

Revista Brasileira de Cartografia (2017), N° 69/4, Edição Desastres Naturais e Impactos Ambientais: 731-741
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO DA ORIGEM DE FOCOS DE CALOR EM ANOS DE EXTREMOS CLIMÁTICOS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Assessing the Origin of Hot Pixels in Extreme Climate Years in the Brazilian Amazon

Thais Michele Rosan¹, Liana O. Anderson^{2,1} & Laura Vedovato¹

**¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Tropical Ecosystems and Environmental Sciences Laboratory - TREES
Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR**

Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, CEP 12227-010, São José dos Campos, SP, Brasil
thais.rosan@inpe.br, laurabv@dsr.inpe.br

**²Centro Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN
Coordenação-Geral de Pesquisa e Desenvolvimento**

Parque Tecnológico de São José dos Campos, estrada Doutor Altino Bondensan, 500,
CEP 12247-016, São José dos Campos, SP, Brasil
liana.anderson@cemaden.gov.br

*Recebido em 16 de Novembro, 2015/ Aceito em 2 de Fevereiro, 2017
Received on November 16, 2015/ Accepted on February 2, 2017*

RESUMO

Apesar da diminuição das taxas de desmatamento na Amazônia, as queimadas têm aumentado devido à associação entre práticas de manejo da terra e aumento da frequência de estiagens mais intensas. No presente trabalho mensurou-se o tipo de uso e cobertura da terra que mais queimou em um ano de seca extrema (2010) em comparação com dois anos de precipitação normais (2008 e 2012). Em seguida foi avaliada a associação entre os focos de calor em floresta e quais os tipos de uso e cobertura da terra que mais influenciam na propagação do fogo para a floresta. A área de estudo selecionada foi o município de São Félix do Xingu – Pará. Os resultados obtidos demonstraram que a classe pastagem apresentou maior influência na proximidade com focos de calor em florestas. Além disso, o maior déficit hídrico de 2010 contribuiu para a intensificação das queimadas associado às fontes humanas de propagação do fogo.

Palavras chaves: Uso e Cobertura da Terra, Focos de Calor, Geoprocessamento, Amazônia, Incêndios, Seca de 2010.

ABSTRACT

Besides the decrease of the deforestation rates in Amazonia, fire has increased due to the association between land management and the increase in the frequency of severe droughts. The present work quantified the land cover types which burned in a drought year (2010) in comparison with two normal years (2008 and 2012). Then, the associations between hot pixels in forest which land cover that influenced fire propagation to forests were evaluated. The study area is the municipality of São Félix do Xingu – Pará. Results demonstrated that pasture is the class with more influence in proximity with hot pixels in forests. Moreover, the high water deficit in 2010 contributed to fire intensification associated to human fire propagation.

Keywords: Land Cover, Hot Pixel, Geoprocessing, Amazonia, Forest Fires, 2010 Drought.

1. INTRODUÇÃO

Diversas transformações na paisagem amazônica têm causado impactos na estrutura e composição da sua cobertura florestal. Estas alterações estão associadas a conversão de florestas em áreas destinadas à produção agropastoril e também a intensa exploração madeireira. Concomitantemente a estes processos de transformações na paisagem, a utilização do fogo tornou-se uma prática recorrente associada ao desmatamento e conseqüente limpeza do terreno desflorestado. Este tipo de manejo associado às estiagens mais intensas e frequentes tem contribuído para o aumento da frequência de queimadas nesta região (ARAGÃO *et al.*, 2007; MORTON *et al.*, 2008).

O fogo tem grande influência no clima e ecossistemas tropicais em decorrência da sua relação com as mudanças de uso e cobertura da terra e o ciclo do carbono. As queimadas em florestas causam uma série de impactos ambientais, como a degradação florístico-estrutural da vegetação (XAUD *et al.*, 2013) e a perda de biomassa e emissão de carbono (ALENCAR *et al.*, 2006; ANDERSON *et al.*, 2015).

O fogo causado por influência antrópica se torna um problema na conservação de florestas primárias, acarretando em potenciais repercussões no regime climático global. Desse modo, são importantes estudos sobre a conexão entre as práticas locais que acarretam na ignição do fogo e as características da paisagem que proporcionam a propagação do fogo em proporções desastrosas (SORRENSEN, 2009).

De acordo com Sorrensen (2002) os desastres naturais relacionados ao fogo podem ser exacerbados pela dinâmica social e seus diferentes modos de uso do fogo no manejo da terra, como conflitos territoriais, exploração madeireira seletiva, colonização de novas áreas, dentre outros, fazendo com que a paisagem torne-se vulnerável à dispersão do fogo.

Nos últimos 10 anos a Amazônia sofreu três períodos de seca intensos. A grande seca de 2005, relacionada à Oscilação Multidecadal do Atlântico (do inglês *Atlantic Multidecadal Oscillation - AMO*) (MARENGO *et al.*, 2008), foi considerada a maior seca dos últimos 100 anos. Durante este evento, observou-se

a intensificação das queimadas na Amazônia (ARAGÃO *et al.*, 2007). O segundo evento de seca extrema ocorreu em 2010. Este evento foi quantificado como ainda mais severo que a seca de 2005 e seu início foi associado ao evento de *El Niño* e posteriormente potencializado pelo AMO (MARENGO *et al.*, 2011). Esses eventos de seca extrema na Amazônia desencadeiam grandes desastres naturais relacionados a incêndios, observado também durante o *El Niño* de 1997-1998 (SHIMABUKURO *et al.*, 2000), indicando que a Amazônia é vulnerável ao fogo em anos de precipitação anômala. Em 2015 e durante a atual estação seca em 2016, devido ao efeito do *El Niño*, foram registrados valores acima da média histórica de focos de calor (<http://www.inpe.br/queimadas>), mas ainda não existem estudos científicos publicados com avaliações quantitativas destes impactos.

A fragmentação da floresta aumenta sua vulnerabilidade ao fogo, uma vez que em períodos mais secos há o aumento do material combustível, e em conjunto com o vento e ignição do fogo pelo homem, os fragmentos se tornam mais inflamáveis. Isso ocorre principalmente nas bordas, onde o fogo é propagado devido à sua utilização como forma de manejo de pastagens e eliminação de florestas regeneradas (COCHRANE & LAURANCE, 2002).

Portanto, neste estudo objetivou-se avaliar o tipo de uso e cobertura da terra com maior incidência de queimadas e incêndios no ano de seca extrema de 2010 em relação a dois anos com regime de precipitação normais, 2008 e 2012. Em seguida, este estudo teve como objetivo contribuir com a avaliação do tipo de cobertura da terra que tem maior contribuição como propagador das queimadas para as florestas.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o município de São Félix do Xingu no estado do Pará. Este município possui uma área territorial de 84.213km², com uma população de 91.340 habitantes de acordo com o Censo Demográfico de 2010 (Figura 1).

O município possui cerca de 15% de seu território ocupado por pastagens em 2010 e tem como atividades econômicas principais a pecuária e mineração (IBGE, 2015). De acordo com dados do PRODES/INPE, o município

apresentava altas taxas de incremento de desmatamento até 2010 (Figura 2) em relação aos municípios do Pará.

Este município foi selecionado por fazer parte da lista de municípios prioritários para a prevenção, monitoramento e controle do desmatamento e queimadas do Plano de Ação

para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM). Assim este estudo possibilita contribuir para a compreensão da relação entre uso e cobertura da terra, ocorrência de focos de calor como *proxi* para queimadas e incêndios em florestas e os efeitos de secas extremas nesta relação.

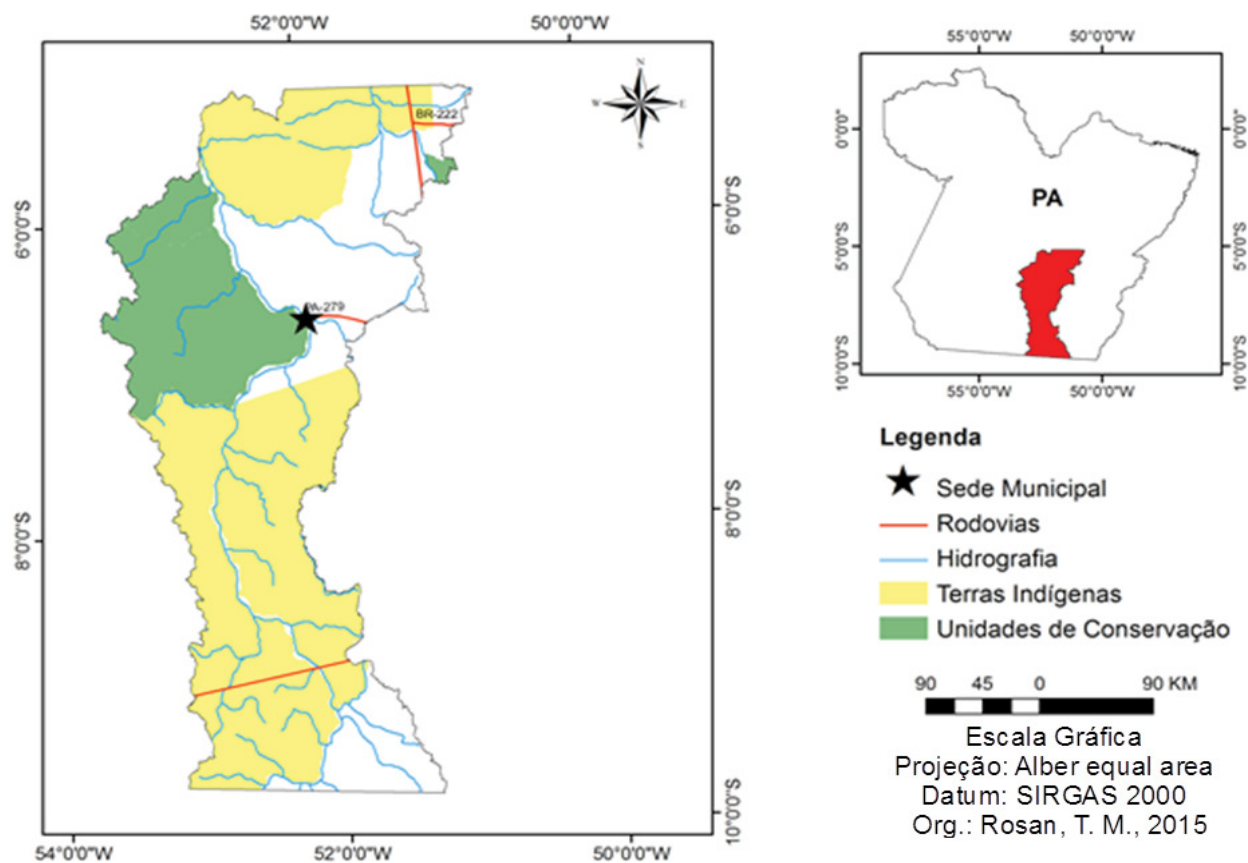


Fig. 1 – Localização do município de São Félix do Xingu – PA.

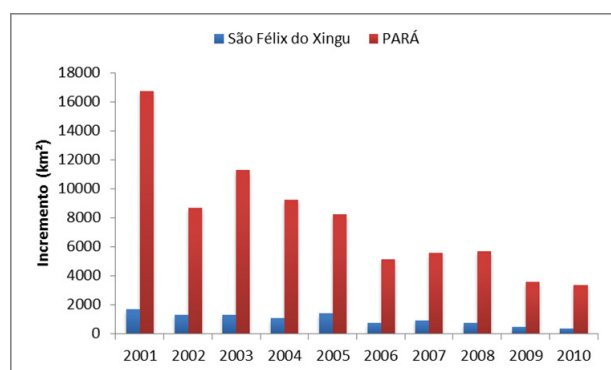


Fig. 2 - Incremento do desmatamento (km²) do município de São Félix do Xingu e estado do Pará.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1 Materiais

Foram utilizados dados de focos de calor detectados pelo sensor UMD-Aqua a bordo do satélite MODIS para o ano de 2008, 2010 e 2012 disponibilizados em formato de *shapefile* de pontos no banco de dados do INPE/Queimadas. Para os mapas de uso e cobertura da terra foram utilizados os dados do TerraClass/INPE de 2008, 2010 e 2012 com 9 classes: floresta, agricultura anual, vegetação secundária, reflorestamento, pasto, outros, não floresta, área não observada e desflorestamento. A área de floresta degradada para cada ano foi obtida no DEGRAD/INPE.

Os dados de máximo déficit hídrico acumulado foram obtidos utilizando os dados de precipitação do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission* - NASA). O cálculo do

déficit hídrico (WD) mensal é baseado na taxa de evapotranspiração de um dossel de floresta tropical úmida que corresponde aproximadamente 100 mm por mês. Esse valor foi estimado por medidas em campo de evapotranspiração na Amazônia (SHUTTLEWORTH, 1989; ROCHA *et al.*, 2004; VON RANDOW *et al.*, 2004). Assim, quando a precipitação (P) é inferior a 100 mm no mês, a floresta entra em déficit hídrico. A regra para o cálculo do déficit hídrico (WD) para cada mês (n) e em cada pixel com a taxa de evapotranspiração (E) de 100 mm utilizada foi:

Se $WD_{n-1}(i,j) - E(i,j) + P_n(i,j) < 0$;
Então $WD_n(i,j) = WD_{n-1}(i,j) - E(i,j) + P_n(i,j)$;
Se não $WD_n(i,j) = 0$

O máximo déficit hídrico acumulado (MCWD) corresponde ao valor acumulado do déficit hídrico (WD) de todos os meses (n) para cada pixel dentro de um ano (y) (Equação 1).

$$MCWD_y = WD_{jan} + WD_{fev} + WD_n + WD_{dez} \quad (1)$$

O shapefile das unidades de conservação foi obtido no *website* do Ministério do Meio Ambiente para a análise da dinâmica de focos de calor dentro dessas unidades. Na Tabela 1 estão descritas as unidades de conservação de se encontram dentro do município.

Tabela 1: Unidades de Conservação em São Félix do Xingu

Nome	Ano de criação	Categoria	Área (km ²) no município
Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu	2006	Uso Sustentável	12.745,28
Estação Ecológica da Terra do Meio	2005	Proteção Integral	2.884,45
Parque Nacional da Serra do Pardo	2005	Proteção Integral	2.626,84
Floresta Nacional de Tapirapé-Aquiri	1989	Proteção Integral	322,71

3.2 Métodos

Os focos de calor entre julho e outubro de cada ano foram selecionados posto que este representa o período da estação seca e de ocorrência de queimadas nesta região. Posteriormente foi realizada uma junção espacial por meio da intersecção entre os focos de calor e os tipos de uso e cobertura da terra para contabilizar os focos por classe do produto TerraClass dos anos de 2008, 2010 e 2012. Os anos foram escolhidos devido à disponibilidade de dados de cobertura da Terra.

Uma grade de 5km x 5km foi criada para gerar uma somatória de focos de calor por célula. Estes dados subsidiaram a elaboração de um mapa com a distribuição espacial dos focos de calor acumulados do município de São Félix do Xingu/PA.

Para determinar o grau de influência do tipo de uso e cobertura da terra na ocorrência de focos de calor observados na classe "Floresta", foram geradas matrizes de distância euclidiana de 1500m das classes pastagem, desflorestamento, vegetação secundária do TerraClass e floresta degradada do DEGRAD. Essas classes foram escolhidas após uma análise da contagem de focos de calor por classe de cobertura da terra. A distância de 1500m foi determinada considerando os erros de geolocalização do pixel de até 1km dada a resolução espacial dos dados dos canais termais.

Utilizou-se a distância euclidiana para calcular as distâncias entre o tipo de cobertura da terra e o foco de calor. Para isso, foi considerado o centro da célula de origem para cada pixel de forma a quantificar a distância do foco de calor.

Em seguida, foi realizada a extração dos valores da distância euclidiana de cada classe que havia intersecção com os focos de calor. Isso possibilitou contabilizar os focos que estavam mais próximos de cada classe, através da análise da somatória de focos em florestas por classe mais próxima.

Uma junção espacial foi realizada para extrair os valores de distâncias euclidianas, distância da borda da floresta e máximo déficit hídrico, de modo que cada foco de calor em floresta tinha um valor.

Posteriormente, foram contabilizados os focos de calor mais próximos de cada classe, a distância da borda da floresta e as classes de máximo déficit hídrico.

Os mesmos procedimentos foram feitos para os focos de calor dentro das unidades de conservação presentes no município para uma análise da situação destas em relação ao fogo.

4. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos na análise da relação entre focos de calor, uso e cobertura da terra e os efeitos da seca.

4.1 Distribuição espacial dos focos de calor acumulados em 2008, 2010 e 2012

A maior quantidade de células que integram focos de calor ocorridos em uma área de 5 km² ocorre no intervalo de até 5 focos nos três anos. Em 2010 houve uma maior quantidade de células com focos de calor nos intervalos entre 6-10, 11-15 e >15 em relação a 2008 e 2012 (Figura 3).

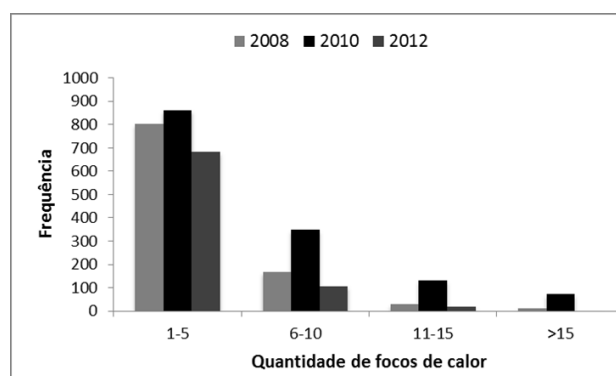


Fig. 3 – Frequência de células de 5km X 5km por classe acumulada de focos de calor.

As áreas de terras indígenas, localizadas na região central do município apresentaram

10 células com mais de 11 focos acumulados. A maior quantidade de focos de calor detectados foi no ano de 2010, principalmente na classe entre 1-5 focos acumulados (Figura 4).

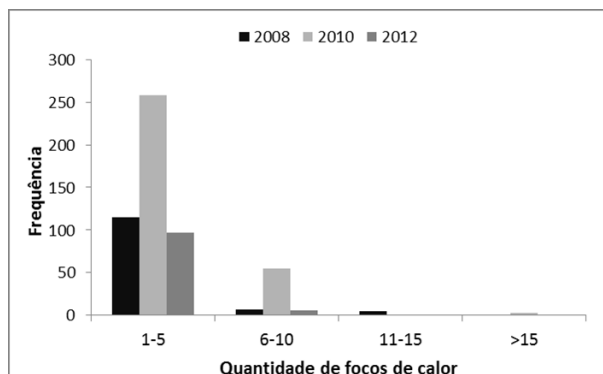


Fig. 4 – Frequência de células de 5km x 5km por classe acumulada de focos de calor nas Terras Indígenas.

Em relação à distribuição espacial, na região sudeste do município São Felix do Xingu observou-se uma maior concentração de ocorrência de focos de calor no ano de 2010. Já nos anos de 2008 e 2012 os focos de calor concentraram-se na região próxima a sede municipal, mais ao norte do município (Figura 5).

Esses resultados demonstram que os focos de calor estão concentrados espacialmente próximos às áreas de fácil acesso, como rodovias e próximo a sede municipal.

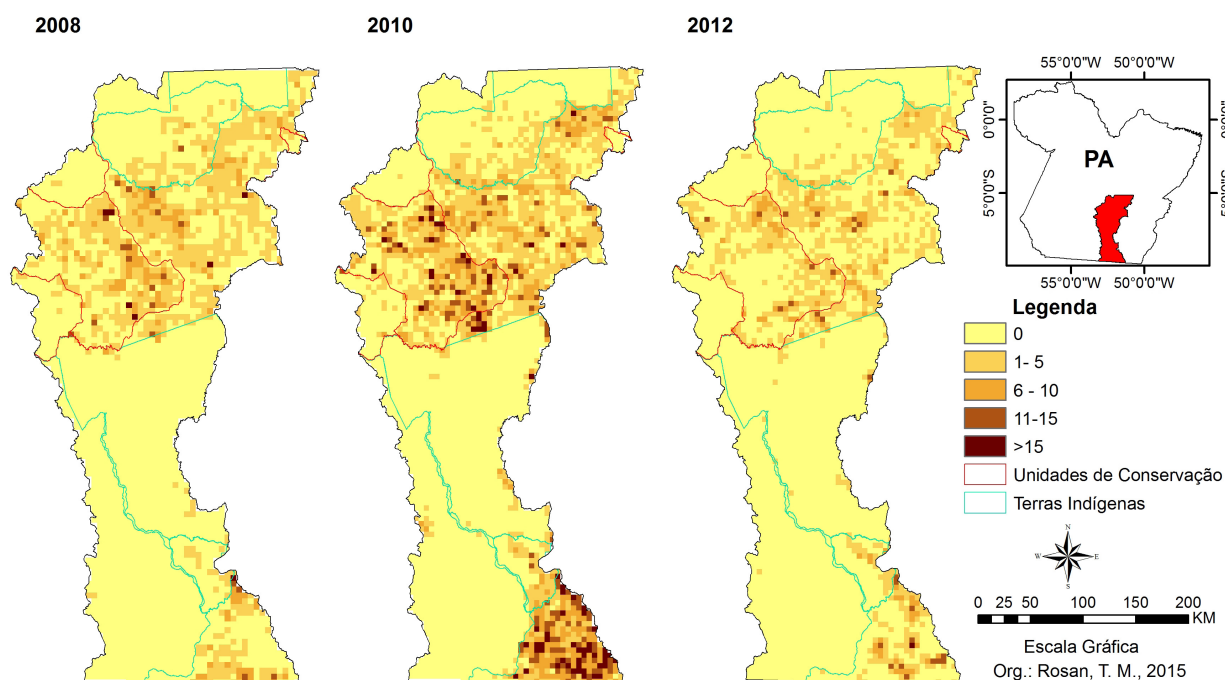


Fig. 5 - Focos acumulados na grade 5x5km para os anos de 2008, 2010 e 2012.

4.2 Focos de calor por tipo de uso e cobertura da terra em 2008, 2010 e 2012

Em 2008 foram contabilizados 3.499 focos de calor, com 34,4% localizados em áreas de pastagem e 32,75% em áreas de florestas. Em 2010 foram 7.840 focos de calor, dos quais cerca de 37,9% desses focos ocorreram em áreas de pastagem e 38,1% ocorreram em áreas de florestas. Já em 2012, o total de focos de calor detectados foram 2.724, dos quais 41,3% em áreas de pastagem, 33,9% em florestas e 9,6% em áreas de vegetação secundária (Figura 6).

Dessa forma, observa-se que no ano de seca anômala (2010) houve um aumento de 187,8% no número de ocorrências de focos de calor em relação a 2008. No entanto, para os três anos estudados as classes com maior número de observações de focos de calor foram pastagem e florestas.

É interessante notar que em anos com padrão de precipitação normal (2008 e 2012) e ano seco (2010) não houve nenhum foco de calor na classe agricultura anual. Portanto, pode-se inferir que o uso da terra pela agricultura neste município não está associada ao uso do fogo.

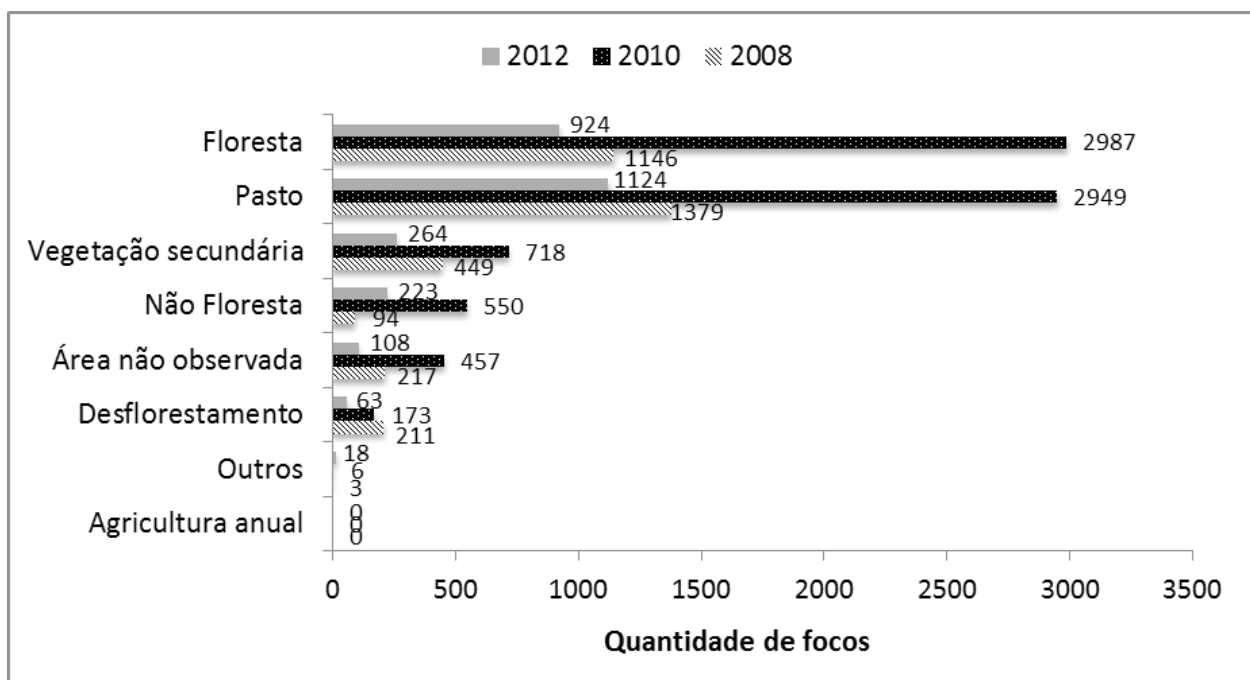


Fig. 6 - Quantidade de focos de calor por uso e cobertura da terra (2008, 2010 e 2012).

4.3 Análise dos focos de calor em floresta e associação com outros tipos de uso e cobertura

Observa-se que em 2008 a classe pasto é a que apresenta maior influência como dispersora de fogo, posto que 912 focos de calor em floresta estavam mais próximos à classe pastagem. Contabilizou-se que 139 focos em florestas não tiveram relação com nenhuma das três classes analisadas em uma distância de 1500m (Figura 7).

Em 2010 a classe pastagem também apresentou alta influência como propagadora de focos de calor, com 1105 focos em florestas próximos a esta classe.

Entretanto, em 2010 houve uma maior influência da classe vegetação secundária na

proximidade com focos em floresta, o que não ocorreu em 2008. Já em 2012, observou-se que a pastagem e a vegetação secundária foram as classes que exerceram a maior influência na proximidade com focos de calor detectados em áreas de florestas.

Em 2008 apenas 28 focos estavam próximos ou dentro de polígonos de florestas degradadas, já em 2010 foram contabilizados 241 focos e em 2012 foram contabilizados apenas 12 focos. Esses resultados demonstram uma maior influência em 2010 das florestas degradadas como dispersora do fogo para áreas de floresta preservada (Figura 8).

O restante dos focos de calor em florestas que não atenderam aos critérios de proximidade com as classes analisadas, foi utilizado para

calcular a distância média em que estavam da borda da floresta (Figura 9). Em 2008 seguiu-se o padrão de maior quantidade de focos mais próximo da borda da floresta e uma diminuição conforme o aumento da distância da borda. Em 2010, houve uma grande quantidade de focos em distâncias maiores da borda, indicando

a expansão para o interior da floresta de potenciais incêndios. Já em 2012 observou-se um padrão de diminuição dos focos de calor conforme o aumento da distância, entretanto, apresentou maiores quantidades de focos de calor em distâncias maiores que 1500m em relação a 2008.

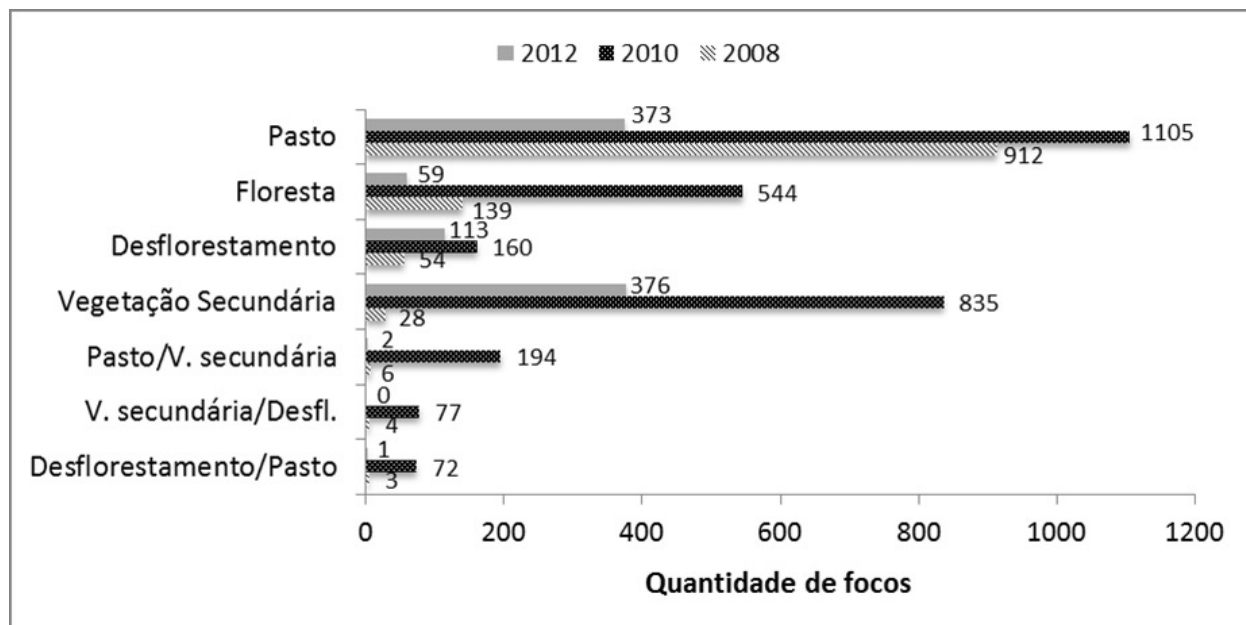


Fig. 7 - Quantidade de focos de calor em floresta por classe mais próxima

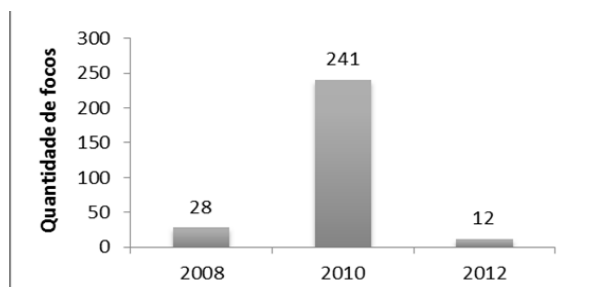


Fig. 8 - Focos dentro ou próximos de florestas degradadas-DEGRAD (2008, 2010 e 2012)

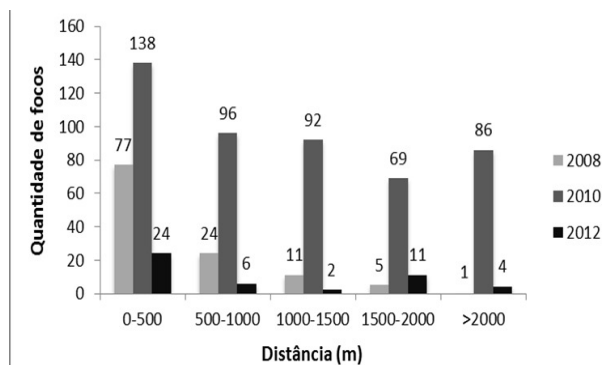


Fig. 9 – Quantidade de focos de calor em floresta em relação à distância da borda da floresta.

4.4 Focos de calor nas Unidades de Conservação do Município de São Félix do Xingu

A Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu apresentou as maiores quantidades de focos de calor detectados em todos os anos. Entre os três anos analisados, 2010 foi o ano com a maior quantidade de focos de calor na APA Triunfo do Xingu, uma vez que a seca contribuiu para a intensificação das queimadas (Tabela 2). Na área da Floresta Nacional de Tapirapé-Aquiri que faz parte do município de São Félix do Xingu não foi detectado nenhum foco de calor nos anos analisados.

Em relação ao uso e cobertura da terra nas UC's e focos de calor, a classe floresta é a que apresentou a maior concentração dos focos de calor, seguido de pastagem e vegetação secundária para os três anos, porém com maior intensidade em 2010 devido à seca (Figura 10).

Os tipos de uso e cobertura da terra que estavam mais próximos dos focos em florestas dentro das UC's e possivelmente contribuíram

para a propagação do fogo, são pastagem, vegetação secundária e desflorestamento nos três anos analisados (Figura 11). Isso demonstra a intensa utilização do fogo para a limpeza do pasto, além do desflorestamento tanto de áreas

de vegetação secundária, como de vegetação primária. No caso da classe desflorestamento, essas são as importantes fontes de propagação do fogo para áreas de florestas, podendo causar incêndios de grandes proporções.

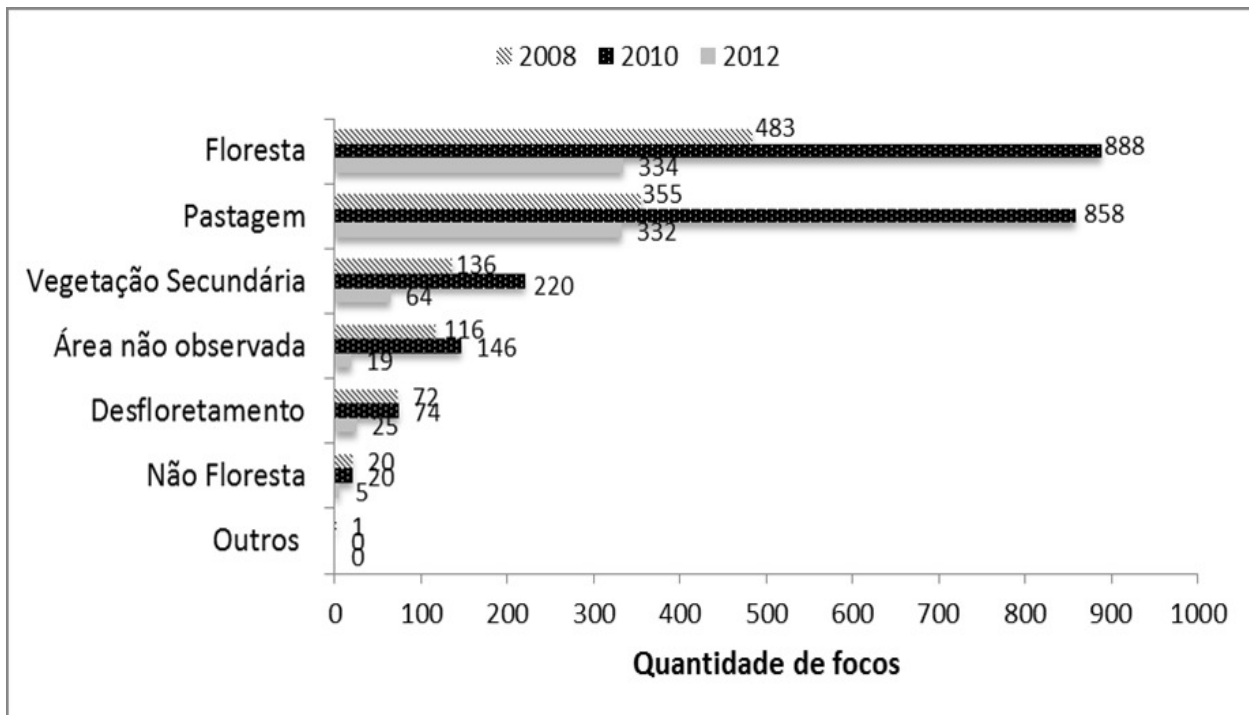


Fig. 10 - Quantidade de focos de calor por uso e cobertura da terra nas unidades de conservação em (2008, 2010 e 2012).

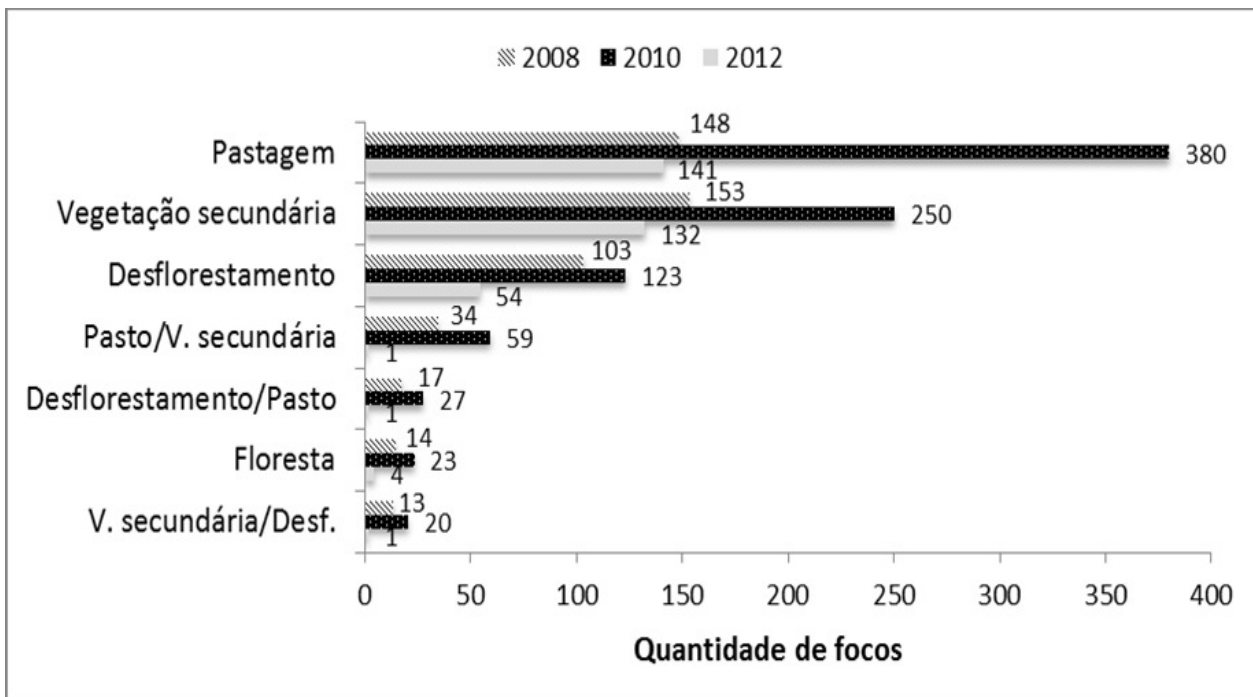


Fig. 11- Quantidade de focos de calor em floresta por classe mais próxima nas unidades de conservação.

Tabela 2: Focos de calor por Unidade de Conservação em São Félix Do Xingu-PA

Unidade de Conservação	Quantidade de focos de calor Focos por km ²					
	2008		2010		2012	
Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu	1166	0,09	2168	0,17	770	0,06
Estação Ecológica Terra do Meio	9	0,003	38	0,013	5	0,001
Parque Nacional da Serra do Pardo	8	0,003	0	-	4	0,001

4.5 Máximo déficit hídrico e focos de calor em floresta

Não foi observada uma associação direta entre máximo de déficit hídrico e focos de calor em floresta em anos de precipitação normal. Em 2008 e 2012 a maior quantidade de focos de calor foi na classe intermediária, déficit hídrico acumulado entre -300 e -200. O esperado era que a maior quantidade de focos de calor se apresentasse na classe <-300, seguindo a tendência no qual o local mais seco deveria ter maior flamabilidade e com a ocorrência de incêndios se propagar e ou durar por um maior período. Entretanto, isso não ocorreu nos anos de 2008 e 2012 (Figura 12). Já em 2010 observou-se um padrão, no qual as maiores quantidades de focos de calor estavam associadas com a classe de maior déficit hídrico (<-300), uma vez que a seca afetou uma área maior.

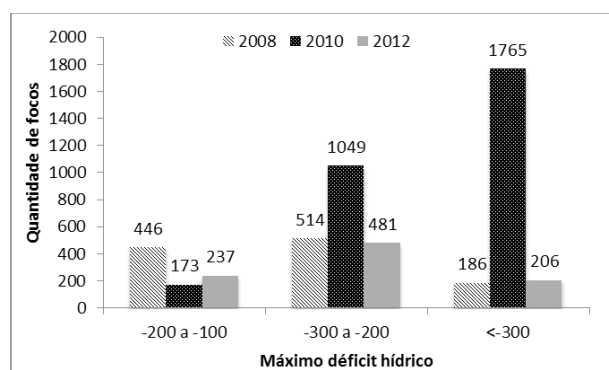


Fig. 12 - Quantidade de focos em floresta por classe de máximo déficit hídrico.

Assim, pode-se inferir que em anos mais secos, como em 2010, o déficit hídrico contribui indiretamente como um fator de vulnerabilidade das florestas. Uma vez que, devido ao maior déficit hídrico há o aumento da quantidade de material combustível disponível para queima ou o próprio microclima local contribuem para a flamabilidade da floresta. Desse modo, há

aumento da quantidade de focos de calor e a potencial dispersão do fogo para florestas.

5. DISCUSSÕES

O ano de 2010 apresentou maior quantidade de focos de calor em florestas do que em 2008 e 2012. Entretanto, quando contabilizada a quantidade de focos de calor em floresta por classe mais próxima, a pastagem é a classe que possui a maior contribuição como fonte dispersora de fogo para áreas de florestas em 2010.

Neste estudo observamos que eventos de secas causam um aumento considerável de incêndios mesmo com a redução das taxas de desflorestamento. Como foi observado, o incremento do desflorestamento no município de São Félix do Xingu foi o menor em 2010 em relação ao período 2001-2009. Contudo, em 2010 devido à seca mais severa houve uma grande quantidade de focos de calor detectados no município associados às áreas de maior déficit hídrico. Dentre os focos de calor observados, mais de 75% ocorreram em áreas de floresta e pastagens. Estes resultados estão em conformidade com o padrão espacial de queimadas e secas para a região Amazônica, apontado por Aragão *et al* (2008).

Em relação às unidades de conservação, as classes pastagem, vegetação secundária e desflorestamento são as principais classes de uso e cobertura da terra que contribuem para a ignição de possíveis incêndios florestais nas UC's de São Félix do Xingu. A alta concentração de focos de calor na APA Triunfo do Xingu é decorrente da sua intensa utilização, uma vez que corresponde a uma área já muito degradada pelas frentes de ocupação e expansão econômica do município. Além disso, Costa (2013) relata forte influência da exploração madeireira, minerária e pecuária nesta APA antes de se tornar uma unidade de

conservação. Essas áreas legalmente protegidas também apresentam recursos limitados para a sua conservação, contribuindo para dificuldades no seu reconhecimento e fiscalização.

De acordo com Costa (2013) os focos de calor em geral se concentram na região de maior concentração populacional, onde estão as pequenas e médias propriedades rurais da APA Triunfo do Xingu. Isso demonstra que as práticas de manejo da terra nessas propriedades se constituem como fontes dispersoras do fogo para áreas de florestas.

6. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nesse estudo, pode-se concluir que há uma intensificação das queimadas e incêndios florestais em anos com período de seca mais intensa, como o ocorrido em 2010 em relação a períodos normais de seca na Amazônia.

Os resultados demonstraram que as áreas de pastagens estiveram fortemente associadas à proximidade com focos de calor em florestas. Entretanto, em 2010 e 2012 também houve forte influência das áreas de vegetação secundária como segunda fonte de propagação do fogo, além da proximidade com florestas degradadas.

Em relação ao déficit hídrico, não houve uma associação direta entre maiores quantidades de focos de calor em floresta e maior déficit hídrico em anos de precipitação normal. Porém, em ano com maior déficit hídrico, como em 2010, observa-se uma intensificação das queimadas em florestas decorrente da maior vulnerabilidade à atuação das práticas dispersora de fogo.

Portanto, é extremamente importante nos estudos da ocorrência de fogo em florestas na Amazônia a consideração das práticas do manejo da terra, uma vez que é o principal propagador das queimadas. Essas queimadas apresentam importante contribuição para a degradação das florestas, uma vez que estudos demonstram que as taxas de desmatamento vem caindo, porém os focos de calor oscilam entre os anos ou aumentam de quantidade em períodos mais secos.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo financiamento do estudo. L.O.A.

agradece ao CNPq projeto 458022/2013-6 e a NASA-IDS projeto NNX14AD31G.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A. C., NEPSTAD, D. C., & DIAZ, M. C. V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: Area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v. 10, p. 1–17.2006.

ANDERSON, L.O.; ARAGÃO, L.E.O.C.; GLOOR, M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SAATCHI, S.; MALHI, Y.; SHIMABUKURO, Y.; BARLOW, J.; BERENQUER, E.; DUARTE, V. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emission in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29 , p. 1739-1753, 2015.

ARAGÃO, L. E. O. C., MALHI, Y.; ROMAN-CUESTA, R.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**. v. 34p. L07701 . 2007.

ARAGÃO, L.E.O.C.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; SAATCHI, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical Transactions Royal Society**. 363, p. 1779-1785, 2008.

ARAGÃO, L.E.O.C.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in Amazonian Forests with implications for REDD. **Science**, vol. 328, p. 1275-1278, 2010.

COSTA, A. L. S. **Efetividade de gestão da Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu: desafios de consolidação de uma Unidade de Conservação na região da Terra do Meio, Estado do Pará**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. Disponível em: < <http://www.naea.ufpa.br/naea/novosite/tcc/290> > Acessado em: 20 de Julho, 2015.

COCHRANE, M.A.; LAURANCE, W. F. Fire as a large-scale edge effect in Amazonian forests. **Journal of Tropical Ecology**. Ed. 18, p. 311-325, 2002.

- ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D. V. O.; FREITAS, H. C.; SILVA-FIGUEIRA, A. M. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia, **Ecological Applications**, 14, p. 22– 32. 2004.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Cidades. Disponível em < <http://www.cidades.ibge.gov.br/>>, Acessado em: 27 de Abril, 2015.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S. DE; OLIVEIRA, R. DE; CAMARGO, H.; ALVES, D. S.; BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, n. 3, p. 495-516, 2008.
- MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, vol. 38, p. L12703, 2011.
- MORTON, D.C.; DEFRIES, R.S.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; WERF, G. R. VAN DER. Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. **Global Change Biology**, v.14, n. 10, p. 2262-2275, 2008.
- SHIMABUKURO, Y. E.; KRUG, T.; SANTOS, J. R.; NOVO, E. M. M.; YI, J. L. R. Roraima: o incêndio visto do espaço. **Ciência Hoje**, v. 27, n. 157, p. 32-34, 2000. Disponível em: < http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/roraima98_cienciahoje.pdf>. Acessado: 17 de Setembro, 2015.
- SHUTTLEWORTH, W. J. Micrometeorology of temperate and tropical forest, **Philosophical Transactions Royal Society**, London, Ser. B, 324, p. 299– 334. 1989.
- SORRENSEN, C. Frontier spaces of vulnerability: regional change, urbanization, drought and fire hazard in Santarém, Pará, Brazil. **Urban Ecosystems**, vol. 6, p. 123-144, 2002.
- SORRENSEN, C. Potential hazards of land policy: Conservation, rural development and fire use in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, vol. 26, p. 782-791, 2009.
- VON RANDOW, C.; MANZI A. O.; KRUIJT, B.; de OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. B.; SILVA, R.L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLOO, M. J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in south west Amazonia, **Theoretical Applied Climatology**, v. 78, p. 5 –26. 2004.
- XAUD, H. A. M; MARTINS, F. da S. R. V.; SANTOS dos, J. R. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, vol. 294, p. 97-106, 2013.