
Dinâmica das queimadas sobre os tipos de uso e cobertura da terra na floresta amazônica do estado do Maranhão, Brasil.

Dynamics of forest fires about the types of usage and coverage of the earth in the amazonian forest of the state of Maranhão, Brazil.

Raimundo Nonato Piedade Junior^{1*}, Celso Henrique Leite Silva Junior², Wesley Augusto Campanharo², André Luis Silva dos Santos¹ e Denilson da Silva Bezerra³

RESUMO

A Amazônia maranhense tem registrado diversos tipos de degradação ocasionando diversos danos ao ambiente e a saúde humana. Este trabalho teve por objetivo compreender a dinâmica das áreas queimadas sobre os usos e cobertura da terra no período de 2001 a 2016 na Amazônia maranhense, para isso utilizamos os dados de cobertura e uso do solo do Projeto MapBiomias, de áreas queimadas do produto Fire_cci Burned Area (BA) v5.0, de precipitação do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station – CHIRPS, e de Temperatura os dados MODIS versão 6 (MOD11C3). No período estudado 818.300 hectares foram atingidos pelo fogo. Os solos com elevada proporção de pastagem apresentaram aumento das queimadas, em comparação as demais classes. Os meses de setembro a novembro registraram a maior ocorrência de áreas queimadas apresentando precipitações inferiores a 50 mm e as maiores temperaturas no período. Esses resultados indicam a necessidade de ações de prevenção, controle e manejo do uso do fogo na Amazônia maranhense.

Palavras-chave: Área queimada; Cobertura do solo; Bioma Amazônia;

ABSTRACT

Abstract: The Amazon in the state of Maranhão has recorded several types of degradation causing several damages to the environment and human health. The objective of this work was to understand the dynamics of the burned areas about the usage of the land and coverage in the period from 2001 to 2016 in Maranhão Amazon region. For this purpose we used the coverage and usage soil datas of MapBiomias Project in burned areas of the Fire_cci Burned product Area (BA) v5.0, of precipitation of the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station - CHIRPS, and Temperature MODIS LST data from the Global Climate Model Grid (CMG) version 6 (MOD11C3). The proportion of burned areas by land use and cover and the most critical years was identified, relating the area burned to rainfall and monthly temperature. In the studied period, 818,300 hectares were affected by fire. Soils with high proportion of pasture showed increasing burnings, compared to other classes. The months of September to November registered the highest occurrence of burned areas presenting precipitations below 50 mm and the highest temperatures in the period. These results indicate the need for actions to prevent, control and manage the usage of fire in the Maranhão Amazon.

Keywords: Burned area; Soil coverage; Amazon biome

¹ Instituto Federal do Maranhão

*E-mail: raimundo.piedadejunior@ifma.edu.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

³ Universidade Federal do Maranhão

INTRODUÇÃO

As florestas tropicais desempenham papel crucial na preservação da biodiversidade e prestação de serviços ecossistêmicos essenciais às populações, tais como: suprimento de alimentos; polinização; suporte à produção; regulação da água; regulação do clima e controle da erosão do solo, sendo importantes para o balanço de carbono no ecossistema e por isso vêm recebendo uma atenção cada vez maior nas atividades de controle relacionadas ao aquecimento global (LE CLEC'H *et al.*, 2018; BRIENEN *et al.*, 2015).

Processos locais, regionais e globais afetam os padrões e o ritmo do desmatamento que definem as mudanças do uso da terra na Amazônia brasileira (GOLLNOW *et al.*, 2018). Esses processos se caracterizam por conversões da floresta em pastagem e agricultura, impulsionado pela demanda global de alimentos (LEWIS *et al.*, 2015).

Uma floresta degradada é aquela que sofreu mudanças que resultaram na redução da capacidade de fornecer bens e serviços, consequência de eventos como queimadas, exploração predatória de madeira e fragmentação florestal (THOMPSON, 2012).

Na região Amazônica, o processo de produção e expansão agropecuária e da eliminação da biomassa em áreas recentemente desmatadas ocorrem principalmente pelo uso do fogo (ARAGÃO *et al.*, 2014). Entretanto, o risco de espalhamento do fogo aumenta, em anos de secas extremas transformando essas queimadas em incêndios descontrolados (ARAGÃO *et al.*, 2007). Assim o clima, incluindo as secas de curto e longo prazo em conjunto com fontes ignitoras antrópicas, influenciam os regimes de fogo em incêndios florestais (ALENCAR *et al.*, 2015; LATORRE *et al.*, 2017).

A porção mais oriental do bioma Amazônia atinge o Estado do Maranhão. Nessa região que está localizado mais da metade do centro de endemismo Belém, que abriga grande riqueza biológica com espécies de aves e mamíferos endêmicos e também ameaçados de extinção, compreendendo áreas de grande importância ecológica como Áreas de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense e das Reentrâncias com zonas de contato entre águas marinhas e fluviais que criam ambientes singulares de alta produtividade e riquíssimos em espécies e endemismos de organismos aquáticos, que são a base importante de sustentação das populações humanas locais (OLIVEIRA, 2011).

A Amazônia maranhense há anos tem registrado diversos tipos de degradação, como desmatamento, remoção ilegal de madeira, mineração, produção de carvão,

excessiva caça e pecuária (COSTA *et al.*, 2016), ocasionando diversos danos ao ambiente e a saúde humana (CASTRO *et al.*, 2016). A Amazônia maranhense também está inserida na região do “Arco do Desmatamento e fogo da Amazônia” do Brasil, que compreende as áreas de transição Cerrado-Amazônia, constitui a zona mais frequentemente afetada pelo fogo nas últimas décadas dentro do território brasileiro (ALVES; PÉREZ-CABELLO, 2017).

Assim, para elaborar políticas de controle, manejo e prevenção é importante gerar informações sobre o perfil espacial e temporal de fogo. O sensoriamento remoto pode ajudar a aumentar essas informações e contribuir com estratégias de monitoramento na região da floresta amazônica maranhense, que constitui um patrimônio público que gera benefícios em termos de serviços ambientais que são essenciais para economia e segurança alimentar para essa região e para toda a sociedade e, por isso, deve ser protegida.

Nesse contexto, para compreender a dinâmica das áreas queimadas sobre diferentes tipos de uso e cobertura da terra na Amazônia maranhense, no período compreendido entre os anos de 2001 a 2016, buscou-se responder os seguintes questionamentos: qual a extensão das áreas queimadas na Amazônia maranhense? como ocorreu a distribuição temporal e espacial das áreas queimadas para esse período? ocorreu recorrência das áreas queimadas? houve relação entre a precipitação e temperatura com a ocorrência de áreas queimadas?

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estado do Maranhão é um dos 27 estados do Brasil, localizadas a oeste da Região Nordeste, está limitado ao norte com o Oceano Atlântico, para leste com o Estado do Piauí, a oeste com o estado do Pará, e para o sul e sudoeste com o Estado do Tocantins. Abrangendo uma área de 331.935,5 km² e sua população atual é de 6.574.789 habitantes (IBGE, 2019).

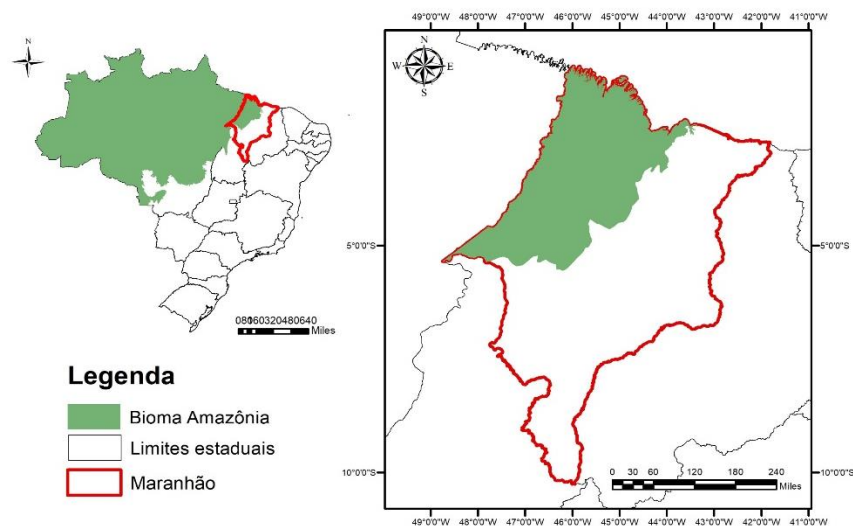
O clima do Estado do Maranhão é predominantemente tropical, onde as temperaturas médias anuais são superiores a 26°C, com totais médios anuais de precipitação que variam desde 700 mm na região central, onde as chuvas são mais

escassas, a superior a 2200 mm na região norte do estado, nas proximidades do litoral onde as chuvas são mais abundantes (NUGEO, 2015).

O Estado do Maranhão contempla três diferentes biomas, o que contribui para uma elevada diversidade de paisagens: o Cerrado, a Amazônia e uma pequena porção do bioma Caatinga (EMBRAPA, 2016). Para as análises desse artigo, foi adotado a delimitação do bioma Amazônia para o estado.

A Amazônia Maranhense (Figura 1), possui rica biodiversidade e encontra-se em 62 municípios do Maranhão e representa em termos do bioma, 34% dos territórios do estado (COSTA *et al.*, 2016).

Figura 1. Localização do estado do Maranhão, com destaque ao bioma Amazônia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Coleta e Processamento de Dados

As informações relativas a cobertura e uso do solo foram extraídas do Projeto MapBiomas, dados disponíveis em: www.mapbiomas.org, Coleção 2.3 (MAPBIOMAS, 2018), em formato raster com resolução espacial de 30 m.

Para áreas queimadas utilizou-se o produto *Fire_cci Burned Area (BA) v5.0* (ROY *et al.*, 2008) disponibilizados pela Agência Espacial Européia (*European Space Agency*, ESA) com resolução espacial de 250m. Possui resolução temporal diária, sendo disponibilizado por meio de uma composição temporal mensal, os dados foram obtidos do site sites da *European Space Agency (ESA) Fire CCI* no endereço: <http://www.esa-fire-cci.org>.

Os dados de precipitação foram originados do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station – CHIRPS* (FUNK *et al.*, 2015), que é um produto desenvolvido pelo Serviço de Observação Geológica dos EUA do *Earth Resources Observation and Science Center*, em associação com o Grupo *Santa Barbara Climate Hazards* da Universidade da Califórnia, com uma resolução espacial ($0,05 \times 0,05^\circ$). link de acesso: <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps>.

Para Temperatura da superfície da terra utilizou-se o conjunto de dados MODIS LST temperatura do modelo de clima global Grid (CMG) versão 6 (MOD11C3) (WAN *et al.*, 2018). O produto incorpora dados coletados com o instrumento *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Os dados do produto LST mensal, tem uma resolução espacial de $0,05^\circ$ e foram extraídos em: <https://lpdaac.usgs.gov>, para o período estudado.

Análises espaciais e temporais foram realizadas para caracterizar os padrões de incêndios na área de estudo, assim como identificar os tipos de uso e cobertura do solo mais afetados, a recorrência de incêndios e os meses e anos mais críticos. Para a análise dos principais usos da terra em que ocorrem áreas queimadas realizou-se inicialmente o recorte da área de estudo em seguida a reclassificação das classes do Mapbiomas para 5 classes: 0. Outros = Outras áreas não vegetadas, infraestrutura urbana, corpos d'água, praia e dunas e não observado; 1. Floresta = Floresta Naturais, Formações Florestais, Mangue e Florestas Plantadas; 2. Formações Naturais não Florestais = Área úmidas naturais não florestais, vegetação campestre, Outras Formações não Florestais; 3. Pastagem = pastagem, agricultura ou pastagem; 4. Agricultura = Agricultura. Essa reclassificação teve por objetivo agrupar usos e cobertura da terra semelhantes em uma única classe e agrupar as classes que não são de interesse para o estudo. Os dados de área queimada derivados produto *Fire_cci Burned Area (BA) v5.0*, de precipitação do CHIRPS também foram recortados para a área de estudo. O período da análise dos dados compreendeu os anos de 2001 a 2016.

Em seguida, as áreas queimadas foram agrupadas por mês a fim de determinar o total mensal e anual. Especialmente, foi quantificado o total de áreas queimadas por proporção da classe de uso e cobertura do solo, médias de temperatura mensais e da precipitação média anual e mensal para todo o período 2001-2016, sendo que para isto os produtos de área queimada, precipitação, temperatura e uso e cobertura foram agrupados em uma grade regular de 10 x10 km.

Para quantificar os anos extremos de temperatura, bem como das áreas queimadas foram calculadas anomalias mensais para cada uma no período de estudo, de acordo com a metodologia proposta por ARAGÃO *et al.* (2007), (Equação 1).

$$X_{anomalias} = \frac{X - (\Sigma(2001-2016)/15)}{\sigma_{2001-2016}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que, $X_{anomalia}$ é a anomalia de temperatura ou das áreas queimadas, X é o valor do ano a ser avaliado, $\Sigma(2001-2016)/15$ é a média da série em questão (de 2001 à 2016) e $\sigma_{2001-2016}$ é o desvio padrão da série adotada.

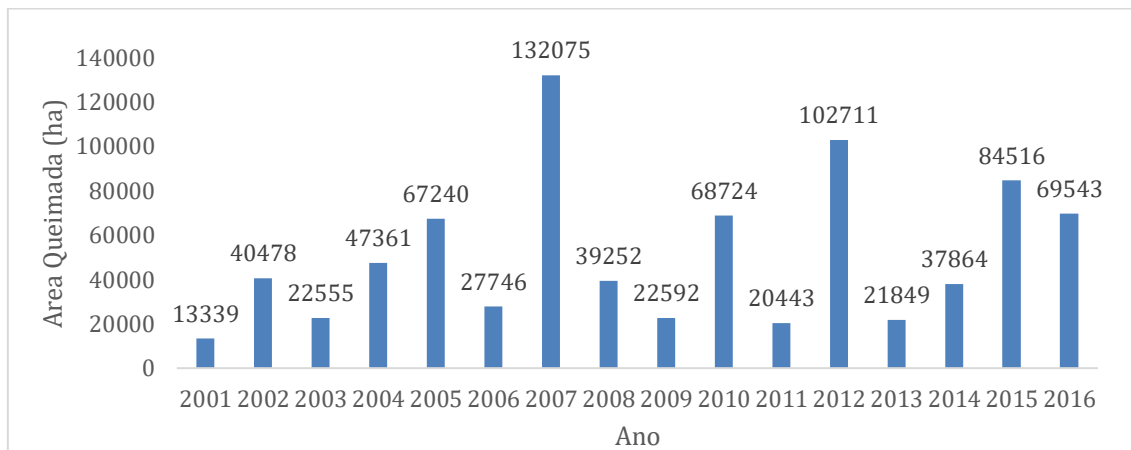
Realizamos também uma análise de tendência a partir do teste não paramétrico Mann-Kendall que foi utilizado para avaliar os sinais de tendência e a significância estatística das anomalias e índice oceanico niño (*ONI - Oceanic Niño index*) (NOAA, 2019) para o período de estudo.

RESULTADOS

Dinâmica espacial e temporal das áreas queimadas sobre os diferentes usos e cobertura do solo.

A área queimada acumulada para o período entre 2001 e 2016 na Amazônia maranhense foi de 818.300 hectares, uma área que correspondente a 43,57% do território do bioma no estado, entretanto sabe-se que existem recorrência de queimadas em uma mesma área ao longo dos anos. Os anos com maiores áreas queimadas foram 2007, 2012 e 2015 com 132.075, 102.711 e 84.516 ha respectivamente (Figura 2). Os menores registros de áreas queimadas foram para os anos de 2001, 2011, 2013 e 2009, com 13.339 hectares, 2011, com 20.443 hectares, 2013 com 21.849 e 2009, com 22.592 hectares queimados.

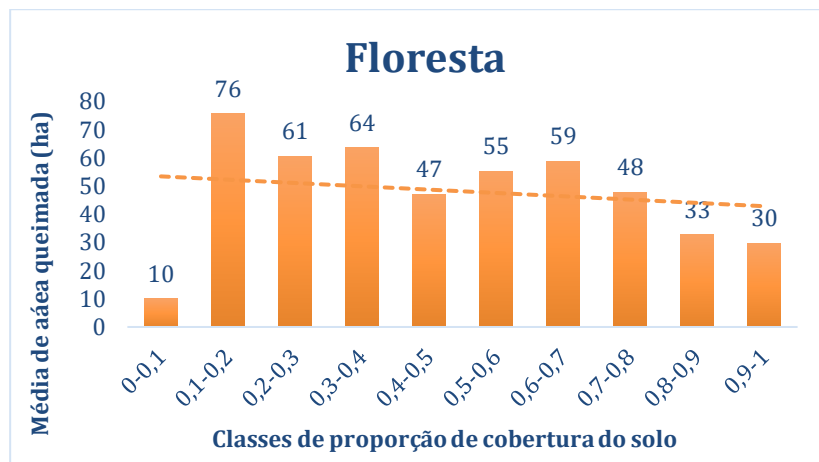
Figura 2. Quantificação das áreas queimadas no período de 2001 a 2016 para o bioma Amazônia no estado do Maranhão.



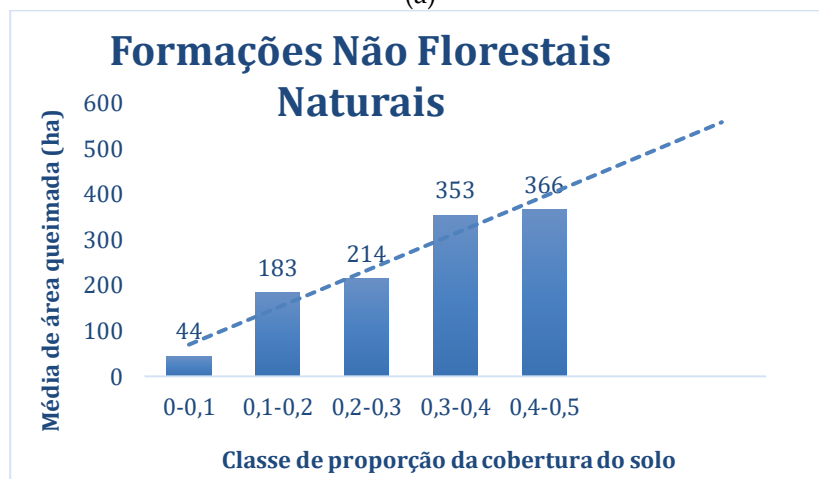
Fonte: Elaborado pelos autores.

No período avaliado, foram observadas as médias de áreas queimadas de acordo com as proporções das classes de uso e cobertura do solo (Figura 3). Os resultados evidenciaram que a medida que a proporção de floresta em uma área aumenta, ocorre uma diminuição das áreas queimadas, onde as menores médias de áreas queimadas foram encontradas nas classes compostas por 80 a 100% de florestas, indicando que em áreas de floresta preservadas ocorre uma área menor a incidência de incêndios. O valor mais baixo foi encontrado na proporção de área com até 10% de floresta, o que pode estar associado, principalmente, com outras formas de uso e cobertura do solo. Com relação a cobertura de Formações Florestais Não Naturais, as áreas analisadas não apresentaram composição acima de 50% com estas Formações Florestais, indicando que são formações de pequenas extensões ou mais fragmentadas espacialmente, sendo compostas principalmente por vegetação de campos e savânicas, características da região de transição com o cerrado. Entretanto, as maiores médias de áreas queimadas para o período se encontraram nesse tipo de formação vegetal, nas maiores proporções encontradas dessa vegetação as médias foram de 366 ha de áreas queimadas. Para a cobertura de pastagens foi possível observar que quando maior a proporção de uma área com pastagem é maior a média de áreas queimadas observadas.

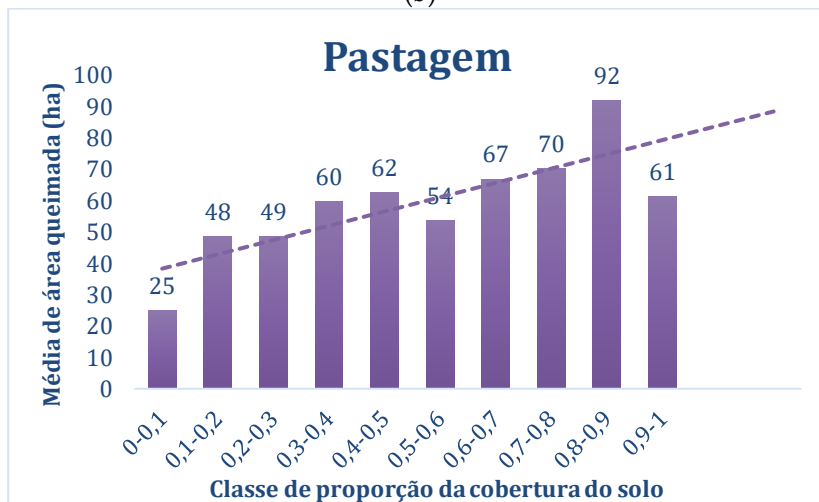
Figura 3. Médias de áreas queimadas no período de 2001 a 2016, por classe de proporção de Floresta (A), Formações Não Florestais Naturais (B) e Pastagem (C) para o bioma Amazônia do estado do Maranhão.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Elaborado pelos autores.

A recorrência de incêndios florestais variou entre duas a onze vezes em 15 anos, concentradas principalmente nas porções sudoeste do bioma no estado, na transição com o cerrado. As áreas que queimaram somente uma vez compreenderam a grande maioria dos casos, com 82% das ocorrências. As que queimaram duas vezes ou mais corresponderam a 18% das áreas de recorrência. (Tabela 1).

Tabela 1. Ocorrência e recorrência de áreas queimadas no bioma Amazônia do estado do Maranhão, entre 2001 e 2016.

NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	ÁREA (ha)	%
1	7428,4	82,0
2	1060,3	11,7
3	338,0	3,7
4	151,2	1,7
5	57,7	< 1
6	13,0	< 1
7	4,6	< 1
8	4,0	< 1
9	0,9	< 1
10	0,4	< 1
Total	9058,3	100

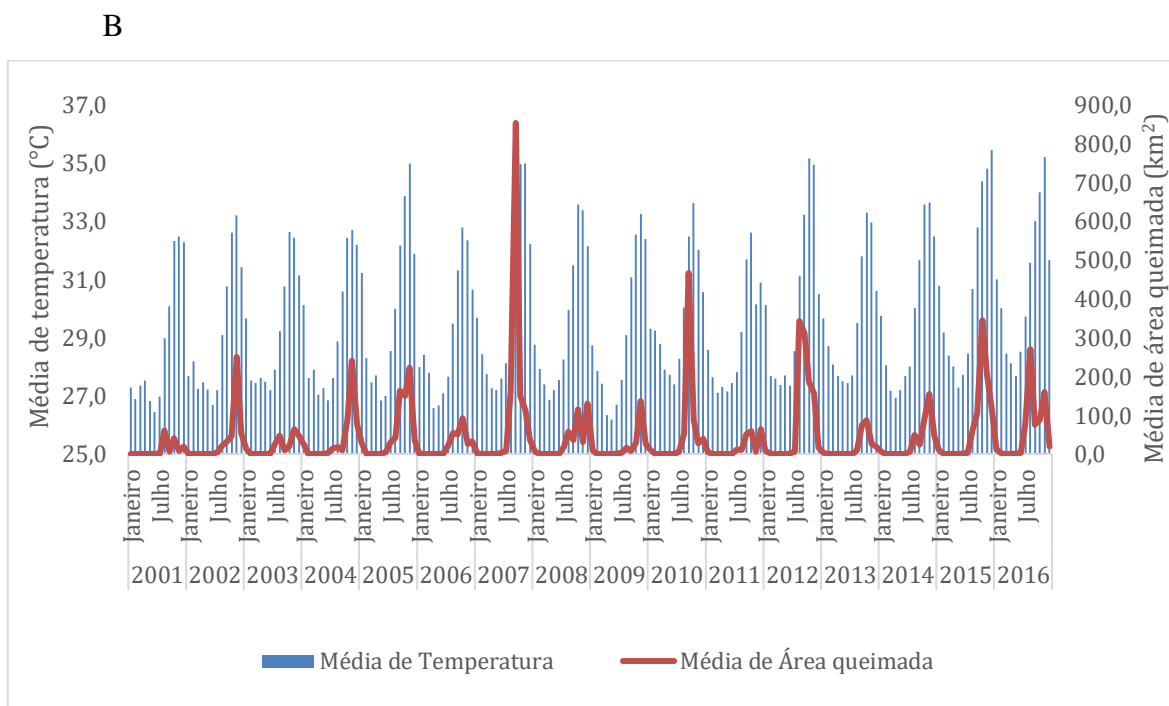
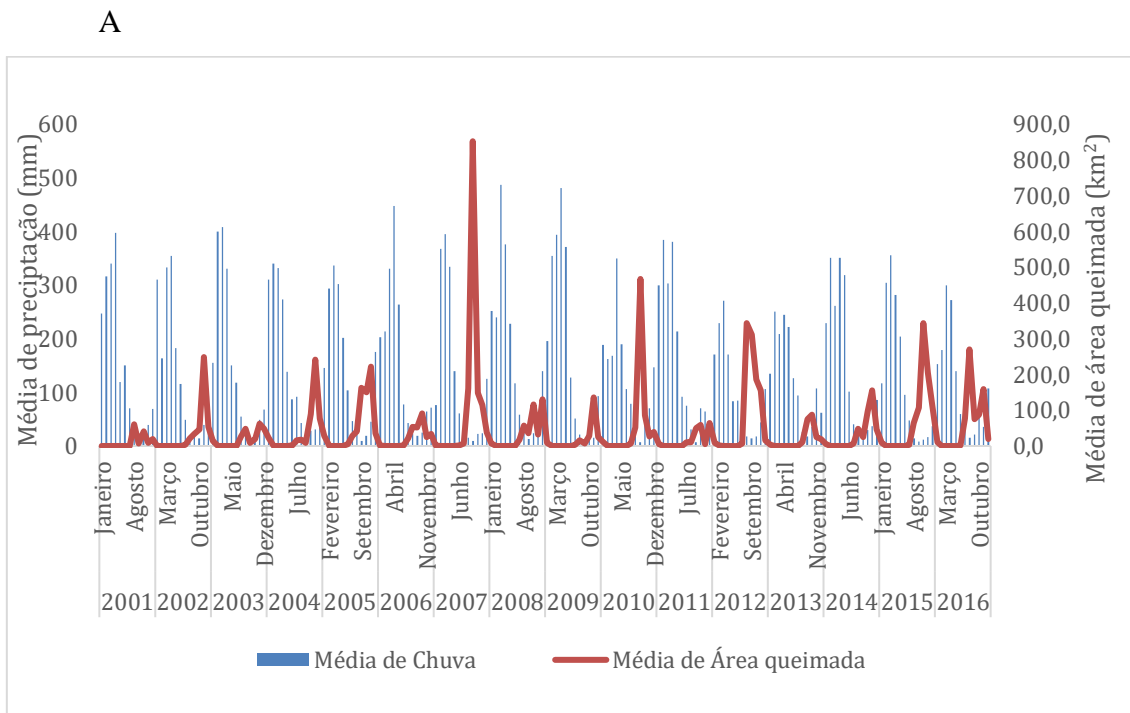
Fonte: Elaborado pelos autores.

Dinâmica das áreas queimadas e sua relação com precipitação e temperatura.

O padrão das áreas queimadas variou de acordo com a precipitação, em anos que a precipitação acumulada foi baixa a ocorrência de áreas queimadas foi elevada. Esse padrão ocorreu para os anos com as maiores áreas queimadas.

Relacionando os dados de precipitação e área queimada, do período de 2001 a 2016, verificou-se que os meses de setembro a novembro possuem a maior ocorrência de áreas queimadas, neste período as precipitações médias ficaram inferiores a 50 mm. O mês com as médias de precipitação de 10mm ou menos foram registradas em setembro dos anos de 2005, 2007, 2009, 2010, 2011 e 2015 sendo que setembro de 2007 e 2010 ocorreram as maiores extensões de área queimada (85.280 e 46.700 ha respectivamente), no qual foi registrada precipitação de aproximadamente 09 mm e 07 mm, respectivamente. As maiores médias de temperatura registradas para o período ocorreram nos meses de outubro e novembro, em torno de 35° nos anos de 2005, 2007, 2012, 2015 e 2016, neste mesmo período foram registradas as maiores quantidades de áreas queimadas (figura 4).

Figura 4. Médias de chuva e áreas queimadas mensais (A) e médias de temperatura e áreas queimadas mensais (B) no bioma Amazônia no estado do Maranhão entre 2001 e 2016.

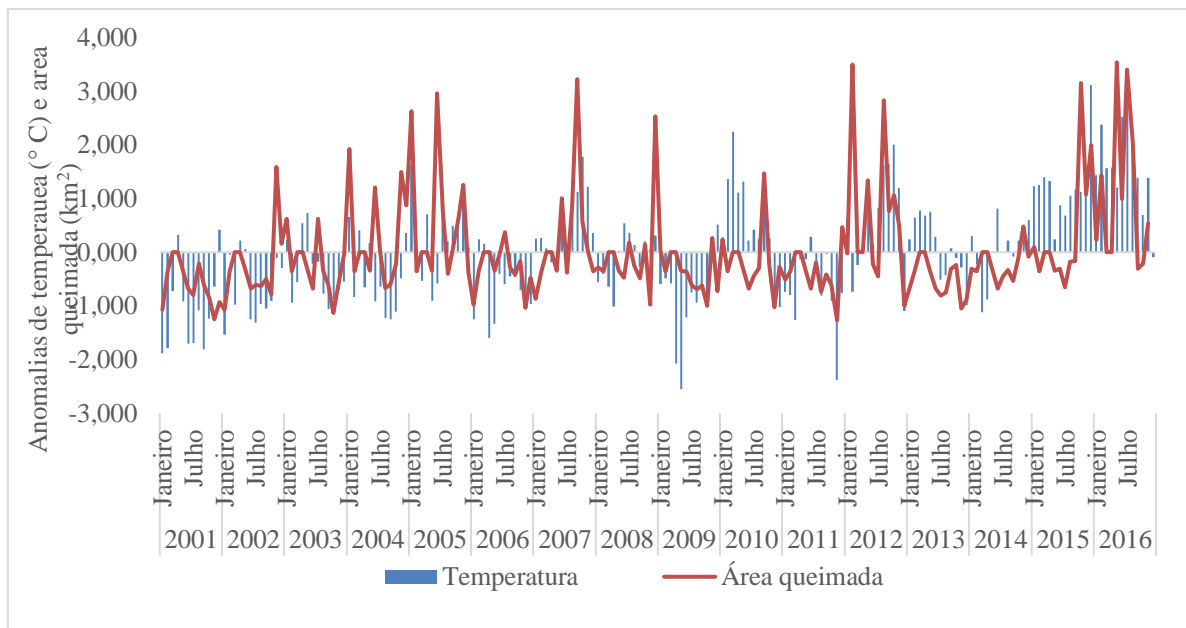


Fonte: Elaborado pelos autores.

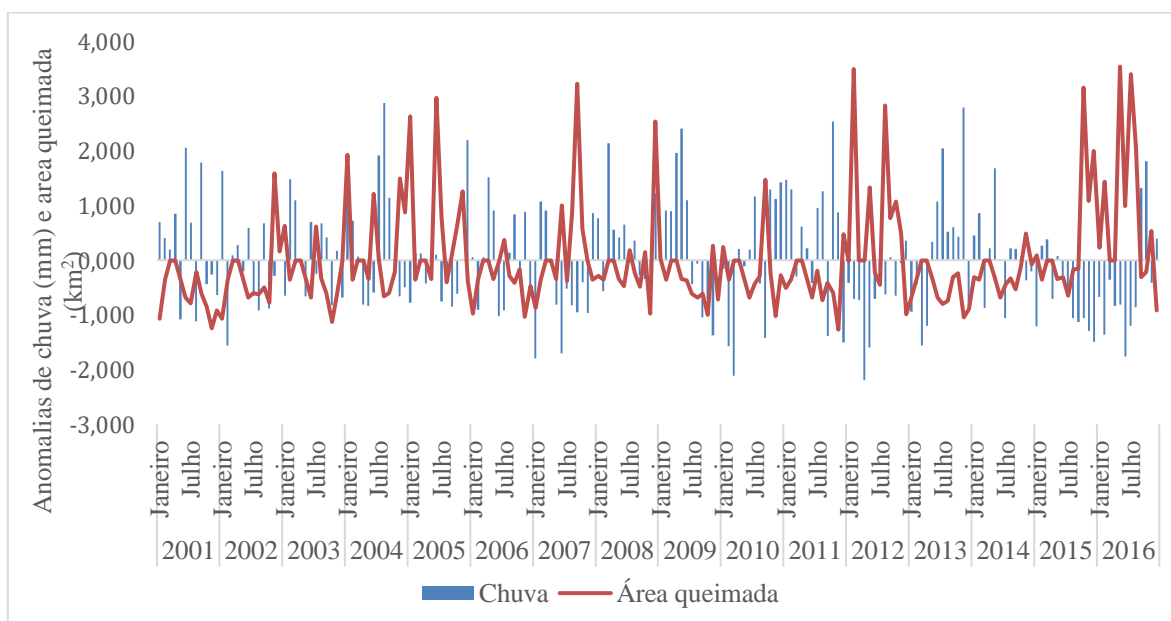
As maiores anomalias negativas de incêndios ocorreram em sua maioria nos meses de novembro. Ao longo de 2007, 2012 e 2015 ocorreram meses com anomalias negativas de precipitação e positivas para temperatura, que correspondem aos maiores índices de áreas queimadas registradas para o período estudado. Podemos destacar que tanto a temperatura quanto a precipitação permanecem anômalas por mais tempo nos últimos anos de 2014 a 2016 (Figura 5).

Figura 5. Anomalia de chuva (A) e temperatura (B) comparada com anomalias de áreas queimadas no bioma Amazônia do estado do Maranhão entre 2001 a 2016.

A



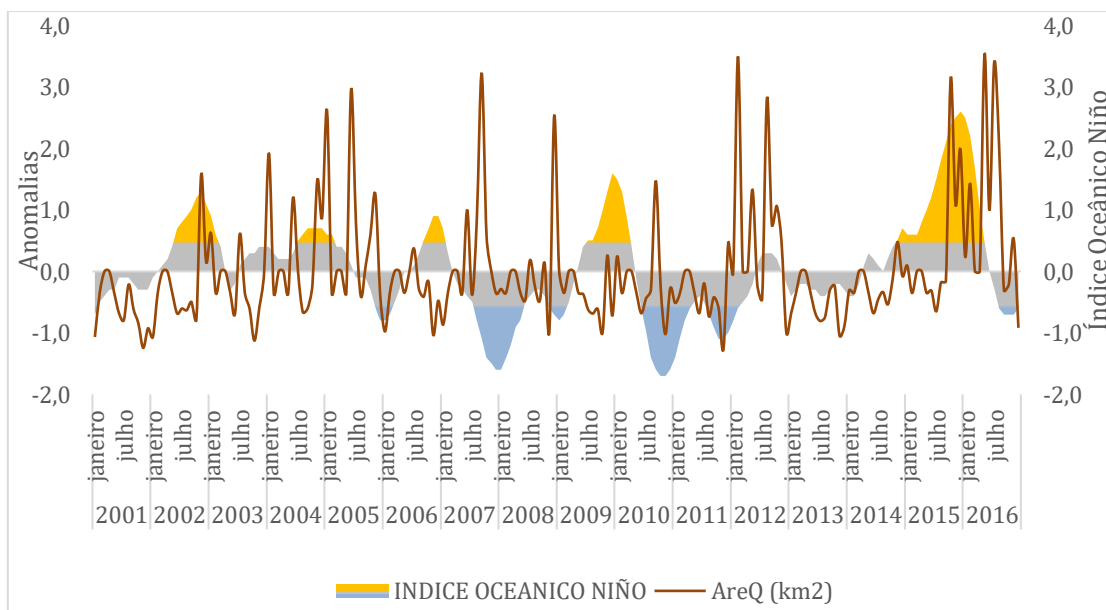
B



Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com os índices oceânicos *niño* (Figura 6), no período de 2001 a 2016 observamos que as anomalias positivas de áreas queimadas estão relacionadas a presença do fenômeno *El Niño*, principalmente nos anos de 2014 a 2016 em que ocorreu o fenômeno de forma mais intensa, mantendo as anomalias positivas para as áreas queimadas durante esse mesmo período.

Figura 6. Índice Oceânico *Niño* e anomalias de áreas queimadas no bioma Amazônia do estado do Maranhão entre 2001 a 2016. Valores acima de 0,5 indicam presença do *El Niño*, e menores que -0,5 de *La Niña*.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Realizando a análise de Mann Kendall com os dados de anomalias para o período total, verificou-se que o índice oceânico *niño* se manteve constante durante o período ($p= 0,944$). Ocorreu uma leve tendência de diminuição da precipitação ($p =0,047$) e de aumento para a áreas queimadas ($p=0,038$). Somente a temperatura possuiu elevado nível de significância com tendência positiva para a série ($p<0,0001$), essa mesma tendência para a temperatura ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro e de junho a outubro, quando analisados separadamente ao longo de todos os anos, estes últimos sendo considerados meses com estiagem para o bioma, já o índice oceânico *niño*, a precipitação e áreas queimadas se mantiveram constante ($p>0,05$) quando analisados os meses de forma isolada para o período.

DISCUSSÃO

No período estudado as maiores áreas queimadas estão associadas aos anos que tiveram eventos climáticos adversos, como os anos de secas extremas na Amazônia, ocorridas em 2005, 2010 e 2015 (LEWIS *et al.*, 2011; ZENG *et al.*, 2008; JIMÉNEZ-MUÑOZ *et al.*, 2016) e no Nordeste do Brasil entre 2012 e 2015 (MARENGO *et al.*, 2016). Neste período foram encontradas as maiores extensões de áreas queimadas, isso por estar relacionado com a localização da Amazônia maranhense que recebe influência tanto do clima úmido da Amazônia quanto do semiárido nordestino. CARDOZO *et al.*, (2014) também encontrou as maiores áreas queimadas nos anos de 2005 e 2010 na Amazônia. NEVES *et al.*, (2018) observou os maiores índices nos anos de 2007, 2010 e 2012 na zona de transição Amazônia-cerrado.

Além disso, o *El Niño* e *La Niña* tem influência no comportamento climático, intensidade dos ventos alísios, precipitação, secas, cheias e frentes frias que atingem o norte-nordeste da América do Sul, com efeitos na Amazônia que podem favorecer a ocorrência do fogo nessa região (MARCUIZZO; ROMERO, 2013).

Os meses de setembro a novembro registraram as maiores extensões de áreas queimadas, sendo estes os meses com as menores precipitações para a região, indicando que as queimadas são moduladas principalmente pelo padrão de sazonalidade das precipitações. Resultados similares foram indicados para todo o bioma Amazônia por NOGUEIRA *et al.*, (2017). O mês de setembro apresentou as maiores áreas queimadas por vários anos, sendo o mês com as menores precipitações, abaixo de 50 mm e com as maiores médias de temperatura, seguido dos meses de outubro e novembro. ARAGÃO *et al.*, (2007) observou que, quando a precipitação mensal na Amazônia é inferior a 100 mm, a floresta entra em déficit hídrico, favorecendo a incidência de queimadas pelo aumento de material combustível na vegetação. Essa relação também foi observada em ocorrências de secas extremas na Amazônia (ANDERSON *et al.*, 2018).

As áreas com maior recorrência encontram-se principalmente nas regiões sul da Amazônia maranhense, onde ocorre maior atividade antrópica da região, que se dá através da ocupação da fronteira agrícola, industrialização e pelo desenvolvimento impulsionado pela Estrada de Ferro Carajás (ALMEIDA, 2016; RIBEIRO JÚNIOR; SANT'ANA JÚNIOR, 2011). MORTON *et al.*, (2013) também verificou a relação da recorrência com atividades antrópicas na Amazônia.

Observamos que o aumento das áreas queimadas está associado as áreas de pastagem, isso se deve à falta de manejo adequado em que o fogo é utilizado para limpeza do pasto nessa região. Em muitos casos, o fogo pode escapar para florestas vizinhas contribuindo para os incêndios florestais (CANO-CRESPO *et al.*, 2015; ROSAN *et al.*, 2017; ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010). Entretanto, observamos que a maior a quantidade de floresta em uma área ocorre uma redução das áreas queimadas.

As intensas mudanças no uso e cobertura da terra e na degradação da floresta na Amazônia ameaçam a estrutura da floresta, a biodiversidade e as funções ecológicas (COE *et al.*, 2013). Essas mudanças ocasionadas pelas atividades humanas geram um mosaico de usos da terra e aumentam a degradação pelo desmatamento, fragmentação, regeneração florestal, extração seletiva e incêndios florestais (ARAGÃO *et al.*, 2014).

CONCLUSÕES

As análises mostraram que as diferentes classes de uso e cobertura da terra na Amazônia maranhense tem comportamentos distintos para ocorrência das áreas queimadas, reduzindo com o aumento da classe de floresta e com aumento na classe de pastagens. Além disso, verificamos que as condições climáticas, como as altas temperaturas e as baixas precipitações em determinadas épocas do ano favoreceram a ocorrência de queimadas, que pode ser agravado cada vez mais diante das mudanças climáticas globais podendo causar o aumento e a duração desses eventos de incêndios florestais. Dessa forma, as atividades de combate aos incêndios florestais e a redução do uso do fogo devem fazer parte da estratégia de prevenção para a Amazônia maranhense, visto que o manejo da terra livre do fogo pode reduzir a incidência de incêndios nessa área.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, A.A.; BRANDO, P. M.; ASNER, G. P.; PUTZ, F. E. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. **Ecological Applications**, 2015; 25(6), 1493-1505. DOI: <https://10.1890/14-1528.1>

ALMEIDA, D.L. Amazônia Maranhense: campos de conflito e interesse. **Revista de Políticas Públicas**, 2016; 20, 261-66. DOI: <https://10.18764/2178-2865.v20nEp261-266>

ALVES, D.B.; PÉREZ-CABELLO, F. Multiple remote sensing data sources to assess spatio-temporal patterns of fire incidence over Campos Amazônicos Savanna Vegetation Enclave (Brazilian Amazon). **Science of The Total Environment**, 2017; 601–602, 142-158. DOI: <https://10.1016/j.scitotenv.2017.05.194>

ANDERSON, L.O.; RIBEIRO NETO, G.; CUNHA, A.P.; FONSECA, M.G.; MOURA, Y.M.; DALAGNOL, R. *et al.* Vulnerability of Amazonian forests to repeated droughts. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, 2018; 373, 20170411. DOI: <https://10.1098/rstb.2017.0411>

ARAGÃO, L.E.O.C.; MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R.M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y.E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, 2007, 34, L07701. DOI: <https://10.1029/2006GL028946>.

ARAGÃO, L.E.O.C.; POULTER, B.; BARLOW, J.B.; ANDERSON, L.O.; MALHI, Y.; SAATCHI, S. *et al.* Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, 2014; 89(4), 913-31. DOI: <https://10.1111/brv.12088>

ARAGÃO, L.E.O.C.; SHIMABUKURO, Y.E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. **Science** 2010, 328, 1275-78. DOI: <https://10.1126/science.1186925>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -EMBRAPA. **Conservação da biodiversidade do estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais**. 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159940/1/Serie-Docmentos-108-Luciana.pdf>>. Acesso: 05 jan. 2019.

BRIENEN, R.J.W.; PHILLIPS, O.L.; FELDPAUSCH, T.R.; GLOOR, E.; BAKER, T.R.; LLOYD, J. *et al.*, Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, 2015, 519, 344-48. DOI: <https://10.1038/nature14283>

CANO-CRESPO, A.; OLIVEIRA, P.J.C.; BOIT, A.; CARDOSO, M.; THONICKE, K. Forest edge burning in the Brazilian Amazon promoted by escaping fires from managed pastures. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**. 2015;120(10), 2095-2107. DOI: <https://10.1002/2015JG002914>

CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y.E.; MORAES, E.C. Avaliação das áreas queimadas no estado de Rondônia-amazônia brasileira / Evaluation of biomass burning areas in Rondônia state-brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Cartografia**. [S. l.], v. 66, n. 3, 2014. DOI: <https://10.14393/rbcv66n3-44766>

CASTRO, F.R.; BASTOS, D.M.R.F.; MENDES, M.; SILVA, L.; NUNES, J.L.S. Impactos das queimadas sobre a saúde da população humana na Amazônia maranhense/ Biomass burning impact on the human population health in the Amazon region from Maranhão, **Revista de Pesquisa em Saúde**, 2016, 17 (3). Disponível em: <<http://www.periodicoeletronicos.ufma.br/index.php/revistahuufma/article/download/5400/4328>>. Acesso: 20 dez. 2018.

COE, M.T.; MARTHEWS, T.R.; COSTA, M.H.; GALBRAITH, D.R.; GREENGLASS, N.L.; IMBUZEIRO, H.M.A. Deforestation and climate feedbacks threaten the ecological integrity of south-southeastern Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, 2013; 368: 20120155. DOI: <https://10.1098/rstb.2012.0155>

COSTA, M.K.L.; CHAVES, L.P.F.A.; SILVA, R.A.; SIQUEIRA, G.M. Considerations over the biogeography of the west mesoregion of Maranhão (Brazil), **Journal of Geospatial Modelling**, 2016; 1 (1), 41-51. DOI: <https://10.22615/jgm-1.1-5813>

FUNK, C.C.; PETERSON, P.J.; LANDSFELD, M.F.; PEDREROS, D.H.; VERDIN, J.P.; SUKLA, S. *et al.*, The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, 2015; 2, 1–21. DOI: <https://10.1038/sdata.2015.66>

GOLLNOW, F.; GÖPEL, J.; HISSA, B.V.L.; SCHALDACH, R.; LAKES, T. Scenarios of land-use change in a deforestation corridor in the Brazilian Amazon: combining two scales of analysis. **Reg Environ Change** 2018; 18, 143–159. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10113-017-1129-1>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. **Cidades**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/panorama>> Acesso: 08 Jan. 2019

JIMÉNEZ-MUÑO, Z. J.C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y. *et al.*, Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016 **Scientific Reports**, 2016; 6, 33130. DOI: <https://10.1038/srep33130>

LATORRE, N.S.; ARAGÃO, L.E.O.C.; ANDRESON, L.O. Impactos de queimadas sobre diferentes tipos de cobertura da terra no leste da Amazônia legal brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**; 2017. 69(1). Disponível em <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44039>> . Acesso: 09 jul. 2019.

LE CLEC'H, S.; JÉGOU, N.; DECAENS, T.; DUFOUR, S.; GRIMALDI, M.; OSZWALD, J. From Field Data to Ecosystem Services Maps: Using Regressions for the Case of Deforested Areas Within the Amazon. **Ecosystems**. 2018; 21: 216–236. DOI: <https://10.1007/s10021-017-0145-9>

LEWIS, S.L.; EDWARDS, D.P.; GALBRAITH, D. Increasing human dominance of tropical forests. **Science**. 2015; 349:827-832. DOI: <https://10.1126/science.aaa9932>

LEWIS, S.L.; BRANDO, P.M.; PHILLIPS, O.L.; VAN DER HEIJDEN, G.M.F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon drought. **Science** 2011; 331, 554. DOI: <https://10.1126/science.1200807>

MARCUZZO, F.F.N.; ROMERO, V. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2013; 28(4) Disponível em: <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_dl.php?id_artigo=1181&id_arquivo=2915>. Acesso: 09 jul 2019.

MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P.; ALVES, L.M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico, **Climanálise**, 2016; 3. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jose_Marengo/publication/311058940_A_seca_de_201215_no_semiarido_do_Nordeste_do_Brasil_no_contexto_historico/links/583c5f8408ae1ff45982de44/A-seca-de-2012-15-no-semiarido-do-Nordeste-do-Brasil-no-contexto-historico.pdf>. Acesso: 09 jul 2019.

OLIVEIRA, T.G. (Orgs). **Amazônia Maranhense: Diversidade e conservação**. Belém: MPEG, 2011. Disponível em:<https://www.researchgate.net/profile/Julio_Roma/publication/234884455_Composicao_e_vulnerabilidade_da_avifauna_da_Amazonia_maranhense_Brasil/links/0912f5102b25fc6439000000.pdf>. Acesso 09 jul 2019

Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão-NUGEO, Laboratório de Meteorologia, 2015. Disponível em: <http://www.nugeo.uema.br/?page_id=81>. Acesso: 12 jul 2018.

MORTON, D.C.; LE PAGE, Y.; DEFRIES, R.; COLLATZ, G.J.; HURTT, G.C. Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2013; 368(1619). DOI: <https://10.1098/rstb.2012.0163>

National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA. **The Oceanic Niño Index (ONI)**. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/understandingclimate/climate-variability-oceanic-ni%C3%B1o-index.>>. Acesso: 26 jun. 2019.

NEVES, L.F.S.; MARIMON, B.S.; ANDERSON, L.O.; NEVES, S.M.A.S. Dinâmica de fogo no Parque Estadual do Araguaia, zona de transição Amazônia-Cerrado. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, 2018; 44: 85-103. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.47926>

NOGUEIRA, J.M.P.; RAMBAL, S.; BARBOSA, J.P.R.A.D.; MOUILLOT, F. Spatial Pattern of the Seasonal Drought/Burned Area Relationship across Brazilian Biomes: Sensitivity to Drought Metrics and Global Remote-Sensing Fire Products. **Climate**. 2017; 5(2) 42. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli5020042>

Projeto MapBiomias. 2018. Coleção 2.3 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection_download>. Acesso: 18 jul. 2018.

RIBEIRO JÚNIOR, J.A.S.; SANT'ANA JÚNIOR, H.A. A geografia política dos conflitos ambientais no Maranhão: território, desenvolvimento e poder no Relatório de Sustentabilidade da Vale 2009. **Revista Percurso**. 2011; 3(1):107–123. DOI: <https://10.4025/revpercurso.v3i1.13397>

ROSAN, T.M.; ANDERSON, L.O.; VEDOVATO, L. Assessing the Origin of Hot Pixels in Extreme Climate Years in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de**

Cartografia, 2017; 69. Disponível em:

<https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Assessing%20the%20Origin%20of%20Hot%20Pixels%20in%20Extreme%20Climate%20Years%20in%20the%20Brazilian%20Amazon&author=Rosan,+T.M.&author=Anderson,+L.O.&author=Vedovato,+L.&publication_year=2017&journal=Rev.+Bras.+Cartogr.&volume=69&pages=731%E2%80%93741>. Acesso: 19 jun 2018.

ROY, D.P.; BOSCHETTI, L.; JUSTICE, C.O.; JU, J. The collection 5 MODIS burned area product—Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product, Remote Sense. **Environmental** 2008; 112(9): 3690-3707. DOI: <https://10.1016/j.rse.2008.05.013>

THOMPSON, I. D. Forest biodiversity, carbon and other ecosystem services: relationships and impacts of deforestation and forest degradation. In: Parrotta, J. A.; Wildburger, C. Editores. Understanding relationships between biodiversity, carbon, forests and people: The key to achieving REDD + objectives. Volume 3, Vienna, Austria: **IUFRO World Series**; 2012.

WAN, Z.; HOOK, S.; HULLEY, G. MOD11C3 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2015. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11c3v006/>> Acesso: 18 jun 2019.

ZENG, N.; YOON, J.H.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C.A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J.D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environmental Research Letters**. 2008; 3(1). DOI: <https://10.1088/1748-9326/3/1/014002>