at breast height (DBH) and mortality rate. The normalized difference of vegetation index (NDVI) was used to analyze vegetation change after fire. There were significant differences observed in both NDVI and forest inventory data between unburned forest and those burned forests of five years old and ten years old. The burned forests showed higher NDVI compared to the unburned forest. We observed the larger number of bambu culms in the burned forests than in the unburned forest. Based upon the results of these analyses, it is possible to concluid that forest fires beneficiate the process of bambu colonization.

Palavras-chave: Guadua spp, climate change, fire frequency, mudança climática, frequência do fogo.

1. Introdução

As florestas da Amazônia estão mais susceptíveis a incêndios florestais, principalmente em anos de seca extrema, como as ocorridas em 2005 e 2010 (Alencar et al., 2011). A fonte de ignição do fogo na Amazônia é quase sempre de origem antrópica, com destaque para as práticas agrícolas de formação e reforma de áreas para pastagem e plantios (Fearnside, 1990), além de fontes criminosas adotadas para mascarar a extração madeireira e desmatamentos ilegais.

Além de mais frequentes em anos recentes (Alencar et al., 2015), os incêndios florestais na Amazônia causam a mortalidade de parte do componente arbóreo da floresta e favorecem a invasão de gramíneas e herbáceas (Balch et al., 2015), e provocam sérias perdas de biodiversidade (Barlow et al., 2016).

No Acre estima-se que 4% da floresta são de bambu dominante, 38% de floresta aberta com bambu e 33% de floresta em que o bambu é elemento secundário das florestas (Acre, 2010). As principais espécies identificadas nas fitofisionomias do Acre são *Guadua sarcocarpa* e *Guadua weberbaueri* (Poaceae: Bambuseae) (Silveira, 2001).

Devido à estratégia de colonização agressiva e dominante, o bambu tem efeito negativo sobre a regeneração e recrutamento de plântulas de outras espécies nas florestas onde ele ocorre em alta densidade (Larpkern et al., 2010; Rockwell et al., 2014). O bambu também contribui para a mortalidade dos indivíduos arbóreos que servem de escora para o mesmo em razão do peso excessivo que seus numerosos colmos exercem quando atingem a maturidade, provocando a quebra de árvores (Griscom e Ashton, 2006; McMichael et al., 2013).

Além da dinâmica natural, existem indicações que os incêndios florestais podem acelerar a expansão do bambu em razão da abertura de clareias e morte de árvores após o fogo, condições que favorecem sua colonização (Ferreira, 2014). Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a dominância do bambu em floresta aberta com bambu afetada por incêndios florestais em 2005 e 2010, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e de inventário florestal.

2. Material e métodos

As áreas de estudo abrangem florestas localizadas no município de Rio Branco, Acre, ao longo da estrada AC-90, em fitofisionomias classificadas como Floresta Ombrófila Aberta com Bambu e Palmeiras (Figura 1). A localização destas áreas foi definida a partir da análise do mapa de ocorrência de florestas com bambu na região sudoeste da Amazônia de Carvalho et al. (2013) e do Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre (Acre, 2010).

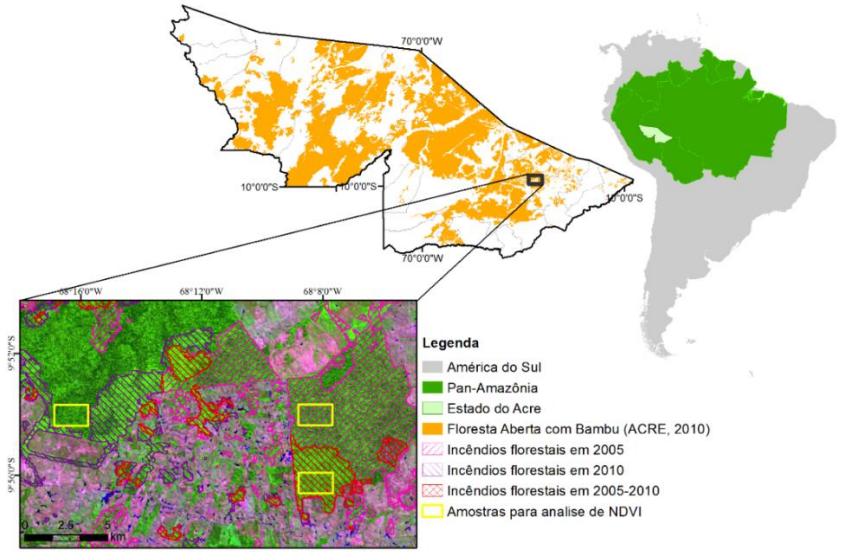

Figura 1. Localização da área de estudo.

Para a identificação de incêndios florestais foram utilizadas imagens de satélite Landsat sensor TM5 (Thermatic Mapper) dos anos de 2005 e 2010 para a cena 02/67. As imagens brutas foram acessadas gratuitamente no site do USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos (http://earthexplorer.usgs.gov/). O processamento das imagens foi realizado pelo software gratuito Claslite©, disponível em http://claslite.carnegiescience.edu/pt. As imagens brutas em DN (número digital) foram automaticamente transformadas em reflectância de superfície e corrigidas rediometricamente dos efeitos atmosféricos (método de transferência radiativa).

A partir do modelo linear de mistura espectral foram derivadas das imagens-fração correspondentes às frações: frações vegetação fotossinteticamente ativa (VF), vegetação não-fotossintética (VNF) e solo (S). Com base nas imagens de frações foi aplicado o Índice de Cicatriz de Fogo (Burn Scar Index – BSI) baseado na metodologia de (Alencar, 2010).

$$\text{BSI} = \frac{VF-VNF+S}{VF+VNF+S} \quad (1)$$

A avaliação da mudança espaço-temporal da resposta espectral da cobertura florestal foi realizada a partir da análise por sensoriamento remoto e a mudança na estrutura florestal foi realizada por inventário florestal, ambas as análises foram feitas, tendo como referência três áreas: floresta não queimada (Floresta), floresta queimada em 2005 (Q2005) e em floresta queimada em 2005 e 2010 (Q2005e2010).

A análise por sensoriamento remoto foi feita com imagem de refletância do Landsat TM 5 para os anos de 2003 e 2010 e Landsat 8 para 2015. Todas as imagens utilizadas são do mês de julho (04/07/2003, 23/07/2010 e 21/07/2015), acessadas no site do ESPA/USG (http://earthexplorer.usgs.gov/). As imagens foram utilizadas para obter o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index/Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) a partir da equação:

$$\text{NDVI} = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (2)$$

Onde NIR e RED são faixas espectrais de reflectância representadas no Landsat 5 pelas bandas 3 (0.63-0,69 µm) e 4 (0,76-90 µm) e no Landsat 8 pelas bandas 4 (0,64-0,67 µm), e 5 (0,85-0,88 µm) respectivamente.

O inventário florestal foi realizado entre os meses de agosto e setembro de 2016, nas três áreas, com desenho experimental: 3 parcelas de 100 m x 50 m (0,5 ha) ao longo de um transecto de 1.000 m. Foram medidas todas as árvores vivas e mortas com DAP (diâmetro a altura do peito) acima de 10 cm e todos os colmos de bambu (independente do DAP) em 8 sub-parcelas de 5 m x 5 m em cada parcela (25m^2 por subparcela, 200 m^2 por parcela). As variáveis analisadas foram: número total de árvores, taxa de mortalidade medidas pela proporção do número de árvores mortas em relação ao número de árvores vivas e a densidade de bambu medida através da proporção do número de colmos em relação à área inventariada.

Foi realizado o teste estatístico de normalidade Shapiro-Wilk e o teste Kolmogorov-Smirnov para NDVI e para o inventário florestal. Foi aplicado o teste de normalidade em todos os conjuntos de dados, e como no resultado não houve normalidade, foi aplicado os testes de Kolmogorov-Smirnov e de Kruskal Wallis.

3. Resultados e Discussão

Entre 1984 e 2015, os incêndios florestais já afetaram 465.800 ha da cobertura florestal do estado do Acre, sendo que 12% da área afetada queimou pelo menos 2 vezes. Os anos de 2005 e 2010 representam 92% da ocorrência dos incêndios (Silva, 2016). Embora o impacto do fogo provoque, em curto prazo, danos diretos, como o aumento da emissão de gases de efeito estufa, a mortalidade de fauna e flora em longo prazo tem potencial de alterar a estrutura florística e fitossociologia das florestas afetadas pelo fogo (Balch, 2014; Fearnside, 2002).

A mudança observada na vegetação após o impacto do fogo na região avaliada, mostra resposta espectral evidente, principalmente na banda do infravermelho próximo. Na Figuras 2, as imagens das florestas em 2003 (antes do fogo) são visualmente semelhantes, tendo gradativo clareamento nas imagens de 2010 e 2015, que foram impactadas pelo fogo. A banda NIR (Infravermelho próximo) é uma das bandas mais utilizadas para estudo da vegetação por ser a faixa do comprimento de onda espectral com maior reflectância (Liu, 2006), e foi indicada como a melhor para distanção de florestas com bambu viva e morta (Carvalho et al., 2013). A média da reflectância na banda 4 da floresta (0,309) em 2003 é 20% menor que a reflectância em 2015 na floresta Q2005e2010 (0,385). Os valores de reflectância da floresta Q2005 e Q2005e2010 são similares ao encontrado por Carvalho et al. (2013) em floresta madura com dominância de bambu.

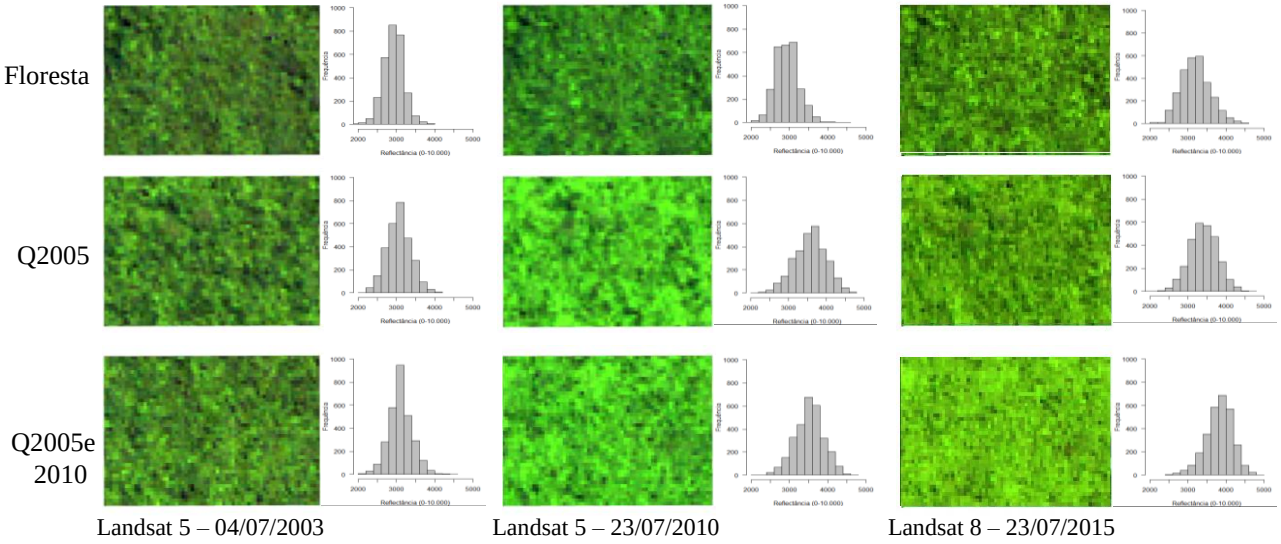

Figura 2. As imagens de reflectância antes do fogo (imagem de 2003), após do fogo de 2005 (imagem de 2010) e após o fogo de 2005 e 2010 (imagem de 2015) na composição R(5)G(4)B(3) para Landsat-TM5 e R(6)G(5)B(4) para Landsat 8-OLI e os seus respectivos histogramas de reflectância da banda do infravermelho próximo.

Os dados de NDVI indicam resultados similares aos de reflectância, não há diferença significativa entre florestas antes do fogo, mas, os valores de NDVI são mais altos nas imagens após o fogo (Figura 3). A elevação dos valores é devido a um dossel mais uniforme (menos sombra) da floresta 5 e 10 anos após a ocorrência dos incêndios florestais. Os valores de NDVI em florestas não impactadas são menores e com intervalo de valores maior em comparação com as áreas de florestas queimadas, devido à estratificação do dossel florestal que causa sombreamento de parte da imagem.

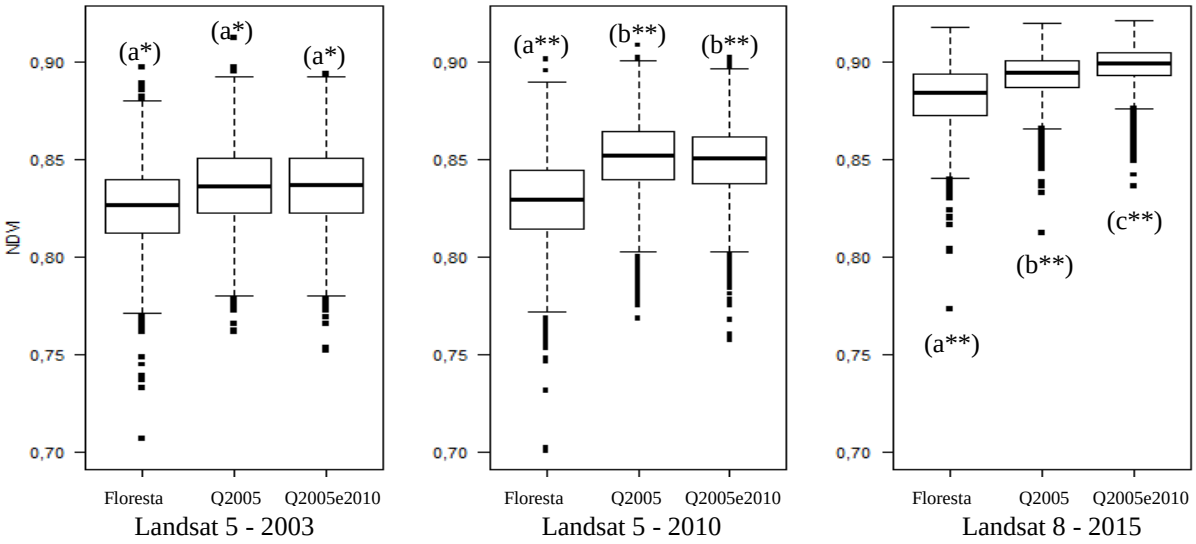

Figura 3. Resposta do NDVI antes do fogo (imagem de 2003), após do fogo de 2005 (imagem de 2010) e após o fogo de 2005 e 2010 (imagem de 2015). Médias seguida de mesma letra não diferem estatisticamente. Nível de significância * *p<0,05 e* ** *p<0,001* pelo teste de Kruskal Wallis.

A maior amplitude do intervalo dos valores de NDVI nas áreas de floresta não queimada nos três períodos (0,19) em comparação as florestas queimadas (2005 com amplitude de 0,13 e 2005e2010 com amplitude de 0,12), está provavelmente relacionada à maior diversidade de estruturas e heterogeneidade de espécies do dossel da floresta, padrão este, esperado para uma floresta sem perturbação. Nas florestas impactadas pelo fogo, a variação dos valores de NDVI é reduzida em comparação com a floresta não queimada, pois há redução do número de espécies arbóreas e aumento da área ocupada pelo bambu no dossel, causando maior homogeneidade na resposta espectral da imagem (Carvalho et al., 2013). A homogeneidade das florestas com bambu e sua resposta espectral comparada como outros tipos de floresta, é a principal característica utilizada para o mapeamento deste tipo de floresta (Carvalho et al., 2013; Espirito-Santo et al., 2003).

A redução do intervalo entre os valores máximo e mínimo de NDVI em florestas com bambu ao longo do tempo (Figura 3) pode indicar que o processo de dominância do bambu é crescente e continuado até a ocorrência de sua mortalidade massiva natural, que pode ocorrer entre 29 e 32 anos após o seu estabelecimento no interior da floresta (Silveira, 2001).

Foi observada diferença entre a variação de máximo e mínimo no NDVI de floresta não afetada pelo fogo entre imagens do Landsat 5 e 8. Esta variação pode ser em função da diferença entre as resoluções espectrais e resolução radiométrica, ou pode ser que haja efeito das secas extremas como fator modificador da floresta. Como base nestas hipóteses, recomenda-se que estas analises sejam testadas com mais detalhes.

Os dados do inventário florestal refletem a mesma resposta da análise do NDVI, mostrando diferença na dominância do bambu após o impacto do fogo. Na Figura 4, observa-se a dominância do bambu nas florestas queimadas em relação a floresta não-queimada, e função do aumento de colmos, passando de 2/25 m^2 em floresta não impactada pelo fogo para 15/25 m^2 em floresta queimada em 2005 e 2005-2010. A mesma resposta foi observada na redução do número de indivíduos arbóreos, de 300 ind/0,5 ha para 100 ind/0,5 ha, e o aumento da taxa de mortalidade, de 8% para 50%. Essas diferenças nas estruturas entre florestas queimadas e não queimadas são significativas a $p < 0,1$ pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

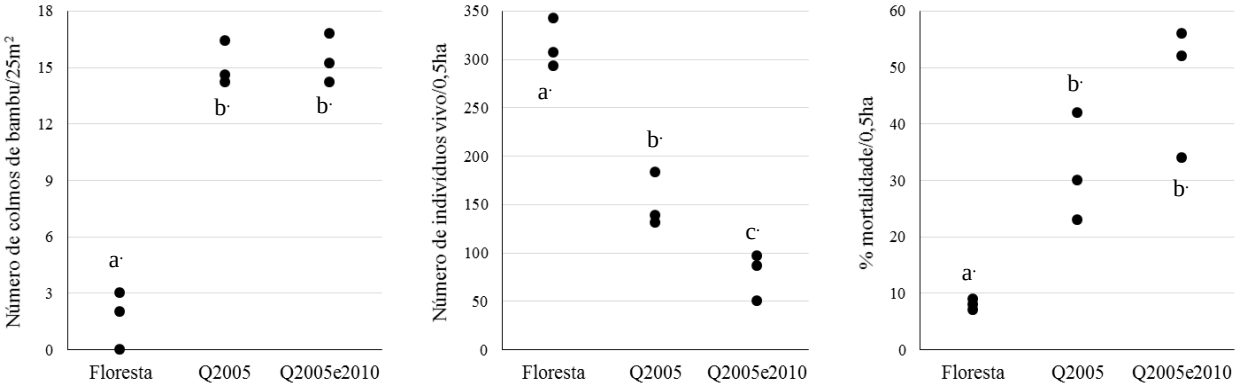

Figura 4. Resposta da vegetação ao impacto do fogo. Nível de significância a *p<0,1* pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Estes resultados mostram um efeito que o estudo de Barlow et al. (2012) não conseguiu detectar em um outro local no leste do Acre (a Reserva Extrativista Chico Mendes). Barlow et al. (2012) não encontraram diferença significativa no número de indivíduos arbóreos vivos, no número de árvores mortas da maioria das classes diamêtricas e nem diferença na reflectância das imagens. A diferença nos resultados pode ser atribuída ao tempo da avaliação após o fogo: no estudo de Barlow et al. (2012) foi avaliado o impacto do fogo de 2005 em 2008 e neste estudo foi avaliado em 2010 e 2016, 5 e 10 anos após o fogo.

3 Conclusões

Houve mudança na floresta aberta com bambu após o impacto do fogo uma vez (2005) e duas vezes (2005 e 2010), observada no NDVI e no inventário florestal. A mudança na vegetação foi em função da expansão da ocupação do bambu.

Os resultados sugerem que em função dos eventos de fogo e da dinâmica natural do gênero Guadua, as tipologias correntemente classificadas no Zoneamento Ecológico Econômico do Acre como Floresta Aberta com Bambu não dominante estão transformando-se em Floresta Aberta com Bambu Dominante nas áreas avaliadas, assim como na região central do Estado, entre os municípios de Sena Madureira e Feijó. A comprovação desta hipótese irá requerer a modificação das estratégias de manejo e uso destas florestas pelo homem e poderá afetar gravemente a fauna silvestre local.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Acre Edital 03/2013 (43721.475.45705.05112014) e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Serviços Ambientais da Amazônia (INCT/Servamb) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e NASA Terrestrial Ecology Program (NNH13ZDA001N-TE).

Referências Bibliográficas

Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre: Fase II (Escala 1:250.000)**. 2. ed. Rio Branco: SEMA, 2010, 356 p.

Alencar, A. **Spatial and temporal determinants of forest fires on the Amazonian deforestation frontier: Implications for current and future carbon emissions**. Tese de doutorado, Gainesville, Florida: University of Florida, 2010, 153 p.

Alencar, A. et al. Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. **Ecological Applications**, v. 21, n. 7, p. 2397–2412, out. 2011.

Alencar, A. A. et al. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1493–1505, 2015.

Balch, J. K. Drought and fire change sink to source. **Nature**, v. 506, n. 7486, p. 41–42, 2014.

Barlow, J. et al. Wildfires in Bamboo-Dominated Amazonian Forest: Impacts on Above-Ground Biomass and Biodiversity. **PLoS ONE**, v. 7, n. 3, p. 1-11, 2012.

Barlow, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144–147, 2016.

Carvalho, A. L. et al. Bamboo-dominated forests of the southwest Amazon: detection, spatial extent, life cycle length and flowering waves. **PLoS ONE**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2013.

Espirito-Santo, F. del B. et al. Detecção da dinâmica da floresta de bambu no sudeste do acre com o uso de técnicas de processamento de imagens de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 649-656.

Fearnside, P. M. Fire in the tropical rain forest of the Amazon basin. In: GOLDAMMER, D. J. G. (Ed.). . Ecological Studies. [s.l.] Springer: Berlin & Heidelberg, 1990. p. 106–116.

Fearnside, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 44, p. 99–123, 2002.

Ferreira, E. J. L. O bambu é um desafio para a conservação e o manejo de florestas no sudoeste da Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 66, p. 46–51, 2014.

Griscom, B. W.; Ashton, P. M. S. A self-perpetuating bamboo disturbance cycle in a neotropical forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 5, p. 587–597, 2006.

Larpkern, P. et al. Bamboo dominance reduces tree regeneration in a disturbed tropical forest. **Oecologia**, v. 165, n. 1, p. 161–168, 2010.

Lui, W. T. H. **Aplicações do sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006, 908 p.

McMichael, C. H. et al. Historical fire and bamboo dynamics in western Amazonia. **Journal of Biogeography**, v. 40, n. 2, p. 299–309, 2013.

Rockwell, C. A. et al. Logging in bamboo-dominated forests in southwestern Amazonia: Caveats and opportunities for smallholder forest management. **Forest Ecology and Management**, v. 315, p. 202–210, 2014.

Silva, S. S. Dinâmica dos incêndios florestais no Acre. Tese de doutorado. Manaus: INPA, em preparação, 2016.

silveira, M. **A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas**. Tese de doutorado, Brasilía: UnB, 2001, 119 p.