



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LUIZ AUGUSTO SICILIANO DA SILVA JÚNIOR

**DINÂMICA DO FOGO EM EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA AMAZÔNIA
OCIDENTAL, ACRE-BRASIL**

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

LUIZ AUGUSTO SICILIANO DA SILVA JÚNIOR

**DINÂMICA DO FOGO EM EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA AMAZÔNIA
OCIDENTAL, ACRE-BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2019

**DINÂMICA DO FOGO EM EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA AMAZÔNIA
OCIDENTAL, ACRE-BRASIL**

LUIZ AUGUSTO SICILIANO DA SILVA JÚNIOR

Aprovada em: 14 de junho de 2019

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado – UFRRJ
Orientador

Caio Frossard de Andrade – UFRRJ
Membro

Maria Lucia Ferreira Barbosa – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus
e a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por possibilitar a vivência de um ambiente acadêmico ao longo da graduação com um corpo de professores excepcionais.

Aos amigos (a) do Laboratório de Sensoriamento Remoto Ambiental e Climatologia Aplicada – LSRACA pela amizade, pelos anos que passamos juntos e pelo ambiente maravilhoso proporcionado por todos.

Ao professor Rafael Coll Delgado, por me orientar na monografia, pela amizade construída, pelos conselhos, por toda a ajuda oferecida e pela dedicação em proporcionar o melhor aos seus orientados.

Aos membros da banca, Caio Frossard de Andrade e Maria Lucia Ferreira Barbosa, pela contribuição nesse trabalho.

As amigades que fiz na turma 2012-2 do Curso de Engenharia Florestal ao longo da graduação, os quais tornaram a graduação muito mais fácil e prazerosa.

A todas as pessoas que pude conhecer na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro durante a graduação, os quais que permitiram conhecer suas histórias e expandir minha mente

A minha família, pelo apoio e incentivo incondicional e por todo o amor que vocês me deram, o que me permitiu chegar até este momento.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica do fogo em eventos climáticos extremos no estado do Acre, região pertencente à Amazônia Ocidental Brasileira. Nesta região, diferentes formas de vegetação foram classificadas e os eventos considerados como El Niño Oscilação Sul foram classificados de acordo com a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Foi utilizado em produtos de sensoriamento remoto de áreas queimadas (MCD64A1), Índice de Vegetação Melhorada - EVI (MOD13Q1), produto de chuva 3B43 e Densidade de Kernel, utilizados para espacializar os focos de calor para quantificá-los nas classes de vegetação. A maior área queimada registrada durante o estudo foi o período La Niña, com um total de 296 km² de área queimada. A maior concentração de focos de calor foi encontrada na Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas com palmeiras, o que correspondeu a uma porcentagem de 28% de queimadas. Semelhante aos focos de fogo, a chuva foi concentrada na cobertura do Dossel Emergente de Floresta Ombrófila Densa Submontana com um valor máximo de 2515,9 mm no evento La Niña. Os maiores e menores valores de EVI foram encontrados no episódio de Neutralidade com valores variando de 0,57 a 0,36. O estudo coloca em alerta a vulnerabilidade do Estado do Acre ao fogo e também pode subsidiar ações para mitigar as emissões de carbono e o estoque de biomassa.

Palavras-chave: sistemas florestais, mudanças climáticas, geotecnologias, Amazônia Legal.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the dynamics of fire in extreme climatic events in the state of Acre, a region belonging to the Brazilian Western Amazon. In this region different forms of vegetation were classified and the events considered extreme El Niño Southern Oscillation were classified according to National Oceanic and Atmospheric Administration. It was used in remote sensing products of burned areas (MCD64A1), Enhanced Vegetation Index (MOD13Q1), rainfall product 3B43 and Kernel Density used to spatialize the fire foci to quantify them in vegetation classes. The largest burned area recorded during the study was the La Niña period with a total number of burned areas of 296 km². The highest concentration of fire foci was found in the Lowland Open Ombrophyllous Forest with palm trees, which corresponded to a percentage of 28% of fires. Similar to fire foci, rainfall was concentrated on the cover of the Submontana Dense Ombrophyllous Forest Emergent Canopy with a maximum value of 2515.9 mm in the La Niña event. The highest and lowest EVI values were found in the Neutrality episode with values ranging from 0.57 to 0.36. The study puts on alert the vulnerability of the State of Acre to fire occurrence and may also subsidize actions to mitigate carbon emissions and biomass stock.

Keywords: forest systems, climate change, geotechnologies, Legal Amazon.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	1
2.1 El Niño Oscilação Sul (ENOS)	1
2.2 Produto MCD64A1	2
2.3 Focos de calor.....	3
2.4 Produto MOD13Q1	4
2.5 Produto 3B43	5
2.6 Estimador de densidade Kernel.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1 Área de estudo.....	7
3.2 El Niño Oscilação Sul (ENOS)	7
3.3 Sensoriamento remoto – Produtos	8
3.3.1 Produto de focos de calor.....	8
3.3.2 Produto MCD64A1	8
3.3.3 Produto MOD13Q1.....	8
3.3.4 Produto 3B43	9
3.3.5 Cobertura vegetal.....	9
3.3.6 Análise espacial e estatística descritiva	10
4. RESULTADOS	11
4.1 Área queimada e variáveis biofísicas.....	11
4.2 Análise espacial dos focos de calor.....	14
4.3 Focos de calor e vegetação.....	17
4.4 Relação das chuvas e EVI com a cobertura da vegetação.....	18
5. DISCUSSÃO	20
5.1 Incêndios florestais na Amazônia	20
6. CONCLUSÃO.....	21

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
-------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do fenômeno ENOS	8
Tabela 2: Classes de vegetação do Estado do Acre.....	9
Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis biofísicas durante os episódios de ENOS no Estado do Acre.....	13

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica da área de estudo e classes de uso da vegetação do Estado do Acre.	7
Figura 2: Área queimada durante o evento de El Niño em todo o Estado do Acre.	11
Figura 3: Área queimada durante o evento de La Niña em todo o Estado do Acre.	12
Figura 4: Área queimada durante o evento de Neutralidade em todo o Estado do Acre.	13
Figura 5: Densidade Kernel para o período de La Niña.	15
Figura 6: Densidade Kernel para o período de El Niño.	16
Figura 7: Densidade Kernel para o período de Neutralidade.	17
Figura 8: Relação das chuvas e EVI com a cobertura da vegetação.	18
Figura 9: Relação das chuvas com a vegetação durante o episódio de ENOS no Estado do Acre.	19
Figura 10: Relação do EVI com a vegetação durante o episódio de ENOS no Estado do Acre.	20

1. INTRODUÇÃO

Com um dos ecossistemas com maior biodiversidade do planeta, a Amazônia é caracterizada por uma grande variabilidade de espaço e tempo em relação ao clima ao longo do ano, bem como altas taxas de evapotranspiração e vapor d'água atmosférico, sendo responsável por seu suprimento e circulação geral na atmosfera.

A dinâmica do fogo na região amazônica inclui essa prática em diversas atividades, como manejo de pastagens, atividades agrícolas, queima, desmatamento da floresta, entre outras (VAN DER WERF et al., 2010). No entanto, as mudanças climáticas e o uso da terra ameaçam o futuro da floresta amazônica. Incêndios florestais em períodos extremos de seca são recorrentes sob o clima atual das florestas, o que pode acelerar o desmatamento. Longe dos limites de uso da terra, ignições esparsas de incêndio e altos níveis de umidade impedem queimadas significativas, mas futuras projeções climáticas e mudanças no uso da terra podem aumentar a atividade de fogo nessas regiões (LE PAGE et al., 2017).

Várias secas intensas ocorreram na Bacia Amazônica (OLIVEIRA-SERRÃO et al., 2015; SOUSA et al., 2015), entre as quais se destacam as ocorridas em 2005 e 2010. Algumas secas extremas observadas na Amazônia podem estar associadas a El Niño, (SOUSA et al., 2015), enquanto em 2005 e 2010 as causas foram associadas ao aquecimento anormal da superfície tropical do Oceano Atlântico Norte (MARENGO et al., 2008, 2011). Os modelos climáticos sugerem que esses eventos serão ainda mais frequentes devido à maior concentração de gases de efeito estufa (GEE), que também são impulsionados pela mudança na dinâmica da floresta (PANISSET et al., 2017).

Aragão et al. (2018) relatou que as emissões de carbono nas regiões de clima tropical são em grande parte derivadas de processos diretos de desmatamento florestal. No entanto, as emissões de incêndios florestais causados pela seca geralmente não são incluídas nos inventários nacionais de emissão de carbono. Mudanças no clima e no uso da terra estão transformando as características espaciais e temporais dos regimes de fogo na Amazônia, com efeitos importantes no funcionamento de florestas densas, abertas, ombrófilas e de transição (ALENCAR et al., 2015).

Estudos com focos de incêndio geralmente têm seus dados disponíveis em formato discreto (KUTER et al., 2011). Esse tipo de dado (em pontos) dificulta a análise espacial e o mapeamento de áreas críticas e dificulta sua correlação com outras variáveis que normalmente são expressas em unidades de área e continuamente (raster) (LAZZARINI et al., 2012). Por essa razão, um método amplamente usado para transformar focos de incêndio e outras variáveis climáticas em dados de superfície é a densidade de Kernel (GANTEAUME & GUERRA, 2018; KERR et al., 2018).

Considerando as mudanças climáticas atuais, é possível perceber que a ocorrência de eventos naturais extremos é cada vez mais frequente, seja por inundação ou escassez hídrica. Somadas às intervenções antrópicas com os usos e ocupações da terra na Amazônia, essas situações alteram consideravelmente a paisagem. No caso da Amazônia, cujas atividades, vida e organização da sociedade estão intimamente ligadas à dinâmica da água de seus rios, esses eventos impactam diretamente a população. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica do fogo em eventos climáticos extremos na Amazônia Ocidental, no Acre-Brasil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

A conexão entre os oceanos e a atmosfera da Terra tem um impacto direto nas condições climáticas e clima que vivenciamos. El Niño (EN) e La Niña (LN), juntos chamados de El Niño Oscilação Sul (ENOS), são saídas periódicas das temperaturas esperadas na superfície do mar (TSMs) no Oceano Pacífico equatorial. Essas temperaturas oceânicas mais quentes (EN) ou mais frias (LN) que o normal, podem afetar os padrões climáticos em todo o mundo, influenciando os sistemas de alta e baixa pressão, ventos e precipitação. O ENOS pode trazer a umidade necessária para uma região enquanto causa extremos de muita ou pouca água em outras (NOAA, 2019).

A fase quente ou positiva do ENOS, chamada de El Niño, caracteriza-se por um aquecimento das águas simultaneamente com a diminuição da pressão atmosférica no Pacífico Leste. Enquanto a fase fria ou fase negativa, chamada de La Niña, caracteriza-se por um resfriamento das águas e um aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (GRIMM et al., 1998).

O comportamento da temperatura da superfície das águas do Oceano Pacífico tropical (parte central e junto à costa oeste da América do Sul) associado aos campos de pressão (representados pelo Índice de Oscilação Sul (Oscillation Niño Index (ONI))) altera o padrão de circulação geral da atmosfera. Com isso, acaba influenciando no clima de diferentes regiões do mundo e sendo o responsável pelos desvios extremos em relação ao clima normal (EMBRAPA, 2019). Segundo os mesmos autores, há cerca de 20 regiões no mundo, cujo clima é afetado pelas fases do ENOS. Entre essas, no caso do Brasil, a parte norte da região Nordeste e o Oeste da Amazônia (na faixa tropical) e a região Sul (na faixa extratropical).

As complexas interações entre variáveis climáticas na Bacia Amazônica têm implicações importantes para a potencial mudança do clima, em níveis local e global (NOBRE et al., 2009). A convecção tropical é a principal característica do clima da Bacia Amazônica. Ela é regulada principalmente por características atmosféricas em grande escala, inclusive pela circulação de Hadley e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a circulação de Walker, a oscilação intrassazonal de 40 a 60 dias, e ondas atmosféricas e também por processos meteorológicos como a penetração de frentes frias extratropicais (OLIVEIRA, 1986).

Diversas atividades do setor produtivo (particularmente aquelas ligadas à agricultura, geração e distribuição de energia hidrelétrica, indústria, etc) são dependentes da variabilidade pluviométrica regional, em especial nas regiões situadas nos trópicos (como é o caso da Amazônia), tornando a população vulnerável ao comportamento e variabilidade do sistema climático. Portanto, estudos que visam o entendimento científico das causas e consequências da variabilidade de chuva, e uma ferramenta que possa prevê-la, são imprescindíveis para gerar informações e produtos climatológicos úteis ao benefício da sociedade. Nesse sentido, os modelos climáticos globais e regionais são reconhecidamente ferramentas chave, uma vez que os mesmos conseguem equacionar com boa aproximação o sistema climático e assim, investigar vários detalhes dos mecanismos ou processos reguladores do clima e sua variabilidade espaço-temporal (SOUZA et al., 2009).

Os dados encontrados por Mesquita et al. (2011), em estudo realizado na Chapada Diamantina, Brasil, mostram que um forte componente climático tem influenciado a intensidade dos eventos de fogo, considerando que os principais eventos de ocorrência de incêndios coincidem com os anos nos quais ocorreram o fenômeno El Niño.

Em estudo realizado em remanescentes da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, notou-se a maior ocorrência de registros de focos de calor durante o período de ENOS, meses como agosto, setembro e outubro apresentaram as maiores ocorrências de focos de calor (CLEMENTE et. al., 2017).

2.2 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

O produto de área queimada MCD64A1, disponibilizado pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), é a versão melhorada do algoritmo de mapeamento de área queimada MCD64 do Giglio et al. (2009). O MCD64A1 é um produto proveniente das plataformas Terra e Aqua do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), único produto de área queimada disponível na plataforma MODIS atualmente, possui resolução espacial de 500m, sendo sua temporalidade mensal (ROY; BOSCHETTI, 2008).

A versão mais recente do MCD64A1 (coleção 6) possui algumas melhorias comparado a versão anterior (coleção 5) como, melhoria geral (erro de omissão reduzida) na detecção de área queimada, detecção significativamente melhor de pequenas queimaduras, redução modesta na incerteza temporal da data de queima, redução significativa na ocorrência de células de grade não classificadas devido a mudanças de algoritmos e refinamentos nos dados de entrada da Coleção 6, entre outros (GIGLIO et al., 2009). As queimadas são o principal fator que contribui para o aumento dos gases do efeito estufa. De acordo com Hao e Larkin (2014), inventariar a ocorrência de fogo de forma detalha torna-se importante. Assim como, informações sobre o espaço e distribuição temporal de áreas queimadas e emissões de fogo são essenciais para o seu monitoramento.

ALVES et al. (2018) analisou a precisão das versões mais recentes dos produtos de área queimada derivado da série MODIS para ambientes de savana tropical. No período usado para análise, o produto MCD45A1 v051 detectou não mais que 22,5% de área queimada do que foi registrado pela área queimada controle, enquanto as duas versões do MCD64A1 (v051 e v006) apresentaram melhores resultados, detectando 56,9% e 81,6%, respectivamente. Em suas palavras, o melhor desempenho dos produtos MCD64A1, e especialmente da V006, é notável.

Shimabukuro et al. (2015), em seu trabalho, buscou estimar a área queimada em Mato Grosso, Brasil, usando um método de classificação baseada em objetos em uma amostra sistemática de imagens de satélite de média resolução. Ao comparar resultados baseados em amostragem com os resultados do produto MODIS (MCD64A1) o autor encontrou uma forte relação ($r^2 = 0,85$) entre o conjunto de dados, indicando uma boa concordância entre os dois métodos de mapeamento. No entanto, em pequenas áreas queimadas (<100km² por unidade) o produto derivado do MODIS subestimou ou perdeu totalmente as áreas queimadas nesses locais. Supõe-se que isso se deva à insuficiente resolução espacial do sensor MODIS (500 m).

2.3 Focos de calor

Os incêndios ocorrem comumente em diversos ecossistemas e, na Amazônia, correspondem a uma importante fonte de perturbações devido às inter-relações entre as condições climáticas, o ciclo global do carbono e as diferentes atividades de uso da terra, potencializadas por eventos de seca (MORISSETTE et al., 2005; DUFFY et al., 2015). Muitos incêndios têm causas naturais e podem ser ecologicamente entendidos como um entre muitos fatores que atuam nos ecossistemas, no entanto, na maioria das regiões do mundo, as principais fontes de ignição estão ligadas à ação antrópica (WHELAN, 1995).

No Brasil e no mundo, em sua grande maioria, os incêndios estão ligados ao desmatamento para fins agropastoris, criação e ampliação de rodovias e comercialização de madeira (CAÚLA et al., 2015; ANDRADE et al., 2019). A prática de queimada, dependendo do tipo de ambiente, mesmo que utilizada de forma controlada, causa vários prejuízos ao meio ambiente como emissões de gases do efeito estufa, a redução da biodiversidade, o empobrecimento e erosão do solo, além disso o uso inadequado das queimadas causa grandes

perdas econômicas e também danos à saúde das pessoas como doenças respiratórias provocadas pela fumaça tóxica que é produzida nos incêndios (VASCONCELOS et al., 2005).

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, um foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (píxel), que varia de 1 km x 1 km até 5 km x 4 km (INPE, 2019). As seguintes condições impedem ou prejudicam muito a detecção das queimadas:

- Frentes de fogo com menos de 30 m;
- Fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores;
- Nuvens cobrindo a região (nuvens de fumaça não atrapalham);
- Queimada de pequena duração, ocorrendo entre as imagens disponíveis;
- Fogo em uma encosta de montanha, enquanto que o satélite só observou o outro lado;
- Imprecisão na localização do foco de queima, que no melhor caso é de cerca de 1 km, mas podendo chegar a 6 km.

No Brasil o INPE disponibiliza dados sobre focos de calor através do seu Banco de Dados de Queimadas (BDQUEIMADAS), disponibilizados em formato vetorial do tipo shapefile. Esses dados são gerados a partir de imagens de sensores abordo de satélites em órbita polares da série NOAA, EOS (TERRA e AQUA) e satélites em órbita geoestacionários GOES (INPE, 2019).

Os focos de calor, na Amazônia Brasileira, apresentam sua maior ocorrência entre os meses de julho e dezembro durante os períodos de estiagem, esse fator associado com a vegetação seca, baixa unidade relativa do ar e altas temperaturas facilitam o desenvolvimento e alastramento das queimadas (BARBOSA et al., 2018; PEREIRA, SILVA, 2016; CLEMENTE et al., 2017). Áreas próximas a perímetros urbanos, rodovias e de uso da terra para fins agropastoris apresentaram os maiores índices de ocorrência de focos de calor, sendo essas localidades críticas para ocorrências de incêndios (ABREU, SOUZA, 2016; CAROLINE et al., 2017; PEREIRA, SILVA, 2016).

2.4 Produto MOD13Q1

Índices de Vegetação, do inglês Vegetation Indices (VI), são medidas empíricas robustas de atividade de vegetação na superfície da terra. Eles são projetados para melhorar o sinal refletido da vegetação de respostas espectrais medidas pela combinação de duas (ou mais) bandas de onda. O produto de IV do MODIS (MOD13Q) fornece comparações de séries temporais e espaciais consistentes das condições da vegetação global que podem ser usadas para monitorar a atividade da vegetação fotossintética terrestre em apoio à detecção de alterações fenológicas, e interpretações biofísicas (DIDAN et al., 2015).

O Índice de Vegetação Melhorada, do inglês Enhanced Vegetation Index (EVI), é um VI produzido globalmente para regiões terrestres, possui ainda melhor sensibilidade sobre regiões de alta biomassa e melhor capacidade de monitoramento da vegetação através de um desacoplamento do sinal de fundo da copa e uma redução nas influências atmosféricas. O EVI pode ser encontrado no MOD13Q1, que é um produto de VI da coleção 6 do MODIS com resolução espacial de 250m, temporalidade de 16 dias, e formato de arquivo HDF-EOS (DIDAN et al., 2015).

De acordo com Huete et al. (2002), para estudos em escala regional, é possível realizar as análises das mudanças no uso e cobertura da terra por meio de índices de vegetação do sensor MODIS, os quais são capazes de evidenciar variações sazonais, interanuais e de longo termo de parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação. Com base em uma análise multitemporal, a série temporal do EVI pode evidenciar se as mudanças ocorridas são

devidas à sazonalidade climática ocasionada pela alteração no regime de chuvas ou se ocorrem por mudanças no uso da terra (p. ex. desmatamentos) ou, ainda, se são causadas por queimadas (BAYMA, 2015).

Estudos nesse sentido demandam, em sua grande maioria, o conhecimento acerca dos parâmetros biofísicos da vegetação como, por exemplo, biomassa e índice de área foliar. Índices de vegetação são razões matemáticas da reflectância, realizadas a fim de que as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético sejam evidenciadas (WIEGAND et al., 1991), pois são nessas regiões do espectro eletromagnético que a energia refletida se encontra relacionada à atividade fotossintética da vegetação e à sua estrutura (FERREIRA et al., 2008; SOLANO et al., 2010).

Segundo Verbesselt et al. (2010), a análise de mudanças na cobertura terrestre por meio de componentes de tendência e de sazonalidade de séries temporais permite detectar diferentes tipos de alterações, sejam aquelas ocorridas no âmbito da tendência da série temporal, as quais podem indicar ocorrência de distúrbios, causados por fatores naturais ou antrópicos, como, por exemplo, fogo e ataque de insetos. Sejam as que ocorrem no componente sazonal, as quais, por sua vez, indicariam mudanças fenológicas, associadas à mudança no tipo de cobertura da terra, por exemplo, um tipo de cultivo sendo substituído por outro ou mesmo por colheita (BRADLEY et al., 2007).

2.5 Produto 3B43

O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas, topográficas e climáticas, sendo a precipitação o principal fator climático (WILFRED, 2005). A precipitação é considerada um elemento fundamental e de grande importância no ciclo hidrológico (GAMA, 2016). Logo, estimar com precisão a precipitação no espaço e no tempo é uma tarefa fundamental, por exemplo, para mapear o potencial de incêndios florestais e estudos de balanço hídrico (WILLIAM et al., 2012).

As estações meteorológicas convencionais fornecem registros válidos apenas para um pequeno entorno do instrumento, gerando a necessidade de extrapolação dos dados (COLLISCHONN et al. 2006). Além disso, a grande quantidade de falhas existentes nos dados dessas estações meteorológicas também prejudica uma análise temporal da variabilidade climática (ALMEIDA et al., 2015). Com isso, dados de satélite têm sido utilizados para suprir as deficiências dos dados de superfície na estimativa da precipitação pluvial (OLIVEIRA et al., 2014).

Uma das alternativas de metodologias para estimativa de precipitação através de imagens de satélite é o satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), o qual tem como objetivo específico medição de precipitação nos trópicos (COLLISCHONN et al., 2006). Desde o seu lançamento em 1997, a TRMM forneceu medições críticas de precipitação nas regiões tropicais e subtropicais do nosso planeta. As medições de precipitação do TRMM forneceram dados críticos para previsão de ciclones tropicais, previsão numérica de tempo e climatologias de precipitação, entre muitos outros tópicos, bem como uma ampla gama de aplicações sociais (NASA, 2019). Em função de ser o satélite mais bem equipado em termos de instrumentos para estimativa de precipitação, o satélite TRMM fornece estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas, baseadas em imagens de outros satélites (BARRERA, 2005).

O produto 3B43 é um produto de precipitação do satélite TRMM, tem como objetivo proporcionar a melhor estimativa de precipitação mensal com o menor erro quadrático médio (RMSE) possível usando dados passivos de microondas (MW) e IV coletados por sensores múltiplos e produto de pluviometria global produzido pelo Centro de Climatologia por

Precipitação Global (GPCC) (HUFFMAN et al., 2007). Este produto apresenta resolução espacial aproximada de 30 km e resolução de tempo mensal. Os dados são disponibilizados na plataforma online da National Aeronautics and Space Administration (NASA) no formato NetCDF.

Almeida et al. (2015), em seu trabalho, comparou as estimativas de precipitação pluvial do satélite TRMM (produto 3B43) com dados pluviométricos de superfície provenientes de estações meteorológicas convencionais (EMC) no estado do Amazonas. Seus resultados mostraram que, para o período de estudo selecionado, os dados de TRMM apresentaram desempenho satisfatórios comparado aos dados observados das EMCs, concluindo que as estimativas de precipitação pluvial do produto 3B43 do satélite TRMM são uma boa fonte alternativa de dados para a região Amazônica segundo os parâmetros estatísticos.

2.6 Estimador de densidade Kernel

Entre os vários problemas ambientais enfrentados pelo Brasil, as queimadas estão entre as principais, uma vez que as emissões dos gases resultantes da queima da biomassa colocam o país entre os principais responsáveis pelo lançamento de gases do efeito estufa no planeta. Além de contribuir com o aquecimento global e conseqüente mudanças climáticas, causam inúmeros prejuízos econômicos, sociais e ambientais, perda da biodiversidade, desertificação e desflorestamento (IBAMA, 2019)

Neste contexto, existe a necessidade de se avançar continuamente no controle às queimadas em ambientes naturais, o que motiva a produção de tecnologias que proporcionem o monitoramento da ocorrência das queimadas (PEREIRA et al., 2013). De acordo com Fernandes et al. (2011), a grande maioria dos estudos conduzidos no Brasil atuam principalmente na detecção de queimadas e não na construção de cenários que possibilitem apontar áreas susceptíveis a ocorrência desse fenômeno. Assim, o uso de técnicas de análise espacial se mostra como importante ferramenta que possibilita a identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de queimadas (PEREIRA et al., 2013).

O estimador Kernel é um método estatístico não paramétrico e tem sido muito utilizado para mapear ocorrências de incêndios (DE LA RIVA et al., 2004). Este estimador é comumente utilizado para gerar uma superfície contínua por meio da interpolação de dados amostrais (SILVA et al., 2013). Este interpolador desenha uma vizinhança circular ao redor de cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência, e então é aplicada uma função matemática de 1, na posição do ponto, a 0, na fronteira da vizinhança, o valor para a célula é a soma dos valores kernel sobrepostos, e divididos pela área de cada raio de pesquisa (SILVERMAN, 1986).

A matriz de kernel, através da qual a transformação não-linear é realizada, contém também medidas de similaridade entre amostras e grupos de amostras para todos os elementos do conjunto indutivo. O método não-paramétrico de estimação de densidade por kernel (KDE) utiliza tais matrizes para induzir funções a partir da informação estrutural contida nos dados, tendo como parâmetro a definir apenas a largura da função de kernel, sem necessidade de suposições a priori sobre a forma da função geradora. Tal parâmetro, também chamado de parâmetro suavizador do kernel, possui papel fundamental no KDE, sendo o valor escolhido o que define se a estimativa realizada consegue ou não representar de maneira adequada a relação entre os dados (WANDERLEY, 2013).

Souza et al. (2013) aplicaram metodologia similar baseada no estimador de densidade Kernel para analisar focos de desmatamento e focos de calor em uma unidade de conservação. Foi observado pelos autores que os resultados encontrados pelo estimador de densidade auxiliaram na análise visual para a identificação de alta densidade da ocorrência de

determinado fenômeno estudado. A aplicação do estimador possibilitou também obter informações qualitativas sobre o provável padrão de ocorrência de incêndios no Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre os anos de 2006 e 2017 (SANTOS et al., 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estado do Acre (Figura 1) encontra-se na região Norte do Brasil, possui 22 municípios, em uma área de 164.123,738 km² e população estimada em 2018 de 869.265 habitantes (IBGE, 2019). Faz divisa com duas unidades federativas: Amazonas ao norte e Rondônia a leste; e faz fronteira com dois países: a Bolívia a sudeste e o Peru ao sul e a oeste (IBGE, 2019).

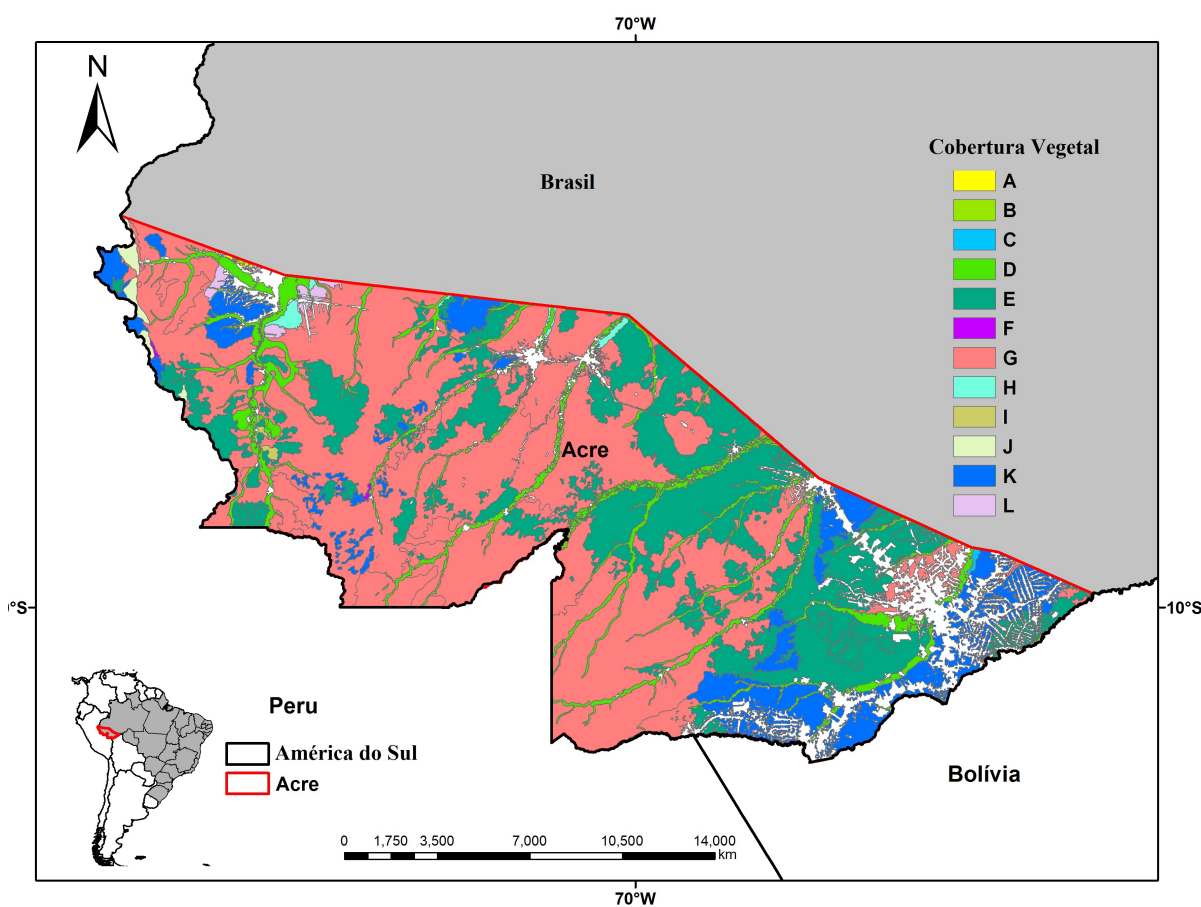


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo e classes de uso da vegetação do Estado do Acre.

O estado está inserido no bioma Amazônia, cujo clima de acordo com Köppen é classificado, em sua maior parte, como Equatorial Af com presença de mês seco. A precipitação média anual é de 2050 mm, sendo o mês de março considerado o mais chuvoso e julho o menos chuvoso. A temperatura média anual do ar do Estado do Acre é de 25°C e a umidade relativa média anual do ar é de 85% (ALVAREZ et al., 2013).

3.2 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

Foram feitas coletas de dados referentes à ocorrência dos fenômenos La Niña (julho de 2007 a julho de 2008), El Niño (junho de 2009 a maio de 2010) e neutralidade (janeiro de

2013 a dezembro de 2013) por meio da plataforma digital da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2018).

Por meio da Tabela 1 disponibilizada pela NOAA com as informações sobre o período de atuação de cada evento do fenômeno ENOS, foi possível verificar o intervalo de ocorrência dos eventos extremos de La Niña, El Niño e Neutralidade. Os anos são organizados em trimestres e os eventos são classificados pelas cores vermelha (El Niño), azul (La Niña) e preta (Neutralidade).

Tabela 1: Classificação do fenômeno ENOS

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND
2007	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.1	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6
2009	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.9	1.1
2010	1.3	1.2	0.9	0.5	0.0	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.4
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3

Fonte: NOAA

3.3 Sensoriamento remoto – Produtos

3.3.1 Produto de Focos de Calor

Os dados dos focos de calor e área queimada utilizados neste estudo foram obtidos para os mesmos períodos do evento ENOS. Os focos de calor foram baixados em arquivo shapefile, no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (INPE, 2018). Esse banco de dados do INPE identifica os focos de calor, entre outras informações, através de um conjunto de satélites, são eles: NOAA, TERRA, AQUA e GOES. Os produtos de focos de calor representaram para o evento La Niña, El Niño e Neutralidade um total de 37 arquivos processados de focos de calor para o Estado do Acre. O software ArcGIS 10.5 foi utilizado para acessar o banco de dados e assim realizar a contagem do número de focos de incêndio.

3.3.2 Produto MCD64A1

Para identificação das áreas queimadas no Estado do Acre durante o período do ENOS utilizou-se o produto MCD64A1, que é um produto oriundo das plataformas orbitais Terra e Aqua do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). O produto MCD64A1 é o mais recente, sendo utilizado neste trabalho a Versão 6 do produto com resolução espacial de 500 m e temporalidade mensal (GIGLIO et al., 2015). As imagens são oriundas da NASA (National Aeronautics and Space Administration) EOSDIS (Earth Observing System Data and Information System), no endereço www.reverb.echo.nasa.gov. Neste estudo foram utilizadas um total de 144 imagens correspondente aos Tiles H10V9, H10V10, H11V9 E H11V10 para o evento ENOS no Estado do Acre.

3.3.3 Produto MOD13Q1

Na análise da vegetação durante os eventos do ENOS foi utilizado o Enhanced Vegetation Index (EVI) composto do produto de 16 em 16 dias MOD13Q1 do sensor MODIS a bordo do satélite Terra, da coleção 006 com resolução espacial de 250 metros (HUETE et al., 1999). Neste estudo foram utilizadas um total de 295 imagens EVI correspondente aos Tiles H10V9, H10V10, H11V9 E H11V10 para o evento ENOS no Estado do Acre. Das 295 imagens, 104 foram para o período de La Niña, 96 para o período de El Niño e 95 para o período de Neutralidade.

3.3.4 Produto 3B43

Devido a limitação espacial e temporal de estações meteorológicas automáticas e convencionais na região Norte e especificamente o Estado do Acre, foram utilizados dados de chuva do produto Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Os dados de chuva do satélite TRMM produto 3B43 foram obtidos no formato NetCDF no site: <https://trmm.gsfc.nasa.gov/>. Esse produto fornece dados com resolução espacial de aproximadamente 30 km e resolução temporal mensal. Utilizou-se a metodologia proposta por Almeida et al. (2015), para isso foi utilizado o programa ArcGIS versão 10.5 para a conversão dos dados, originalmente em mm.h-1 para mm.mês-1. A extração dos dados foi feita no software ArcGIS 10.5, por meio das ferramentas *multidimension tools* e *make NetCDF raster layer* em que, além da extração, o arquivo foi transformado em raster. Já para a obtenção dos dados do Acre foi usada a ferramenta *extract by mask* do ArcGIS 10.5. Por fim, o valor médio mensal de cada variável foi transferido para planilhas eletrônicas em forma de tabela. O número total de arquivos do produto 3B43 utilizados para o evento ENOS foi de 37 arquivos NetCDF.

3.3.5 Cobertura Vegetal

O estado do Acre possui uma ampla diversidade de classes de vegetação. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018) existem 12 diferentes formas de vegetação no estado. No presente estudo, esses dados foram separados em 12 classes de vegetação (Tabela 2). Nesse caso, também foi utilizado o software ArcGIS 10.5 para leitura dos dados e através da ferramenta *select by attributes* foram quantificados o número de áreas existentes em cada classe.

Tabela 2: Classes de vegetação do Estado do Acre

Código	Vegetação	Área (km ²)
A	Campinarana Florestada sem palmeiras	55.64
B	Campinarana Gramíneo lenhosa sem palmeiras	30.94
C	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com cipós	83.48
D	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial com palmeiras	12846.02
E	Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas com bambus	41914.22
F	Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas com cipós	78.04
G	Floresta Ombrófila Aberta Terras	78309.51

	Baixas com palmeiras				
H	Floresta Ombrófila Densa	Aluvial	641.88		
	Dossel emergente				
I	Floresta Ombrófila Densa	Aluvial	197.91		
	Dossel uniforme				
J	Floresta Ombrófila Densa	Submontana	756.15		
	Dossel emergente				
K	Floresta Ombrófila Densa	Terras Baixas	15042.32		
	Dossel emergente				
L	Floresta Ombrófila Densa	Terras Baixas	763.58		
	Dossel uniforme				
Área total			150719.69		

3.3.6 Análise espacial e estatística descritiva

Após a obtenção dos focos de calor foram calculadas as suas densidades dentro da região de estudo utilizando o estimador de densidade de kernel, presente na extensão *Spatial Analyst tools* do software ArcGis 10.5. O estimador da densidade de Kernel plota a intensidade pontual de um determinado fenômeno, correspondendo ao raio de influência do mesmo. Os resultados gerados através da densidade de Kernel, variam de 1 na posição do ponto a 0 na borda do raio de influência, facilitando a identificação de áreas com maior incidência de focos de calor e o seu comportamento espacial. Esse método foi utilizado a fim de espacializar os focos de calor e assim permitir uma análise mais precisa do tamanho e concentração da ocorrência dos incêndios.

A partir da densidade de kernel, foram criados mapas para cada evento de ENOS que foram classificados, de acordo com sua cor e tonalidade, da seguinte forma: vermelho indica densidade muito alta; laranja indica densidade alta; amarela densidade média; verde com tonalidade mais clara significa densidade baixa e verde com tonalidade mais escura densidade muito baixa. Os mapas interpolados através da densidade de kernel possuem resolução de 1km.

A fórmula matemática do método da densidade de Kernel é expressa na equação 1 por (SMITH et al., 2015):

$$\hat{f}(s,b) = n^{-1}b^{-2} \sum_{i=1}^n K \left\{ \frac{(s-s_i)}{b} \right\} \quad (1)$$

em que,

n = número total de observações;

b = parâmetro de alisamento (isto é, a largura de banda), o qual pode ser variado pelo usuário;

s = vector de coordenada que indica o local em que a função está sendo estimado;

s_i = vector de coordenadas representando cada observação e;

K = função de densidade que satisfaz a seguinte condição dada pela equação 2:

$$\int K(s) ds = 1 \quad (2)$$

Foi realizada uma análise estatística descritiva dos dados obtidos, em que se determinaram a média, valores mínimo e máximo, desvio padrão, variância e coeficiente de variação. A análise estatística foi realizada individualmente para cada produto analisado (área queimada, focos de calor, chuva e EVI). As análises estatísticas foram realizadas no software R versão 3.2.1.

4. RESULTADOS

4.1 Área queimada e variáveis biofísicas

Durante o período de El Niño as áreas queimadas concentraram-se basicamente nos meses de agosto com 3 km², setembro com 20.75 km² e outubro atingindo 61.5 km² de áreas queimadas no Estado do Acre (Figura 2). A área total queimada neste período foi de 85.3 km².

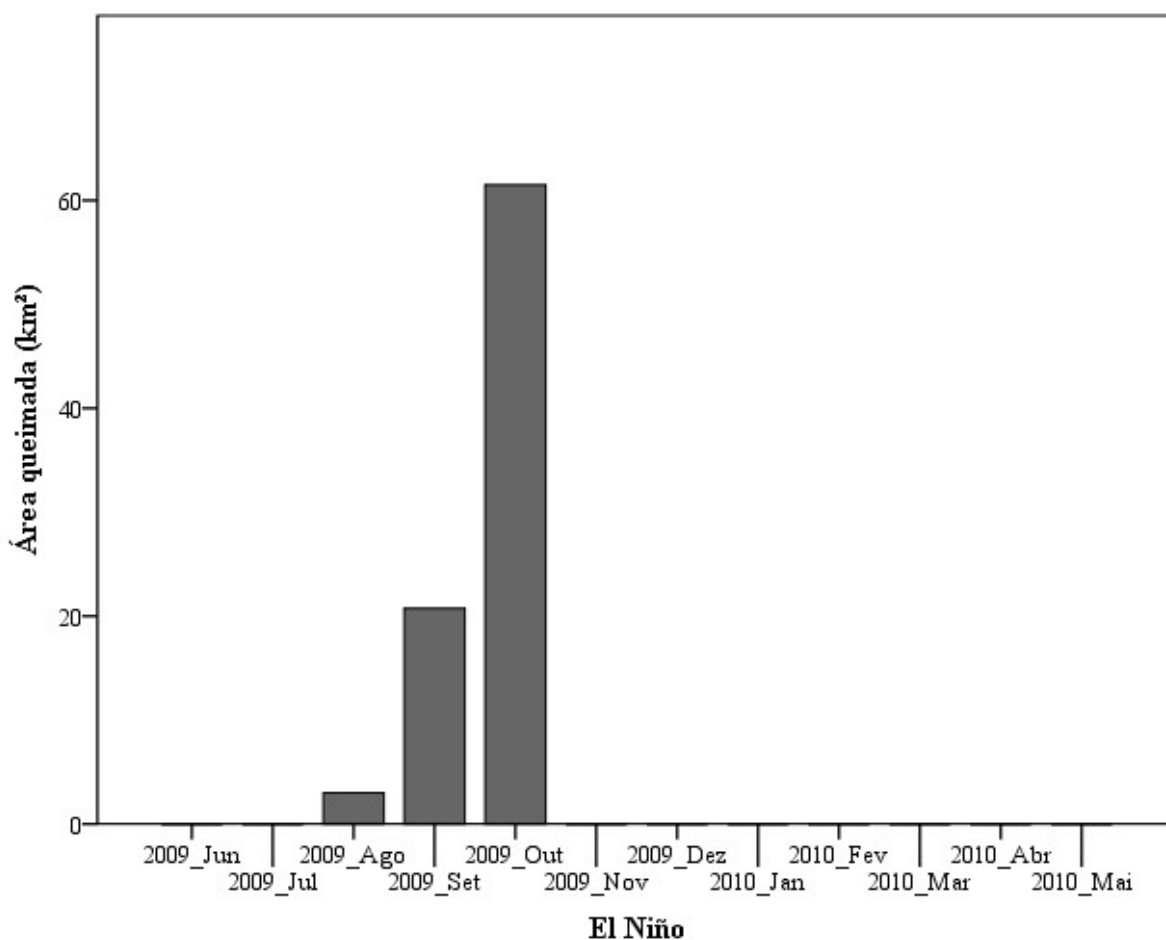


Figura 2: Área queimada durante o evento de El Niño em todo o estado do Acre.

O período de La Niña o número total de área queimada foi maior que o El Niño e Neutralidade com 296 km², esse valor representa um aumento de 250% maior em La Niña quando comparada ao El Niño. As áreas queimadas concentraram-se nos meses de julho, agosto, setembro e outubro, sendo o mês de setembro que obteve a maior área queimada de 116.3 km² (Figura 3).

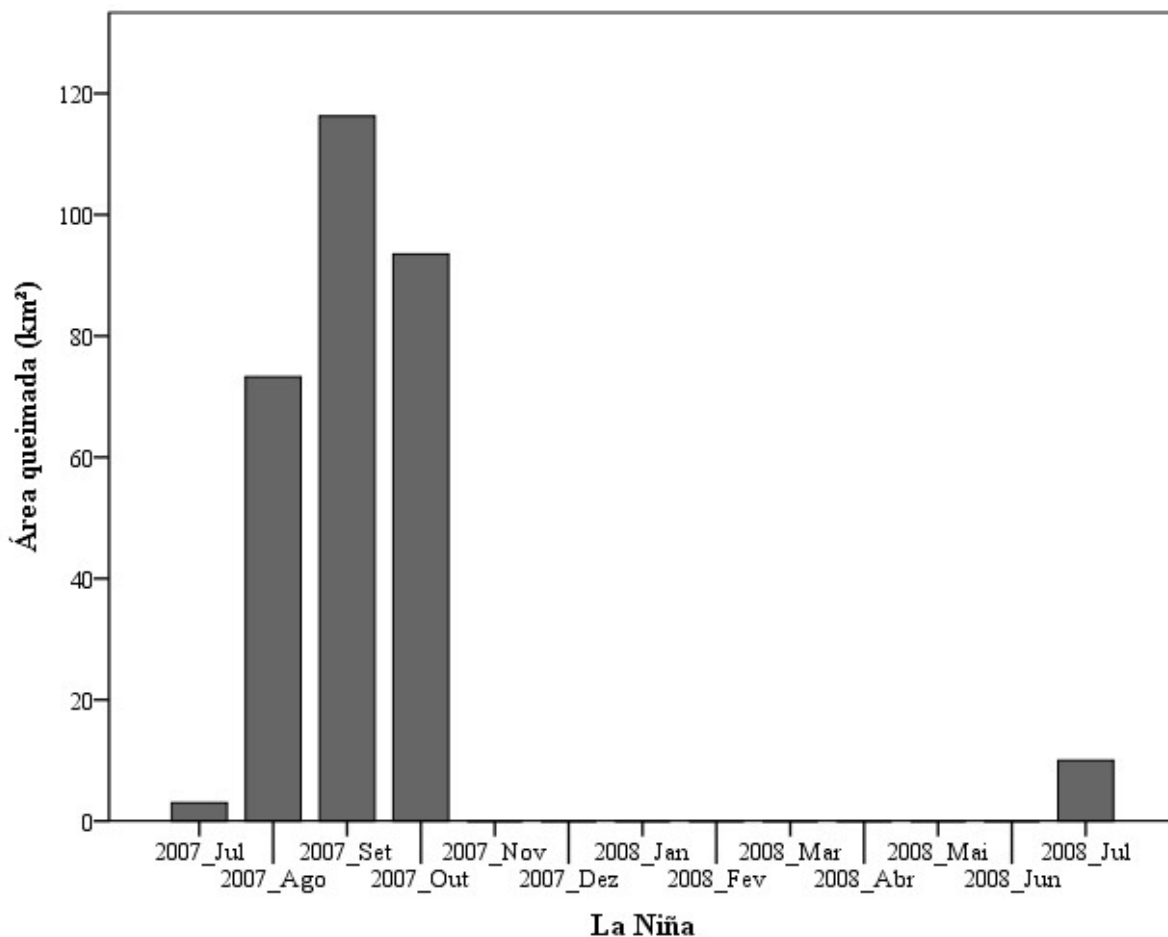


Figura 3: Área queimada durante o evento de La Niña em todo o estado do Acre.

Durante a Neutralidade o número total de área queimada foi de 79.3 km². As áreas queimadas concentraram-se nos meses de maio, julho, agosto, setembro e outubro, sendo o mês de julho que obteve a maior área queimada de 18.5 km² (Figura 4).

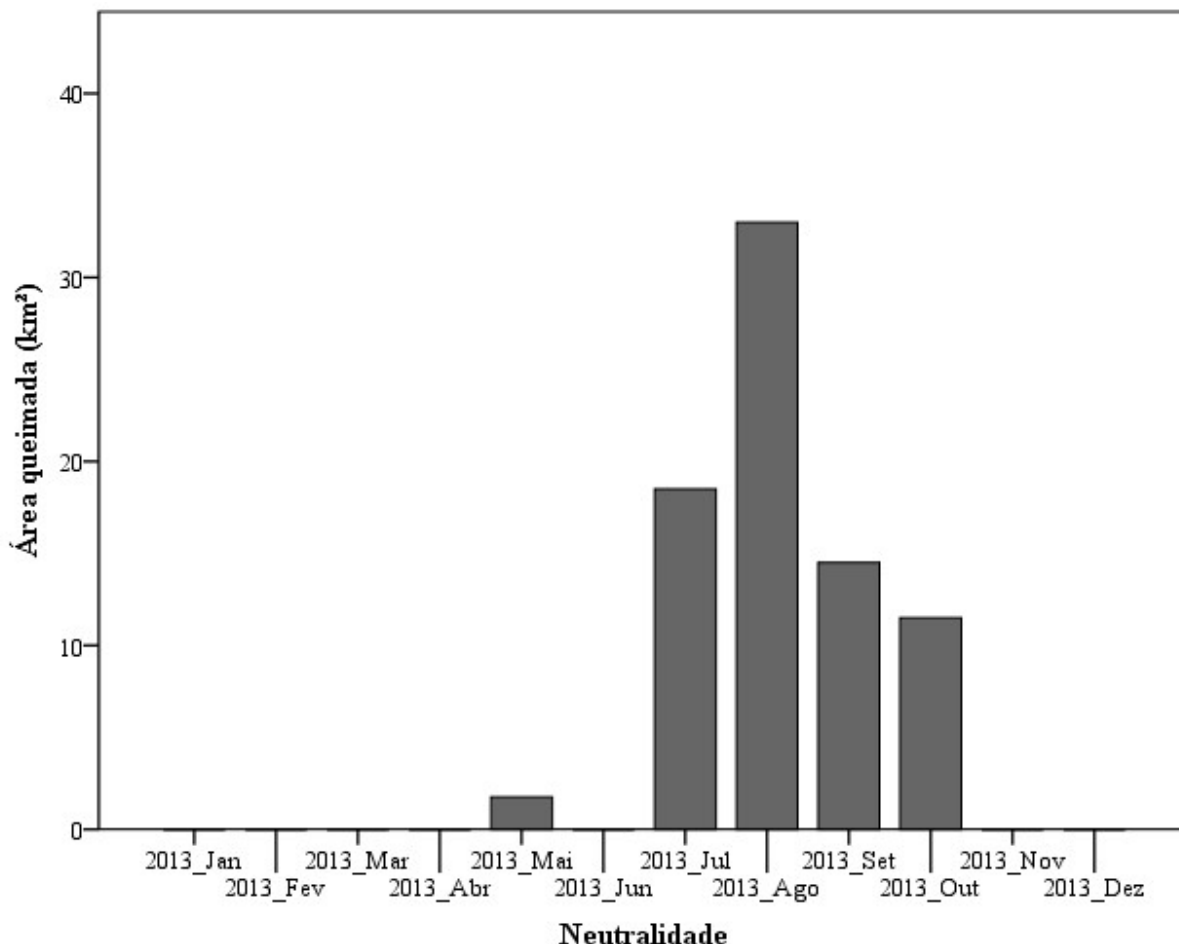


Figura 4: Área queimada durante o evento de Neutralidade em todo o estado do Acre.

Em relação as variáveis biofísicas durante o episódio de El Niño (Tabela 3), o maior valor de chuva e EVI foram encontrados com 368.65 mm e 0.595. Os valores totais pluviométricos encontrados para o Estado do Acre para os episódios de El Niño, La Niña e Neutralidade foram de 2053.51 mm, 2009.21 mm e 2133.83 mm.

Os valores do coeficiente de variação das áreas queimadas indicam que a dispersão foi alta, o que mostra a heterogeneidade dos dados. Este fato pode ser explicado pela sazonalidade das chuvas na região de estudo e os diferentes usos do solo. Alguns meses apresentaram áreas queimadas, enquanto em outros meses não foi observado nenhum registro de área queimada no Estado do Acre (Tabela 3).

A menor dispersão foi encontrada para o EVI com valores de coeficiente de variação para os episódios de La Niña (6.88%), El Niño (8.45%) e Neutralidade (8.93). A menor dispersão dos dados pode estar associada a questão da sazonalidade estudada e a relação com a vegetação e radiação solar.

Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis biofísicas durante os episódios de ENOS no Estado do Acre

La Niña (2007-2008)				
Estatística	Área Queimada	Chuva (mm)	EVI	Focos de Calor
Média	22.77	154.55	0.50	391.15
Máximo	116.25	321.52	0.54	3059.00
Mínimo	0.00	27.96	0.40	1.00

Desvio Padrão	40.18	103.08	0.03	857.42
Variância	1614.71	10624.99	0.01	735174.44
Coeficiente de Variação (%)	176.48	66.69	6.88	219.20
El Niño (2009-2010)				
Estatística	Área Queimada	Chuva (mm)	EVI	Focos de Calor
Média	7.10	171.13	0.51	227.25
Máximo	61.50	368.65	0.60	1606.00
Mínimo	0.00	46.08	0.44	0.00
Desvio Padrão	17.36	101.74	0.04	466.29
Variância	301.35	10351.99	0.01	217434.52
Coeficiente de Variação (%)	244.36	59.46	8.45	205.19
Neutralidade (2013)				
Estatística	Área Queimada	Chuva (mm)	EVI	Focos de Calor
Média	6.60	177.82	0.51	1742.00
Máximo	33.00	318.09	0.59	14012.00
Mínimo	0.00	40.18	0.39	12.00
Desvio Padrão	10.22	94.60	0.05	3834.87
Variância	104.45	8949.20	0.01	14706244.83
Coeficiente de Variação (%)	154.75	53.20	8.93	220.15

4.2 Análise espacial dos focos de calor

De acordo com os mapas gerados após a aplicação da técnica de análise espacial Kernel, os focos foram mais intensos nas regiões sudeste do Estado com áreas com alta concentração de focos próxima a estradas (cor laranja e vermelha) (Figura 5). Para o período de La Niña o número total de focos de calor no estado chegou a 5085.

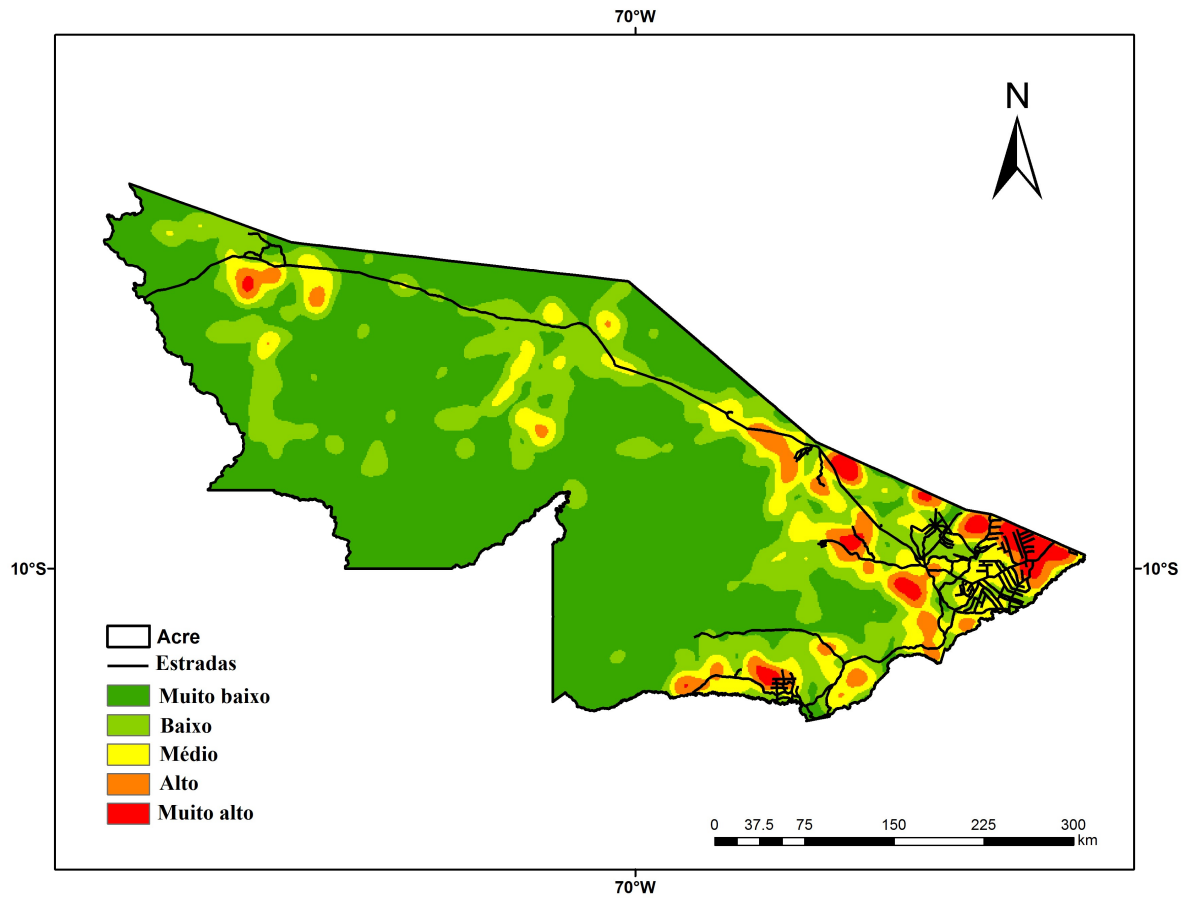


Figura 5: Densidade Kernel para o período de La Niña.

Durante o El Niño, os focos se espalharam no estado acreano, tendo sua concentração maior nas porções leste, central e oeste do estado (Figura 6). O número de focos de calor para este período foi de 2727.

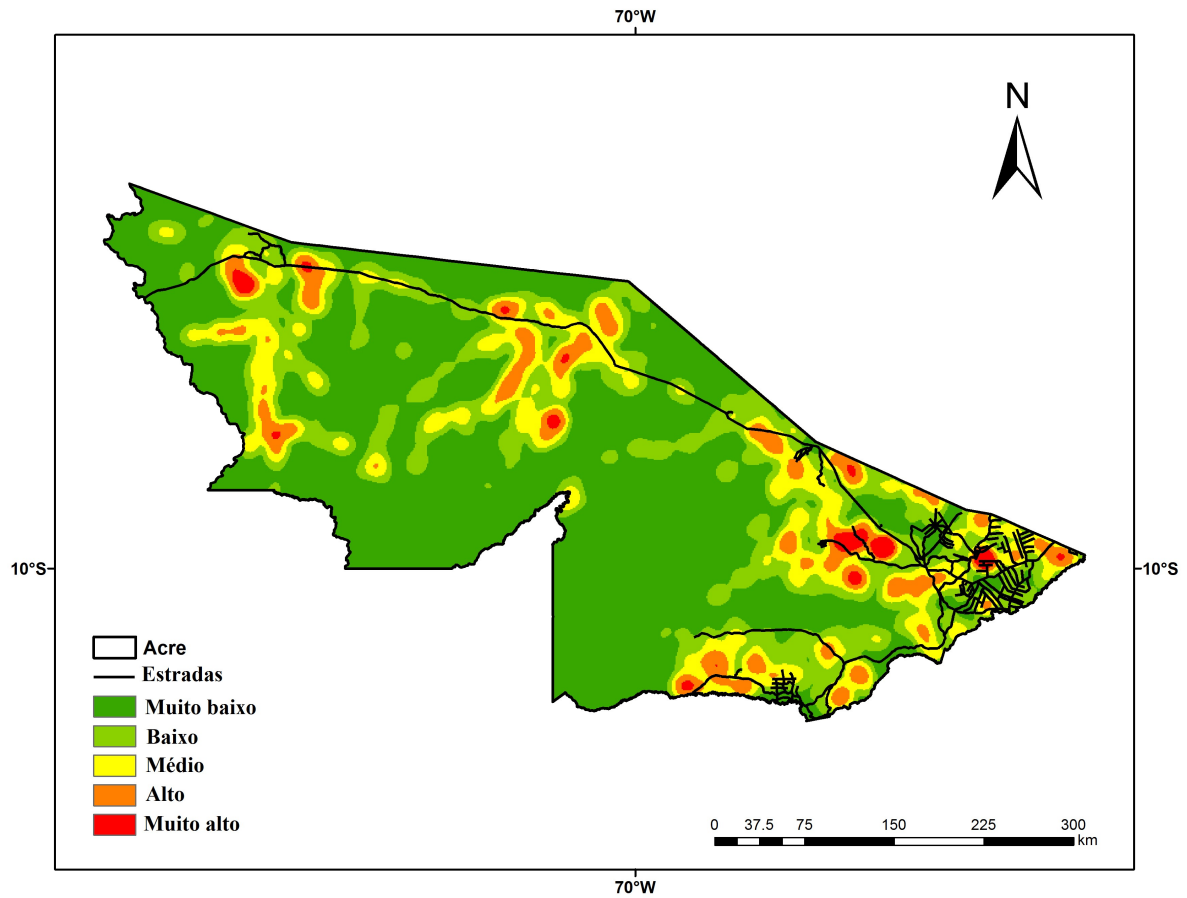


Figura 6: Densidade Kernel para o período de El Niño.

O período considerado como neutro (Figura 7) apresentou a maior concentração de focos de calor no Acre com um total de 20904 focos. Os focos concentraram-se em áreas a sudeste da região e se espalharam até as regiões ao oeste do Estado ao longo da estrada BR364.

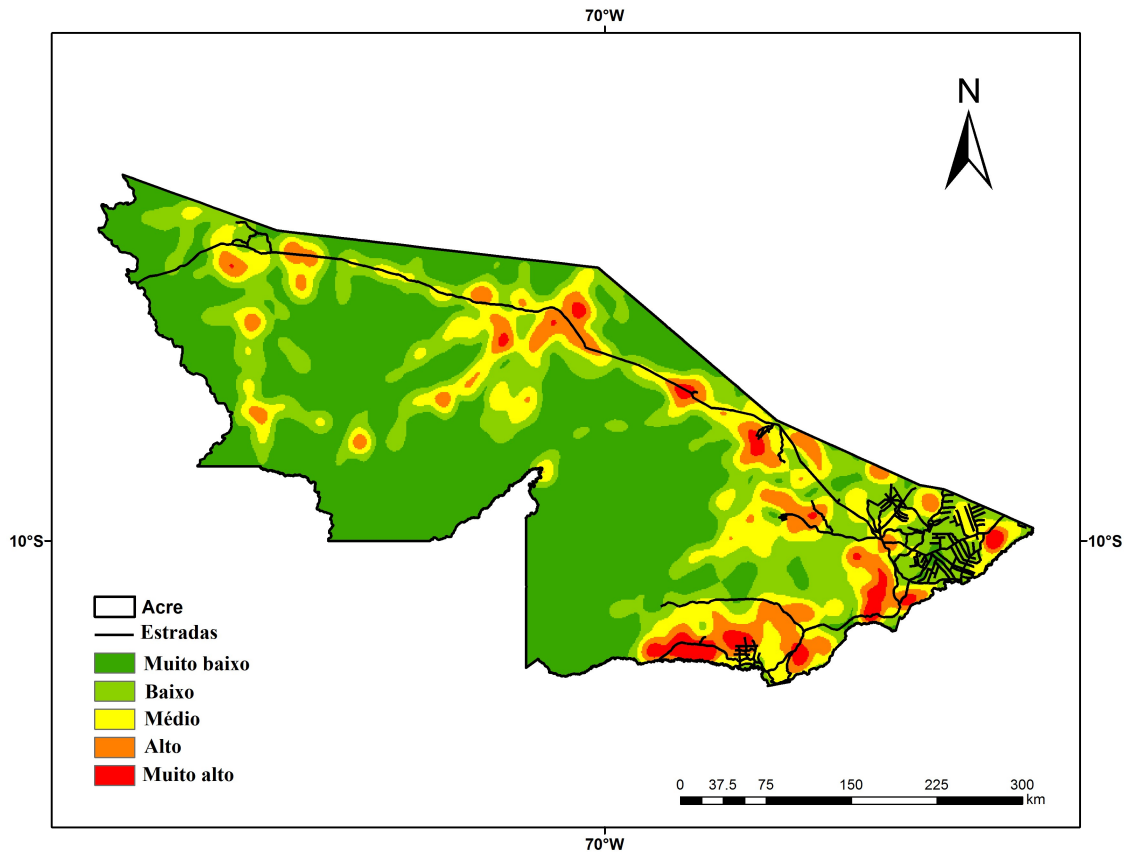


Figura 7: Densidade Kernel para o período de Neutralidade.

A alta intensidade Kernel nessas áreas, pode ser explicada pela alta presença de estradas (BR364) e pela proximidade com o arco de desflorestamento da Amazônia. Nas regiões com cores mais intensas, ou seja, áreas de alta densidade pode-se inferir que exista uma maior concentração no número de focos e as regiões com baixa densidade indicam menores concentrações (Figura 5-7).

4.3 Focos de calor e vegetação

Em todo o período de La Niña foram registrados 5085 focos de incêndio no Estado do Acre, sendo a sua concentração máxima em áreas de cobertura de Floresta Ombrófila Aberta de terras baixas com bambus e Floresta Ombrófila Aberta de terras baixas com palmeiras com 25% e Floresta Ombrófila Densa de terras baixas de dossel emergente 32% nesse período (Figura 8). O mês mais crítico foi o mês de setembro de 2007 com registro de 3059 focos de calor e com alta dispersão dos dados apresentando valor de coeficiente de variação de 219.20% para o ano todo (Tabela 3). A menor concentração de focos de calor foi para o mês de maio em 2008 com registro de apenas 1 foco.

Durante o evento de El Niño a concentração de focos de calor foi menor com 2727 registros, onde a concentração percentual foi maior nas regiões de Floresta Ombrófila aberta de terras baixas com bambus e Floresta Ombrófila Aberta de terras baixas com palmeiras 32% e 23%, respectivamente (Figura 8). O episódio de El Niño foi similar a La Niña, onde a concentração de focos de incêndio maior foi para o mês de setembro de 2009 com registro de 1606 focos, já os menores focos concentraram-se no ano de 2009 meses de junho e dezembro com apenas 1 registro e em 2010 o mês de março com nenhum registro. O coeficiente de variação foi o mais baixo entre os episódios, mas mesmo assim com alta dispersão de 205.19%

O período considerado neutro teve recorde em focos de calor, onde o número total de focos registrados durante a neutralidade atingiu mais de 20 mil focos de calor, a Floresta Ombrófila aberta de terras baixas com palmeiras teve um registro recorde de 5897 focos, o que correspondeu a um percentual de 28% de focos de calor (Figura 8). Este episódio foi recorde para os meses de agosto e setembro com registro de 3584 e 14012 focos de incêndio, respectivamente. A maior dispersão encontrada foi para o El Niño com coeficiente de variação de 220.15%. Os menores registros obedeceram a sazonalidade e período das chuvas no Estado do Acre.

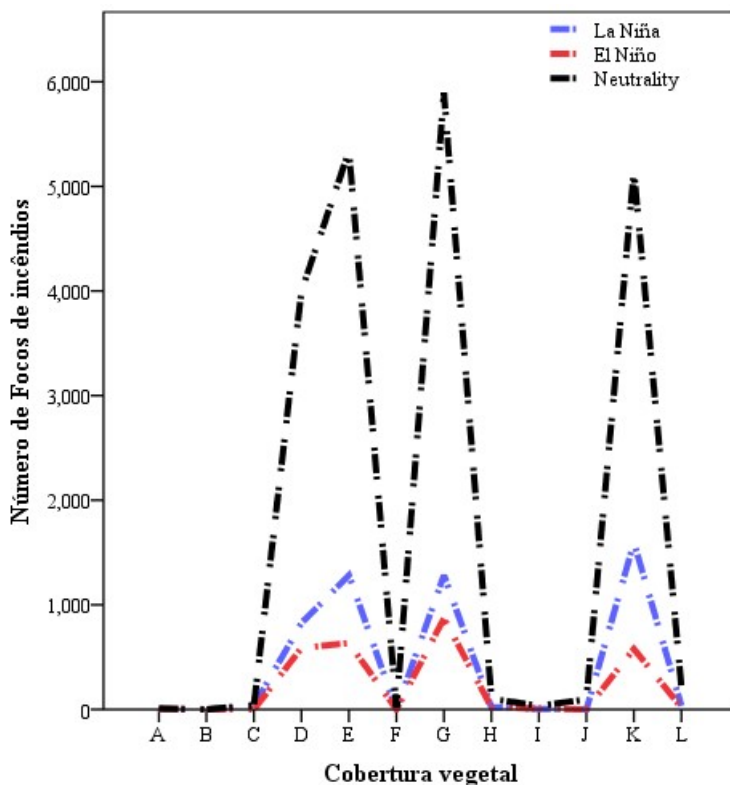


Figura 8: Número de focos de incêndio durante o evento ENOS no estado do Acre.

4.4 Relação das chuvas e EVI com a cobertura da vegetação

No episódio de El Niño, as chuvas concentraram-se nas áreas D, E, G, J e K com valores próximos a 2000 mm, as outras áreas não houveram ocorrência de chuvas (Figura 9). Durante a La Niña e Neutralidade os valores concentraram-se nas mesmas áreas com valores médios totais de 1988.37 mm e 2120.70 mm.

Os extremos de chuvas no episódio de La Niña nas áreas de vegetação ocorreram nos meses de junho de 2007 (171.9 mm) e o valor mais alto de chuva encontrada foi para o ano de 2008 mês de janeiro (1648.57 mm). Este evento foi caracterizado por alta dispersão dos dados de chuvas com valor de coeficiente de variação de 66.69%.

O ano de El Niño o mês mais chuvoso foi o de dezembro de 2009 com valores superiores a 1648.16 mm, já o mês mais baixo foi para julho de 2009 240.23 mm e idêntico ao episódio de La Niña com alta dispersão de 59.46%.

A fase considerada neutra os meses chuvosos concentraram-se no período chuvoso com valor mais alto no mês de março 1537.33 mm e o mês menos chuvoso foi agosto com 216.95 mm. Apesar do valor mais baixo de coeficiente de variação de 53.20% quando

comparado com os episódios de El Niño e La Niña, ainda os dados apresentaram alta dispersão.

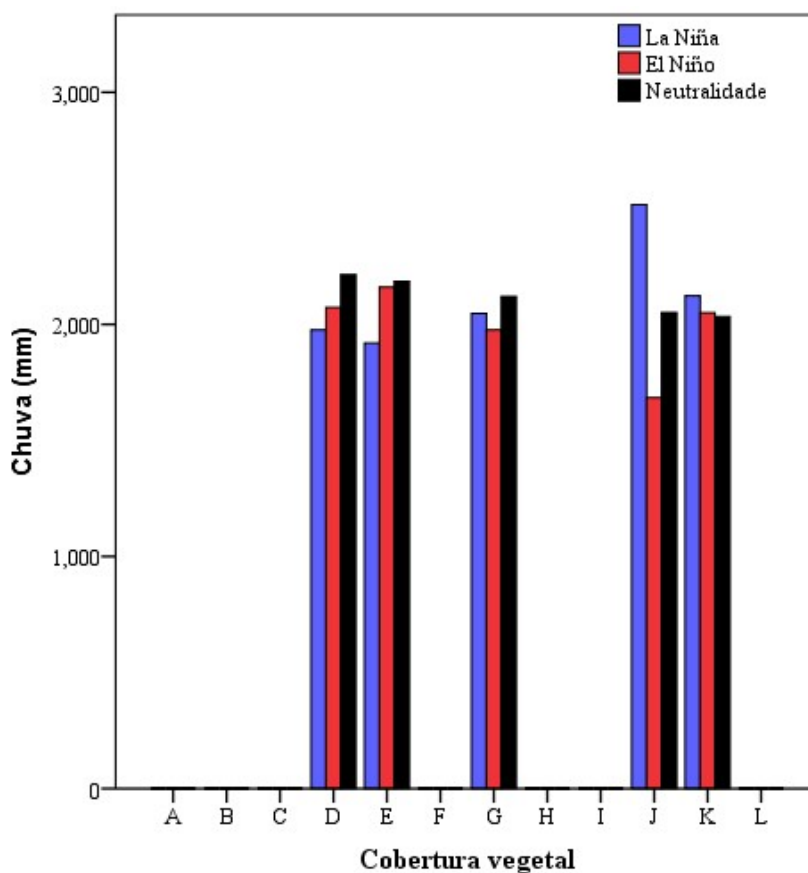


Figura 9: Relação das chuvas com a vegetação durante o episódio do ENOS no estado do Acre.

Essa tendência das chuvas se concentrarem nestas regiões evidencia a importância do estudo nestas regiões, bem como o conhecimento do comportamento dos índices de vegetação por cobertura do uso do solo. O aumento da densidade populacional na região Norte, a abertura de novas fronteiras para o comércio e exploração da madeira nesta região, podem contribuir positivamente para uma alteração no clima regional.

Na Figura 10 os valores de EVI superiores a 0.50 ficaram concentrados no período de La Niña nas classes E, F, G e J. Durante o El Niño as áreas de vegetação com valores superiores a 0.50 foram C, D, E, F, G e K, as outras áreas foram classificadas com valores menores que 0.50 (Figura 10). Durante a Neutalidade as áreas com valores superiores de EVI de 0.50 foram D, E, F, G e K, as demais ficaram abaixo deste valor.

Em 2007 episódio de La Niña, o valor mais alto encontrado de EVI foi para o mês de setembro com 0.53, o mais baixo EVI ficou com o mês de março em 2008 com valor de EVI de 0.38.

Já para a fase El Niño, o valor máximo e mínimo encontrado de EVI foi para o mês de outubro em 2009 com valor de 0.55 e fevereiro de 2010 com valor de 0.43.

A Neutalidade os valores máximos e mínimos de EVI oscilaram durante os meses de outubro 0.57 e fevereiro 0.36.

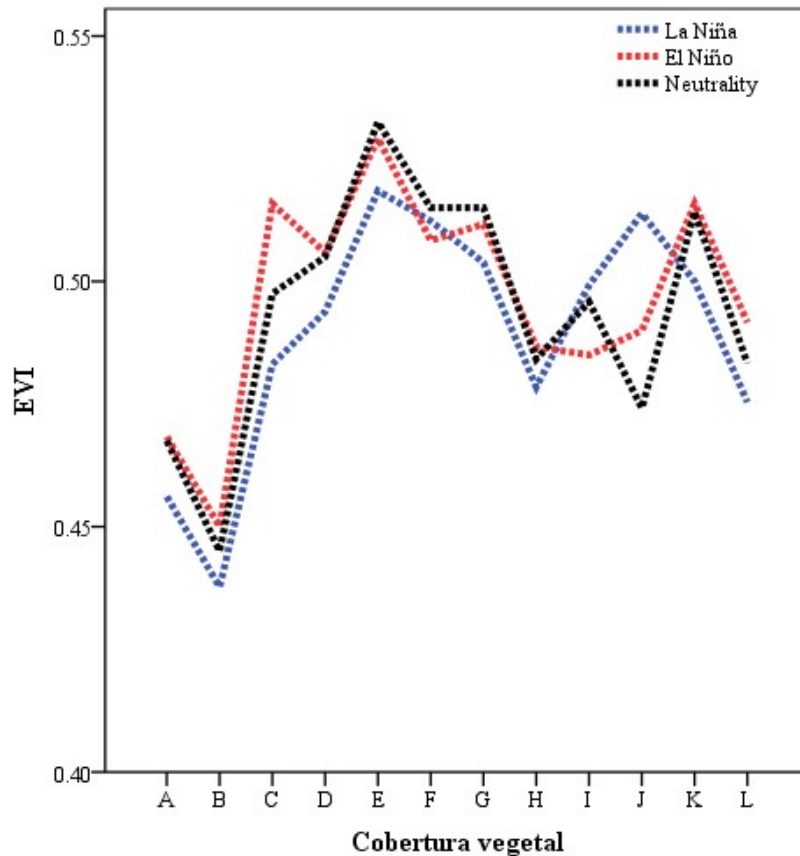


Figura 10: Relação do EVI com a vegetação durante o episódio do ENOS no estado do Acre.

5. DISCUSSÃO

5.1 Incêndios florestais na Amazônia

Os métodos espaciais como a Densidade Kernel são ferramentas de geoprocessamento importantes, uma vez que, os riscos a incêndios florestais podem ser minimizados (BACANI, 2016; TIEN et al., 2016). Além disso, as pesquisas sobre incêndios florestais concentram-se em pontos com posições imprecisas, enquanto outros fatores são frequentemente expressos em unidades de áreas contínuas (ZHANG et al., 2017). Os resultados encontrados por Wu et al. (2014), Ganteaume & Long-Fournel (2015) Bacani (2016) and Zhang et al. (2017) são similares aos encontrados neste estudo, onde as áreas de maior risco a incêndios ficam próximas as margens da área urbana, áreas de pastagens, assentamentos rurais e estradas principais.

Resultados encontrados de área queimada oriundos do produto MCD64A1 são importantes não somente em escala local como os encontrados neste trabalho no Estado do Acre, mas podem servir para o entendimento das mudanças climáticas. Alguns pesquisadores recentemente associam a mudança da paisagem ao depósito de poluentes emitidos por incêndios florestais na região da Eurásia boreal (ZHU et al., 2017). Estes poluentes podem ser transportados para o continente Ártico, e sua posterior deposição na paisagem gelada deste continente poderia acelerar o aquecimento global em função desta região absorver mais a energia proveniente do Sol, o que mudaria o balanço de radiação nestas regiões (ZHU et al., 2017). Os resultados encontrados neste trabalho na região do Acre podem subsidiar pesquisas

em modelagem a respeito da ecologia do fogo e no gerenciamento das emissões antropogênicas de gases poluentes na atmosfera (HUMBER et al., 2018).

As condições climáticas como o fenômeno ENOS desempenham importante função na incidência de focos de calor no Estado do Acre. Em alguns artigos de mudanças climáticas com projeções futuras de alguns modelos como o apresentado no quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre o clima (IPCC, 2014), alguns modelos subestimam a variabilidade do comprimento da estação seca e o risco do desmatamento pode ser muito maior na região Amazônica (FU et al., 2013). Os resultados encontrados neste estudo a respeito do aumento dos focos de incêndio em ano considerado Neutralidade, mostram que nem sempre o aumento dos focos de incêndios, ou até mesmo as secas Amazônicas estão diretamente correlacionados a eventos de El Niño e La Niña, mas podem sim estarem ligados a outros fatores como o aquecimento anormal da superfície do oceano atlântico tropical do Norte (MARENGO et al., 2008, 2011).

No presente trabalho, a maior concentração de focos foi encontrada em período de Neutralidade com registros superiores a 20 mil focos de incêndios, sendo os meses mais críticos aqueles considerados meses secos. Além disso, a classe Floresta Ombrófila aberta de terras baixas com palmeiras apresentou o maior registro de focos de incêndio para este período. Neste estudo foi abordado a influência dos fenômenos climáticos El Niño, La Niña e Neutralidade, não sendo considerados as secas extremas registradas de 2005 e 2010 na região Amazônica. Resultados avaliando a seca extrema de 2005 mostra que a floresta Amazônica apresentou maior suscetibilidade ao fogo no ano de 2005, assim como o maior número de focos de incêndios já registrados por imagens de satélites na Amazônia (VASCONCELOS et al., 2015).

Os resultados encontrados neste estudo são importantes para o conhecimento das relações locais com o clima, fogo e o uso e cobertura do solo. Além disso, a degradação da vegetação na Amazônia durante os últimos anos tem se intensificado com o aumento da demanda em terras agricultáveis. Trabalho similares aos nossos resultados encontrados do EVI para o período ENOS abordam a preocupação da avaliação em índices espectrais da vegetação, CO₂ e clima, na tentativa do entendimento da dinâmica da cobertura vegetal, o monitoramento do desmatamento e análise das mudanças de uso e cobertura da terra (PENHA & FRANCISCO, 2017; OLIVEIRA et al., 2017).

6. CONCLUSÃO

Os focos de calor estavam concentrados nas proximidades das estradas, e os maiores registros de fogo foram encontrados no ano classificado como Neutralidade.

Embora as florestas contribuam para reduzir os efeitos da mudança climática, é uma classe com um alto número de focos de fogo. Além disso, a vegetação armazena uma grande quantidade de umidade e a precipitação é concentrada nessas áreas, que de alguma forma mantém o equilíbrio dos incêndios florestais em anos normais de ENOS.

Este estudo é importante, pois põe em alerta a vulnerabilidade do ecossistema amazônico em face à ocorrência de incêndios e também pode apoiar a mitigação de emissões de carbono e o estoque de biomassa, colaborando para práticas mais sustentáveis em um dos biomas de maior biodiversidade do planeta.

A dinâmica do fogo na Amazônia não está necessariamente relacionada à eventos climáticos extremos. O período de neutralidade apresentou a maior ocorrência de focos quando comparado ao período de La Niña e El Niño juntos. Torna-se necessário fazer um

estudo mais aprofundado sobre a fitofisionomia da região de estudo para compreender a maior ocorrência de focos durante a neutralidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F.A.; SOUZA, J.S.A. Dinâmica Espaço-temporal de Focos de Calor em Duas Terras Indígenas do Estado de Mato Grosso: uma Abordagem Geoespacial sobre a Dinâmica do Uso do Fogo por Xavantes e Bororos. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 1–10, 2016.

ALENCAR, A. A. et al. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. **Ecological applications**, 25(6), 1493-1505. <https://doi.org/10.1890/14-1528.1>. 2015.

ALMEIDA, C. T. et al. **Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. Floresta e Ambiente**, 22(3): 279-286. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.112114>. 2015.

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. 2013.

ALVES, D. B.; PÉREZ-CABELLO, F.; FEBRER-MARTÍNEZ, M. Accuracy assessment of the latest generations of MODIS burned area products for mapping fire scars on a regional scale over Campos Amazônicos Savanna Enclave (Brazilian Amazon). **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 12, n. 02, p. 1, 2018.

ANDRADE, C.F. et al. Fire outbreaks in extreme climate years in the State of Rio de Janeiro, Brazil. **Fire Research Institute**. 2019.

ANGELO, M. F. et al. Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, p. 6969-6976.

ARAGÃO, L. E. et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature communications**, 9(1), 536. doi:10.1038/s41467-017-02771-y. 2018.

BACANI, V. M. et al. Geoprocessing applied to risk assessment of forest fires in the municipality of Bodoquena, Mato Grosso do Sul. **Revista Árvore**, 40(6): 1003-1011. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000600005>. 2016.

BARBOSA, M. L. F. et al. Occurrence of fire foci under different land uses in the State of Amazonas during the 2005 drought. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1–14, 2018.

BARRERA, D. F. et al. Precipitation estimation with the hydro-estimator technique: its validation against rain gauge observations. **VII Congresso da IAHS**, Foz do Iguaçu, 3-9, abr. 2005.

BAYMA, P.B. et al. **Análise do potencial de séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma cerrado**. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília - DF. 2015.

BRADLEY, B. A. et al. A curve fitting procedure to derive inter-annual phonologies from time series of noisy satellite NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, n.2, p. 137-145, 2007.

CAROLINE, A. et al. **Análise da distribuição de focos de calor no município de NovoProgresso**, Pará, Brazil. n. 91, p. 298–303, 2017.

CAÚLA, R. H. et al. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1497–1508, 2015.

CLEMENTE, S. S., OLIVEIRA JUNIOR, J. F., LOUZADA, M. A. P. Focos de Calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro TT - Fire Focus in the Atlantic Forest of the State of Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 669–677, 2017.

COLLISCHONN, B. et al. Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1.; 2006, Campo Grande. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2006. p. 47-56.

DE LA RIVA, J. et al. Mapping forest fire occurrence at a regional scale. **Remote Sensing of Environment**, 92, 363–369, 2004. DIDAN, K.; MUNOZ, A. B.; HUETE, A.

Mod13_User_Guide. v. 2015, n. June, 2015. Disponível em: <https://vip.arizona.edu/documents/MODIS/MODIS_VI_UsersGuide_June_2015_C6.pdf> . Acesso em: 4 abr. 2019.

Duffy, P. B. et al. Projections of future meteorological drought and wet periods in the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 112(43), 13172– 13177. 2015.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Laboratório de Agrometeorologia**. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/agromet/elninolanina/plantar.html>>. Acesso: 8 fev. 2019.

FERNANDES, M. C. et al. Avaliação geocológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 299-309, 2011.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado da arte. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FU, R. et al. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 110(45): 18110-18115. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302584110>. 2013.

GAMA, N. A. **Validação das estimativas de precipitação observadas pelo Tropical Rainfall Measuring Mission para o Brasil**. 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. 2016.

- GANTEAUME, A.; LONG-FOURNEL, M. Driving factors of fire density can spatially vary at the local scale in south-eastern France. **International Journal of Wildland Fire**, 24(5), 650-664. <https://doi.org/10.1071/WF13209>. 2015.
- GANTEAUME, A.; GUERRA, F. Explaining the spatio-seasonal variation of fires by their causes: The case of southeastern France. **Applied Geography**, 90, 69-81. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.11.012>. 2018.
- GIGLIO, L. et al. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 2, p. 408–420, 2009.
- GIGLIO, L. et al. MCD64A1 MODIS/Terra+Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500m SIN Grid V006 [Data set]. **NASA EOSDIS Land Processes DAAC**. doi: 10.5067/MODIS/MCD64A1.006. 2015.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, Boston, v.11, p.2863-2880, NOV., 1998.
- HAO, W. M.; LARKIN, N. K. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Wildland fire detection and burned area in the United States. **Forest Ecology and Management**, v. 317, p. 20–25, 2014.
- HUETE, A. et al. Overview of radiometric and biophysical performance of MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment** 83, 195–213. 2002.
- HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. **Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document**. Disponível em: < https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>. Acesso: 11 apr. 2018. 1999.
- HUFFMAN, G. J. et al. The TRMM multi-satellite precipitation analysis: quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. **Journal of Hydrometeorology**, V.8 (1), p.38–55, 2007.
- HUMBER, M. L. et al. Spatial and temporal intercomparison of four global burned area products. **International Journal of Digital Earth**, 1-25. <https://doi.org/10.1080/17538947.2018.1433727>. 2018.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Brasil em síntese**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/panorama>>. Acesso em: 11 apr. 2018.
- Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. **PREVFOGO**. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/prevfogo>> Acesso em: 1 jun. 2019
- INPE/IBAMA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p.3411-3417.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **Banco de Dados de Queimadas**. Disponível em: <https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas>. Acesso em: 11 apr. 2018.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Banco de Dados de Queimadas**. Disponível em: < http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/pub_queimadas.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019.

- KERR, G. H. et al. Climate change effects on wildland fire risk in the Northeastern and Great Lakes states predicted by a downscaled multi-model ensemble. **Theoretical and Applied Climatology**, 131(1-2), 625-639. DOI 10.1007/s00704-016-1994-4. 2018.
- KUTER, S., USUL, N., & KUTER, N. Bandwidth determination for kernel density analysis of wildfire events at forest sub-district scale. **Ecological modelling**, v. 222, n.17, p. 3033-3040, 2011.
- LAZZARINI, G. M. J. et al. Análise da distribuição de focos de calor no Tocantins entre 2002 e 2011. **Revista Interface** (Porto Nacional), n.5, 2012.
- LE PAGE, Y. et al. Synergy between land use and climate change increases future fire risk in Amazon forests. **Earth System Dynamics**, 8(4), 1237. <http://dx.doi.org/10.5194/esd-8-1237-2017>. 2017.
- MARENGO, J.A. et al. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, 21(3): 495-516. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>. 2008.
- MARENGO, J.A. et al. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, 38(12). <http://dx.doi.org/10.1029/2011GL047436>. 2011.
- National Aeronautics and Space Administration – NASA. **Precipitation Measurement Missions**. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov/TRMM/mission-overview>>. Acesso em: 22 mai. 2019.
- National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA). ENSO: **Cold & Warm Episodes by Season**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 11 apr. 2018.
- National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA). ENSO: **El Niño Southern Oscillation (ENSO)**. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/>>. Acesso em: 8 fev. 2019.
- MESQUITA, F. W. et al. Histórico dos incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em imagens Landsat. **Revista Biodiversidade Brasileira**, n.2, p. 228-246, 2011.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Dados geográficos**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 11 apr. 2018.
- MORISSETTE, J. T. et al. **Validation of MODIS active fire detection products derived from two algorithms**. **Earth Interactions**, 9(9), 1–25. 2005.
- NOBRE, C.A.; OBREGÓN, G.O.; MARENGO, J. A. Características do Clima Amazônico: Aspectos Principais. **Amazonia and Global Change**. p.149-162, 2009.
- OLIVEIRA, A.S. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia, M. S. thesis, 246 p. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**, Brazil. 1986.
- OLIVEIRA, J. F. J. et al. Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro in Seropédica, Rio de Janeiro State. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 140–149, 2014.

- OLIVEIRA, G. et al. Dados de sensoriamento remoto para o estudo das interações biosfera-atmosfera em ecossistemas amazônicos: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Cartografia**, 69(6), 1189-1210. 2017.
- OLIVEIRA-SERRÃO, E.A.; SANTOS, C.A.; LIMA, A.M.M. Avaliação da seca de 2005 na Amazônia: uma análise da calha do rio Solimões. **Estação Científica (UNIFAP)**, 4(2): 99-109. 2015.
- PANISSET, J. S. et al. Evaluation of last extreme drought events in Amazon basin using remotely sensing data. In **EGU General Assembly Conference Abstracts** (Vol. 19, p. 16144). 2017.
- PENHA, T. V.; FRANCISCO, C. N. Análise da dinâmica da cobertura vegetal no estado de Mato Grosso utilizando índices de Vegetação do sensor MODIS. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, 1(2017), 4720-4730. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2077>. 2017.
- PEREIRA, A. A. et al. Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, v. 41. n. 100, p. 445-455, 2013.
- PEREIRA, J. A. V.; SILVA, J. B. DA. **Deteção de Focos de Calor no Estado da Paraíba : Um Estudo Sobre as Queimadas**. v. 1, p. 12, 2016.
- ROY, D.; BOSCHETTI, L. MODIS Collection 5 Burned Area Product User' s Guide. **Area**, v. Version 1., n. September, p. 1–12, 2008.
- SANTOS, S. M. B. et al. Quantificação e avaliação dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina e entorno no período de 2007 a 2016. **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 69/4, p. 701-712, 2017.
- SHIMABUKURO, Y. E. et al. Estimating Burned Area in Mato Grosso, Brazil, Using an Object-Based Classification Method on a Systematic Sample of Medium Resolution Satellite Images. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 9, p. 4502–4508, 2015.
- SILVA, T. B.; FRANCA-ROCHA, W. J. S.; ANGELO, M. F. Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, p. 6969-6976. 2013.
- SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. Nova York: **Chapman and Hall**, 1986.
- SMITH, M.; GOODCHILD, M.F.; LONGLEY, P.A. **Geospatial Analysis. A Comprehensive Guide to Principles Techniques and Software Tools**. Edition. Disponível em: <http://www.spatialanalysisonline.com/>. Acesso em: 11 apr. 2018. 2015.
- SOLANO, R. et al. **MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series) Version 2.0**, Vegetation Index and Phenology Lab., Universidade do Arizona, 38p., 2010.
- SOUSA, A. M. et al. Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação na Amazônia durante Eventos ENOS (Spatio-temporal Variability of Precipitation in the Amazon during ENOS Events). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.1, p. 013-024, 2015.
- SOUZA, E.B. et al. Precipitação sazonal sobre a Amazônia Oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o REGCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.24, n.2, 111-124, 2009.

- SOUZA, N. P. et al. Aplicação do Estimador de Densidade kernel em Unidades de Conservação na Bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, p. 4958-4965. 2013.
- TIEN BUI D, Le KTT, NGUYEN VC, LE HD, REVHAUG I. Tropical forest fire susceptibility mapping at the Cat Ba National Park Area, Hai Phong City, Vietnam, using GIS-based kernel logistic regression. **Remote Sensing**, 8(4): 347. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8040347>. 2016.
- VAN DER WERF, G. R. et al. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). **Atmospheric Chemistry and Physics**, 10(23), 11707-11735. <https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010>. 2010.
- VASCONCELOS, S. S. et al. Evolução de focos de calor nos anos de 2003 e 2004 na região de Madre de Dios/Peru –Acre/Brasil – Pando/Bolívia (MAP): uma aplicação regional do banco de dados. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3411-3417. 2005.
- VASCONCELOS, S.S. et al. Suscetibilidade da vegetação ao fogo no sul do Amazonas sob condições meteorológicas atípicas durante a seca de 2005. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 30(2): 134-144. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620140070>. 2015.
- VERBESSELT, J. et al. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. **Remote Sensing of Environment**, v. 114. p. 106-115. 2010.
- WANDERLEY, M. F. B. **Estudos em Estimção de Densidade por Kernel: Métodos de Seleção de Características e Estimção do Parâmetro Suavizador**. 2013. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- WHELAN, R. J. 1995. the ecology of Fire. **Cambridge University Press**. 346p.
- WIEGAND, C. L. et al. Vegetation indices in crop assessments. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 105-119, 1991.
- WILFRED, B. Hydrology: An Introduction. 1. ed. **New York Cambridge University Press**, 2005.
- WILLIAM, H. C. et al. Wildfire potential mapping over the state of Mississippi: A land surface modeling approach. **GIScience and Remote Sensing**. 49(4), 492–509, 2012.
- WU, Z. et al. Relative effects of climatic and local factors on fire occurrence in boreal forest landscapes of northeastern China. **Science of the Total Environment**, 493: 472-480. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.011>. 2014.
- ZHANG, Z. et al. Spatial distribution of grassland fires at the regional scale based on the MODIS active fire products. **International Journal of Wildland Fire**, 26(3), 209-218. <https://doi.org/10.1071/WF16026>. 2017.
- ZHU, C. et al. Size-dependent validation of MODIS MCD64A1 burned area over six vegetation types in boreal Eurasia: Large underestimation in croplands. **Scientific Reports**, 7(1), 4181. DOI: 10.1038/s41598-017-03739-0. 2017.