

Estudo da dinâmica de queimada no bioma Pantanal no período de 2002 a 2015

Elisabete Caria Moraes¹
Guilherme Augusto Mataveli²
Paula Resende Santos³
Bruno Silva Oliveira¹

^{1,3}Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bete, bruno.so}@dsr.inpe.br
paula.santos@inpe.br

²Universidade de São Paulo – USP
Departamento de Geografia
Avenida Prof. Lineu Prestes, 338, CEP: 05508-000. São Paulo, SP, Brasil.
mataveli@usp.br

Abstract. Pantanal, considered a World Natural Heritage by Unesco as a mosaic of biomes with exuberant biodiversity, is still little affected. The expansion of livestock in recent decades has increased and changed the use and coverage of the region, which makes it essential for the preservation of the Pantanal to understand and to monitor the spatial-temporal dynamics of the burnings in all its extension. Through the use of satellite imagery products (Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM; Earth and Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer sensor – MODIS)), the fires were spatialized and the relationships between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and precipitation were analyzed for 15 classes of use and coverage Pantanal in the period from 2002 to 2015. 91.5% of the outbreaks occurred in savana and flooded areas, while 6% of the fires occurred in forest areas. There was a strong relationship between fires and NDVI (-0.9), a low relation between fires and precipitation (-0.42), but a correlation of -0.7 when pairing the fires with precipitation from the precedent month. The results showed that the dynamics of the fire suffers a strong anthropogenic influence.

Palavras-chave: satellite images, fire, precipitation, NDVI.

1. Introdução

O bioma Pantanal possui a maior planície de inundação sazonal tropical do planeta, situada na região central da América do Sul, com toda sua área contida na bacia do Alto Paraguai. A dinâmica de inundação do bioma Pantanal, cuja intensidade, extensão e permanência das cheias são variáveis de ano para ano, é um fator determinante para os processos bióticos e abióticos, já que ocasionam mudanças em todas as suas unidades de paisagem (Moraes et al. 2013; Antunes e Esquerdo, 2015). Além disto, este bioma alterna os períodos prolongados de precipitação (outubro a março) com períodos muito secos (abril a setembro), os quais proporcionam alto risco de incêndios em sua vegetação.

Mesmo sendo um dos ecossistemas mais preservados do Brasil, o bioma Pantanal tem sofrido muito nestes últimos 20 anos com a ação antropogênica, principalmente, pelas práticas de desmatamento e queima de biomassa para fins de uma agropecuária mais ostensiva (Araujo e Silva, 2015), o que confere ao bioma grande importância socioeconômica para o país. A pecuária bovina de corte se tornou a maior atividade econômica da região, mesmo esta prática sendo influenciada pela dinâmica de inundação, que força o manejo do gado, que ao longo do ano com deslocamento dos rebanhos para as regiões secas.

As queimadas representam uma ameaça ambiental com efeitos que vão desde a perda da biodiversidade à redução ou eliminação da biomassa na superfície terrestre, trazendo como consequências, impactos nos processos físicos, químicos e biológicos da superfície terrestre e no sistema climático. Segundo Pereira et al. (2009) as queimadas no bioma Pantanal são

episódios pontuais de intensa queima de biomassa e, portanto, sua dinâmica necessita ser melhor compreendida.

As imagens de satélites têm se mostrado nos últimos anos como uma ferramenta promissora para avaliações tanto no aspecto meteorológico como no que diz respeito ao monitoramento de uso e cobertura da terra com grande cobertura espaço-temporal. As imagens do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua, que apresentam uma resolução espacial moderada e resolução temporal de 1 a 2 dias, estão disponíveis desde seus lançamentos em 2000 e 2002, respectivamente, e seus produtos operacionais mostraram-se uma ótima alternativa na geração de dados para a análise temporal da vegetação, delimitação das áreas alagadas, áreas queimadas e fogo ativo do bioma Pantanal (Moraes et al., 2009; Cardozo et al., 2010; Antunes et al., 2011; Cardozo et al., 2012). O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) possibilita o monitoramento a distribuição da precipitação a cada a cada 3 horas na região tropical e subtropical, sendo as estimativas de precipitação validadas para diversas regiões do planeta, inclusive para o bioma Pantanal por Viana e Alvalá (2011).

O objetivo deste trabalho é entender a dinâmica das queimadas no bioma Pantanal através da análise temporal das relações entre as incidências do fogo, das precipitações e dos índices vegetação da diferença normalizada (NDVI) estimados por satélites no período de 2002 a 2015.

2. Materiais e Métodos

O bioma Pantanal possui uma área de 151.072 km², enquanto que a planície do Pantanal ocupa uma área de 138.424 km² dentro do bioma (Silva et al., 2011). O bioma apresenta altitude média variando entre 60 a 150 metros, sendo que, aproximadamente, 35% de sua área está situada no Estado do Mato Grosso e 65% no Estado do Mato Grosso do Sul. O clima é predominantemente tropical, sofrendo influências de massas de ar frio provenientes das porções mais meridionais, com penetração rápida pelas planícies dos pampas e do chaco, e apresenta características de continentalidade com diferenças marcantes entre as estações úmida (outubro a março) e seca (abril a setembro). Possui temperatura média anual de 25° C, com máximos e mínimos médios anuais em torno de 34° C e 15° C, respectivamente; a precipitação média anual do período de 1998 a 2010 foi de aproximadamente 1.220 mm, variando de 239 mm na estação seca a 1.002 mm na estação úmida (Viana e Alvalá, 2011).

Neste estudo foram utilizados os produtos de fogo ativo e mensal do NDVI gerados a partir de imagens do sensor MODIS para se estimar, respectivamente, os valores totais mensais e médios mensais destes produtos para o bioma Pantanal no período de 2002 a 2015 com resolução espacial de 1km. Este sensor coleta informações sobre a superfície terrestre 4 vezes ao dia para um dado ponto na superfície terrestre, visto que o sensor a bordo do satélite Terra com órbita descendente cruza o Equador às 10h30min e 22h30min, enquanto que o sensor da plataforma Aqua cruza o Equador, em sua órbita ascendente, às 13h30min e 01h30min (Justice et al., 2002). As imagens do sensor MODIS que englobam toda a área do Pantanal são representadas pelos *tiles* h12v10 e h12v11.

Os produtos de fogo ativo (MOD14 e MYD14 derivados, respectivamente, do sensor MODIS a bordo do Terra e do Aqua) identificam anomalias termais em *pixels* com o uso de um algoritmo que detecta as anomalias a partir das informações contidas nas bandas do infravermelho médio e do infravermelho distante e descarta falsas detecções a partir da temperatura de brilho em relação aos *pixels* adjacentes (Giglio et al., 2010).

O produto MOD13A3 fornece as estimativas mensais globais do NDVI a partir das composições de 16 dias de um determinado mês, empregando uma média temporal ponderada se o *pixel* não possui nuvem, ou um valor máximo no caso de nuvens (Justice et al., 2002).

Através do produto anual MCD12Q1, que possui a resolução espacial de 500 metros e também é derivado dos sensores MODIS, avaliaram-se as mudanças na dinâmica de uso e cobertura da terra para o ano de 2012 (Friedl et al., 2010). A classificação utilizada neste trabalho segue o padrão *International Geosphere- Biosphere Programme* (IGBP), que é composta por 17 classes de uso da terra.

O regime de chuva do bioma Pantanal foi estimado a partir do produto 3B43 do TRMM, que fornece a estimativa da precipitação média mensal com resolução espacial aproximada de 30 km a partir de uma rodada mensal do subproduto 3B42, o qual combina os dados das estimativas de precipitação das bandas do microondas obtidas de outros sensores da plataforma (sensores *Special Sensor Microwave Imager*, *Advanced Microwave Sounding Radiometer* e *Advanced Microwave Scanning Radiometer*) com dados provenientes de estações meteorológicas (Huffman et al., 2007). Através do produto 3B43 estimou-se a precipitação média mensal para o período 2002-2015.

Estes dados estimados por satélites foram correlacionados entre si de forma a identificar as oscilações ambientais e as regiões do bioma Pantanal afetados pelos focos de calor, avaliando-se as possíveis influências do regime de chuva, duração da estação seca e índice de vegetação sobre a incidência dos focos de calor.

3. Resultados e Discussão

A classificação de uso e cobertura da terra foi realizada utilizando o produto MCD12Q1 do sensor MODIS para o ano de 2012 considerando 15 classes definidas no IGBP conforme mostra a Figura 1, visto que duas classes não estão presentes no Pantanal (gelo e floresta conífera).

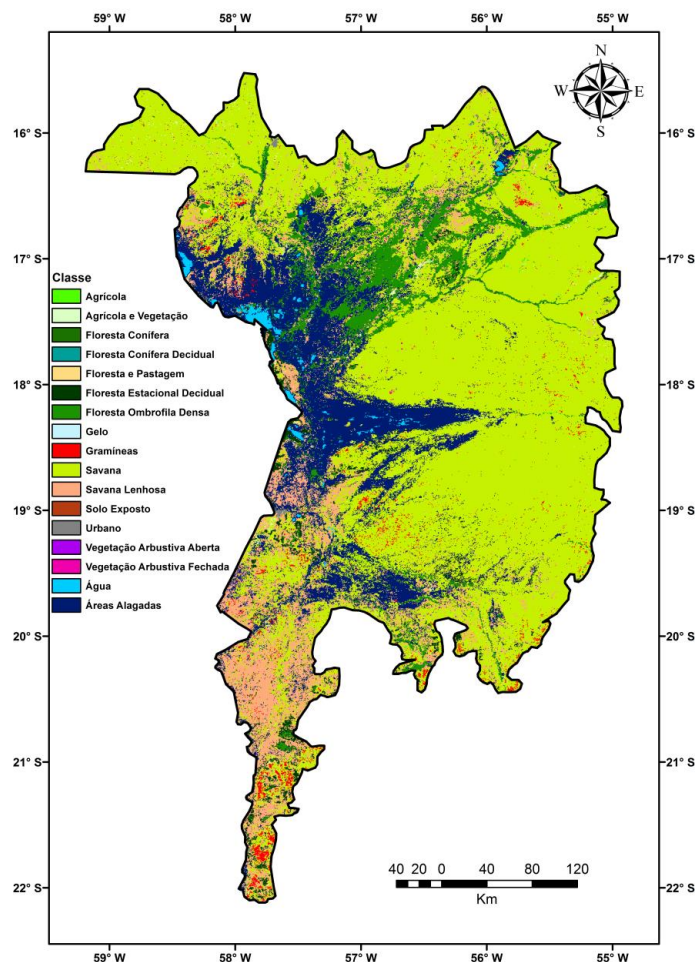


Figura 1. Classes de uso e cobertura do bioma Pantanal.

Assumiu-se este padrão de classe objetivando a padronização destas, a fim de fornecer informações comparáveis a nível mundial, propiciando assim o compartilhamento destes dados. Observa-se que o bioma Pantanal está bem preservado, com pequeno percentual de ocupação antrópica.

Cabe destacar que o percentual de ocupação é variável devido às mudanças interanuais das áreas inundadas. O ano de 2012, com o qual foi realizada a classificação de uso e ocupação do bioma Pantanal para o presente estudo, apresentou a maior redução de áreas alagadas no bioma desde 2000 e, segundo Moraes et al. (2013), esta redução representou uma diminuição de 75% da área média alagada de 2000 a 2011. Verifica-se na Figura 1 que classe savana, que representa uma fitofisionomia típica do cerrado, compõe 71,26% do bioma Pantanal. 59,61% das áreas de savana do Pantanal são compostas pelo cerrado *strito sensu* e 11,65% por campo cerrado (Cavassan et al., 2006). A área alagada representa a segunda maior classe analisada, mesmo sendo 2012 considerado um ano seco. A Tabela 1 apresenta o percentual de ocupação territorial das 15 classes tratadas.

Tabela 1. Percentual de ocupação das principais classes de uso e cobertura do Pantanal

Classes	Área (%)	Classe	Área (%)
Savana	59,61	Floresta e Pastagem	0,27
Área alagada	16,00	Agrícola	0,20
Savana lenhosa	11,65	Urbano	0,10
Floresta ombrófila densa	6,60	Vegetação arbustiva fechada	0,05
Floresta estacional decidual	2,78	Floresta Conífera	0,04
Gramíneas	1,37	Vegetação arbustiva aberta	0,01
Água	0,67	Solo exposto	0,002
Agrícola e Vegetação	0,65		

A Figura 2 apresenta distribuição média mensal da incidência de focos de calor e da precipitação média mensal para cada ano do período em análise. Observa-se que os anos com maior incidência de focos no Pantanal ocorreram 2002 e 2005, cujos valores foram 25.403 e 22.995, respectivamente. No entanto, as relações entre a incidência dos focos com a precipitação mensal são distintas. 2002 foi o ano mais seco do período estudado, sendo que durante todo ano de 2002 as taxas de precipitação foram abaixo da média mensal e os focos detectados apresentaram valores elevados nos meses de julho a dezembro, enquanto que em 2005 a precipitação foi abaixo da média nos meses de janeiro a agosto, sendo agosto um mês extremamente seco (2,1 mm no mês) com a incidência de quase metade dos focos ocorridos neste ano (11.006) e em setembro também se observou ma alta incidência de focos (5.468). Segundo Moraes et al. (2013), a precipitação incidente no bioma Pantanal na estação chuvosa explica somente 53% do pulso de inundação.

A incidência de focos em 2007 também foi elevada (17.672), sendo que a precipitação esteve abaixo da média mensal no período de abril a setembro e, como consequência, 58% da incidência anual de focos ocorreram em setembro. Nos anos de 2004, 2010 e 2012 as incidências anuais de focos de incêndio também atingiram valores altos (15.210, 14.418 e 14.001, respectivamente), sendo que 2010 foi o segundo ano de maior seca do período analisado, com precipitação abaixo da média mensal em todos os meses, exceto janeiro. 2014 foi um ano totalmente atípico, com menor número de focos detectados (2.650) e precipitação abaixo da média, principalmente no período úmido (chuvoso). 2006 por ser um ano com precipitação acima da média no período úmido e registrado a precipitação média anual de 1.356 mm apresentou a segunda menor incidência de focos (5.333) durante o período analisado.

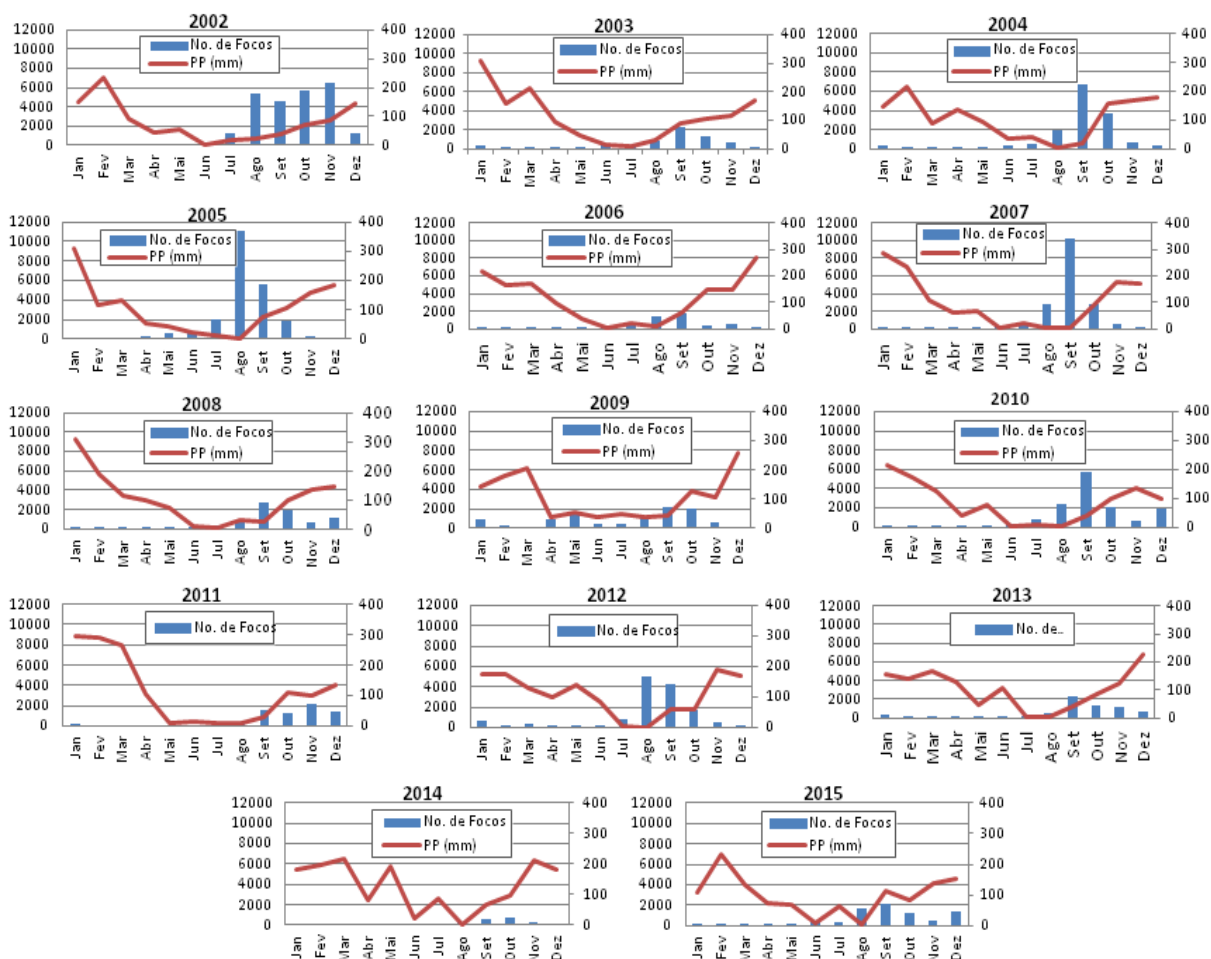


Figura 2. Representação anual das variações mensais da precipitação e número de focos de calor para o bioma Pantanal no período de 2002 a 2015.

A Figura 3 apresenta a espacialização do total anual de focos de calor no Bioma Pantanal. Para os anos com maior incidência de focos de calor (2002, 2005 e 2007), as queimadas ocorreram em praticamente todo o bioma, sendo a maior frequência de focos presentes na parte oeste, sudoeste e sul do bioma, que engloba principalmente as regiões dos municípios Paraguai, Nabileque, Miranda, Aquidauana, e oeste de Abobal, cujo uso do solo tem grande predominância de campo cerrado, cerrado *strito senso*, gramíneas, e áreas agrícolas e vegetação. Ao norte do bioma também se observa alta ocorrência de focos nas regiões norte de Poconé e sudoeste e oeste de Barão de Melgaço, em áreas predominantemente composta por cerrado *strito senso*, gramíneas e a classe floresta e pastagem. Diferentemente dos outros anos, observa-se que em 2010 a região norte do Pantanal apresentou a maior incidência de focos de calor, envolvendo os municípios de Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço e a porção norte, nordeste e sudoeste de Palaguás, além da região oeste de Nhecolândia, cabe destacar que tanto Palaguás como Nhecolândia estão contidos na área do Leque do Taquari, região com vasta área inundada no período úmido, mas muito propícia à criação de gado no período seco. Em 2012 a incidência de focos concentrou-se na região oeste do Pantanal, envolvendo principalmente os municípios de Nabileque e Paraguai, bem como as regiões sul de Nhecolândia e de Cáceres. As áreas com maiores incidências de focos são aquelas identificadas por Araújo e Silva (2015) como áreas de pecuária fortemente desenvolvida.

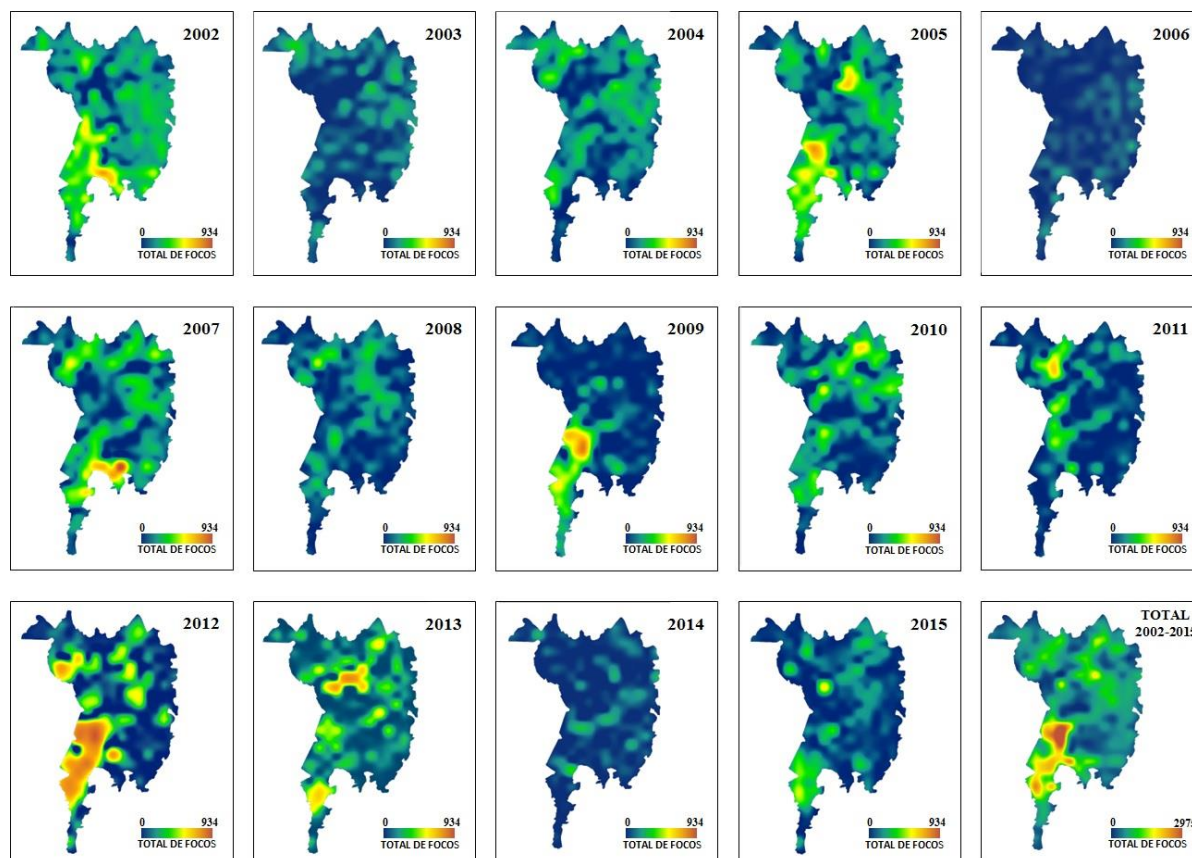


Figura 3. Espacialização anual e total dos focos de calor detectados pelo satélite MODIS para o período de 2002 a 2015.

O percentual de ocorrência de focos de calor ao longo dos 14 anos tratados nas áreas mais representativas de uso e cobertura do bioma Pantanal é sumarizado na Figura 4. É evidenciado que 74,7% do total de focos de queimada ocorreram em áreas de cerrado, seguidos de 16,8% em áreas alagadas. Cabe destacar que a planície do Pantanal é sujeita a pulsos de inundação inter e intra-anualmente e geralmente as áreas com recuos de água no período seco tornam-se apropriadas para a pastagem no período seco. Houve 9.942 focos de calor nas áreas de Floresta, representando 6% dos focos incidentes nestas áreas.

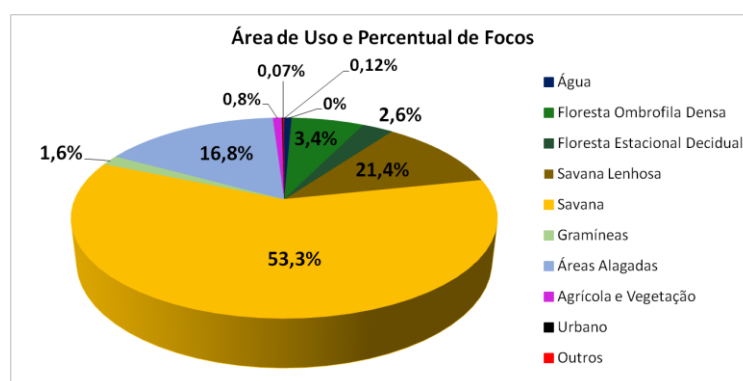


Figura 4. Percentual de focos por área de uso e cobertura do bioma Pantanal.

Para fins de comparação analisou-se para o período de 2002 a 2015 a variação média mensal dos percentuais de focos de calor e da precipitação com valor médio mensal neste período do NDVI para o bioma Pantanal (Figura 5(a)). Observa-se neste comportamento

médio destas variáveis que as maiores incidências de focos de queimada ocorrem no final da estação seca, com o número focos diminuindo no início da estação úmida, sendo que o índice de precipitação apresenta uma relação inversa ao comportamento dos focos, porém com uma defasagem de um mês no valor mínimo de precipitação, ou seja, o mês com maior quantidade de focos (setembro) é antecedido pelo mês com menor precipitação (agosto). A Figura 5(b) confirma a baixa relação existente entre a incidência de focos e a precipitação, pois a precipitação explica somente 17,6% da relação existente entre estas duas variáveis. No entanto, ao relacionar os focos de queimada mensal com os valores de precipitação antecedendo o mês de incidência mensal do foco, por exemplo, analisando a precipitação do mês de agosto com o número de focos de setembro, verifica-se a correlação de -0,7 (Figura 5(c)), neste caso a precipitação explicaria 50% dos focos de queimada. A correlação existente entre o NDVI com a precipitação é de 64%, isto porque no Pantanal o NDVI não é muito afetado pelo regime de precipitação, provavelmente pela disponibilidade de água fluvial no bioma. Através das Figuras 5(a) e 5(e) verifica-se que o NDVI apresenta comportamento inverso a dinâmica de focos de calor, ou seja, o aumento da incidência dos focos se reflete na diminuição do NDVI, ou seja, a incidência dos focos explica 85% da redução do NDVI.

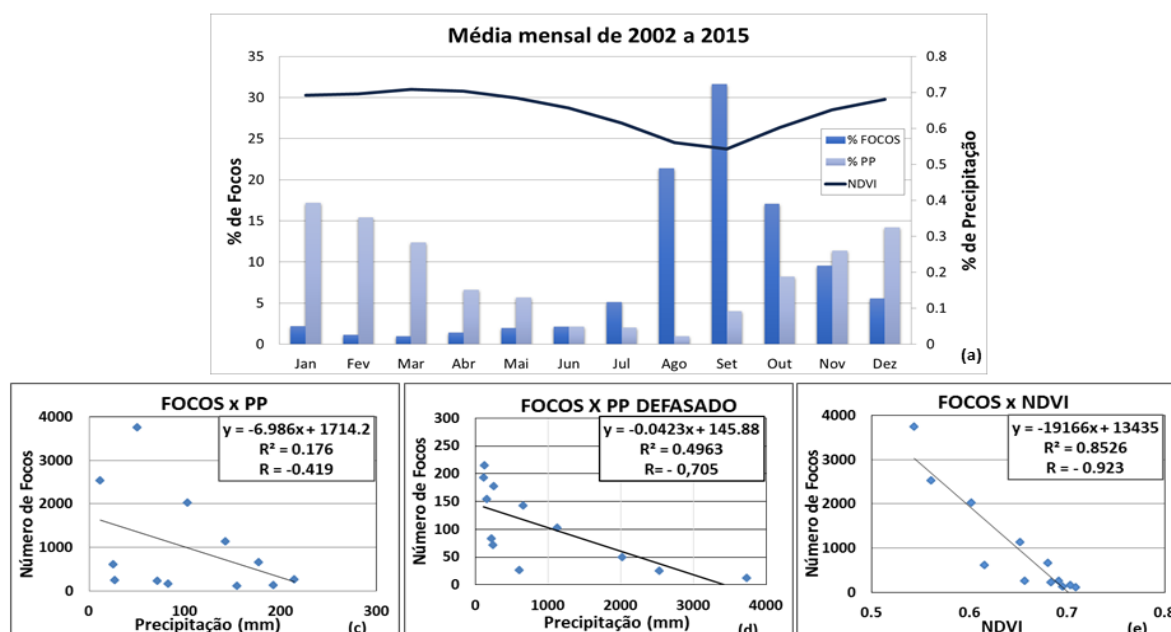


Figura 5 – Variação média mensal do NDVI e dos percentuais de focos de calor e de precipitação para o bioma Pantanal no período de 2002 a 2015 (a), e representação estatística entre a precipitação e o número de focos de queimadas (b), entre a precipitação defasada e o número de focos de queimadas (c) e entre o número de focos de calor e NDVI (d).

4. Conclusões

A dinâmica do queima de biomassa no Pantanal não pode ser totalmente explicada pela precipitação incidente na região nem pela variação do NDVI, mesmo com a forte correlação com o NDVI (-0,9) e a baixa e moderada correlação com a precipitação (-0,42 e -0,7, este último com valores de precipitação defasada um mês). A espacialização do fogo mostrou que as áreas com maiores incidência de queima são aquelas aonde se concentram as fazendas de gado. Isto é um indício que a ação antropogênica, devido ao manejo da terra pela pecuária, é um fator determinante na dinâmica do fogo, conforme também observado por Ichoku (2016).

O pulso de inundação e a área de sua abrangência deve ter um papel importante na incidência de focos de calor, visto que 91,5% dos focos incidiram em áreas de cerrado e classificadas como alagadas. 6% das queimadas ocorreram em áreas de Floresta, indicando

que maior atenção deve ser direcionada a estas áreas para que o bioma mantenha-se preservado, visto que o cerrado apresenta um rápido poder de recuperação após a ocorrência de queima de biomassa, embora possa ocorrer a redução da densidade de plantas, enquanto que as florestas necessitam de ações de recuperação para a manutenção da densidade de plantas e espécies nas áreas afetadas pelo fogo, perdendo com isto a característica de uma floresta primária.

Referências Bibliográficas

- Antunes, J. F. G.; Esquerdo, J. C. D. M.; Lamparelli, R. A. C. Monitoring the temporal dynamics of four vegetation cover types from the Pantanal using the wavelet transform applied to a time-series of Evi/Modis data. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, p.173-185, 2011.
- Antunes, J. F. G.; Esquerdo, J. C. D. M. Quantification of flooded areas of Pantanal by sub-pixel classification of MODIS time-series data. **Geografia**, Rio Claro, v. 40, p. 39-53, 2015.
- Araujo, A. G. J.; Silva, D. G. Spatial-temporal dynamics of Pantaneiro livestock raising: an analysis based on the censuses from the last 20 years. **Geografia**, Rio Claro, v. 40, p. 55-70, 2015.
- Cardozo, F. S.; Pereira, L. O.; Moura, Y. M.; Pereira, G.; Kampel, M.; Shimabukuro, Y. E.; Moraes, E. C. Utilização de parâmetros biofísicos para a estimativa de áreas alagadas no bioma Pantanal. In: 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2010, Cáceres, MT. **Anais do 3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, p. 809-817, 2010.
- Cardozo, F. S.; Coura, S. M. C.; Pereira, G.; Shimabukuro, Y. E.; Moraes, E. C. Estimativa do impacto das queimadas e emissão dos gases do efeito estufa no Bioma Pantanal em 2010. In: 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal - Geopantanal, 2012, Bonito, MS. **Anais do 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal - Geopantanal**, p. 657-666, 2012.
- Cavassan, O.; Silva, P. G. P.; Seniciato, T. O. **Ensino de Ciências, a Biodiversidade e o Cerrado**. In: Araújo O, Elaine Sandra Nicolini Nabuco de; Caluzi, João José; Caldeira, Ana Maria de Andrade. (Orgs.). *Divulgação Científica e Ensino de Ciências: Estudos e Experiências*. São Paulo - SP, 2006. Impresso; ISBN: 8575312383. Disponível em <<http://www2.fc.unesp.br/cdmct/arquivos/cursocerrado/apresentacao.pasta/cerrado.pdf>>. Acesso em 06 de outubro de 2016.
- Friedl, M. A.; Sulla-Menashe, D.; Tan, B.; Schneider, A.; Ramankutty, N.; Sibley, A.; Huang, X. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 168-182, 2010.
- Giglio, L.; Randerson, J. T.; van der Werf, G. R.; Kasibhatla, P. S.; Collatz, G. J.; Morton, D. C.; DeFries, R. S. Assessing variability and long-term trends in burned area by merging multiple satellite fire products. **Biogeosciences**, v. 7, 1171-1186, p. 1171-2010, 2010.
- Huffman, G. J.; Adler, R. F.; Bolvin, D. T.; Gu, G.; Nelkin, E. J.; Bowman, K. P.; Hong, Y.; Stocker, E. F.; Wolff, D. B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55, 2007.
- Ichoku, C.; Ellison, L.T.; Willmot, K.E.; Matsui, T.; Dezfuli, A.K.; Gatebe, C.K.; Wang, J.; Wilcox, E.M.; Lee, J.; Adegoke, J.; Okonkwo, C.; Bolten, J.; Policelli, F.S.; Habib, S. Biomass burning, land-cover change, and the hydrological cycle in Northern sub-Saharan Africa. **Env. Res. Lett.**, v. 11, n. 9, p. 1-13, 2016
- Justice, C. O.; Giglio, L.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morissette, J. T.; Roy, D.; Descloitres, J.; Alleaume, S.; Petitcolin, F.; Kaufman, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 244-262, 2002.
- Moraes, E. C.; Pereira, G.; Arai, E. Uso dos produtos EVI do sensor MODIS para a estimativa de áreas de alta variabilidade intra e interanual no Bioma Pantanal. **Geografia**, Rio Claro, v. 34, p. 757-767, 2009.
- Moraes, E. C.; Pereira, G.; Cardozo, F. S. Evaluation of reduction of Pantanal wetlands in 2012. **Geografia**, Rio Claro, v. 38, p. 81-93, 2013.
- Pereira, G.; Moraes, E. C.; Arai, E.; Oliveira, L. G. L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. **Revista Bras. de Cartografia**, v. 59, p. 55-61, 2007.
- Pereira, G.; Cardozo, F. C.; Moraes, E. C.; Shimabukuro, Y. E. Estimativa de emissão de gases do efeito estufa no bioma Pantanal. **Geografia**, Rio Claro, v. 34, p. 655-665, 2009.
- Pereira, I. M.; Gonzaga, A. P. D.; Otoni, T. J. O.; Ribeiro, P. S. P.; Chaves, D. A. Regeneração natural pós fogo em dois ambientes de Cerrado no Parque Estadual do Biribiri em Diamantina, MG MG-BIOTA. v. 7, n.1, p. 23 a 39, 2014. ISSN 1983-3687. Disponível <<http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/MGBIOTA/2014/mg%20biot207.pdf>>. Acesso em 04 de outubro de 2016.
- Silva, J. S. V.; Abdon, M. M.; Silva, S. M. N. A.; Moraes, J. A. Evolution of deforestation in the Brazilian pantanal and surroundings in the timeframe 1976-2008. **Geografia**, Rio Claro, v. 36, p. 35-55, 2011.
- Viana, D. R.; Alvalá, R. C. S. Vegetation index performance for the pantanal region during both dry and rainy seasons **Geografia**, Rio Claro, v. 36, p. 143-158, 2011.