



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

THAÍS MARCOLINO RIBEIRO

DINÂMICA DE FOCOS DE INCÊNDIO NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

Prof. Dr. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2017



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

THAÍS MARCOLINO RIBEIRO

DINÂMICA DE FOCOS DE INCÊNDIO NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

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. BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA

Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2017

THAÍS MARCOLINO RIBEIRO

Monografia aprovada em 27 de novembro de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Bruno Araujo Furtado de Mendonça
UFRRJ / IF / DS
Orientador

Prof. Msc. Adriana dos Reis Monteiro
UFRRJ / IF / DCA
Membro

Msc. Tamíres Partélli Correia
Membro

Dedico este trabalho a Deus
e a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Aroldo e Márcia, pelo apoio e amor que me ofertaram desde sempre.
Sem eles eu não teria chegado até aqui.

À toda minha família pelo carinho, em especial minha vó Joana pelo exemplo de força e dedicação.

Aos amigos que fiz ao longo dos anos de graduação, por todas as lembranças felizes e engrandecedoras que levarei comigo por qualquer que seja o caminho.

Ao meu namorado Luiz Felipe por ter transformado os 3 últimos anos nos melhores anos da minha vida.

À Universidade Federal por todo o aprendizado e crescimento pessoal e profissional adquirido nos anos de graduação.

Aos professores que com gentileza compartilharam seus conhecimentos. Ao professor José Francisco de Oliveira Júnior, por todas as sugestões e incentivos. Ao meu orientador Bruno Araújo Furtado de Mendonça, pela paciência e ajuda na elaboração deste trabalho.

Obrigada!

RESUMO

As queimadas constituem uma prática largamente utilizada no Brasil, principalmente na região amazônica, sendo o principal instrumento de preparo da terra empregado por produtores rurais. A aplicação indiscriminada do fogo associada a outros fatores pode fazer com que as queimadas sejam convertidas em incêndios florestais. Neste contexto, o estudo e a prevenção assumem importância singular para inúmeras áreas de pesquisa, como o uso de ferramentas de geoprocessamento constitui uma prática imprescindível principalmente quando se tratando de grandes áreas de difícil acesso. Os dados de focos de calor no Brasil disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em seu Banco de dados de Queimadas, frequentemente apresentam redundâncias em função da detecção de uma mesma queimada mais de uma vez, ou da captação de um mesmo foco de calor por diferentes satélites, resultando em uma superestimação dos dados. A baixa resolução espacial de alguns satélites e a utilização de apenas um satélite como fonte de dados, pode também implicar na não detecção de pequenas áreas de queima ou na subestimação da quantidade de áreas afetadas pelo fogo. No presente trabalho, com o objetivo de diminuir as redundâncias, foi utilizado um modelo de identificação e exclusão de focos de incêndios ou queimadas, com o auxílio do software ArcGis 10.2. De um total de 1.273.971 focos de calor obtidos, foram mantidos apenas 433.267 no período estudado (2001 a 2015), indicando uma redução de aproximadamente 66%. A distribuição espacial de focos de calor na Amazônia Ocidental para o período, foi obtida através do Índice de Densidade Kernel. Foram gerados ainda mapas com a precipitação média de cada ano. Foi analisada, através do coeficiente de correlação de Pearson (r) e do coeficiente de determinação R , a relação entre o número de focos e a variável meteorológica chuva. Os resultados indicam uma correlação forte e negativa entre as variáveis.

Palavras-chave: Floresta Amazônica. Incêndios Florestais. Geoprocessamento.

ABSTRACT

Burnings are a practice widely used in Brazil, mainly in the Amazon region, being the main instrument used to prepare the land used by rural producers. The indiscriminate application of fire associated with other factors can cause forest fires a conversion into forest fires. In this context, study and prevention assume singular importance for many areas of research. The use of geoprocessing tools is an essential practice especially when dealing with large areas of difficult access. The data of heat sources in Brazil made available by the National Institute of Space Research in its Database of Burns often present redundancies due to the detection of the same burn more than once or the capture of the same heat source by different satellites, resulting in an overestimation of the data. The low spatial resolution of some satellites and the use of only one satellite as a data source may also imply the non-detection of small areas of burning or the underestimation of the number of areas affected by fire. In the present work, with the objective of reducing redundancies, a model of identification and exclusion of fires or fires was used, with the aid of ArcGis 10.2 software. From a total of 1,273,971 heat sources obtained, only 433,267 were maintained in the period studied (2001 to 2015), indicating a reduction of approximately 66%. The spatial distribution of heat sources in Western Amazonia for the period was obtained through the Kernel Density Index. Were generated maps with the average precipitation of each year. The relationship between the number of foci and the meteorological variable rain, was also analyzed through the Pearson correlation coefficient (r) and the determination coefficient R . The results indicated a strong negative correlation between the variables.

Keywords: Amazon forest. Forest fires. Geoprocessing.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE TABELAS | viii |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 2 |
| 2.1 Queimadas e Incêndios florestais..... | 2 |
| 2.2 Variabilidade climática e o fogo na Amazônia..... | 3 |
| 2.3. Detecção e monitoramento focos de calor por satélites ambientais..... | 3 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 5 |
| 3.1 Área de estudo..... | 5 |
| 3.2 Base de dados..... | 6 |
| 3.2.1 Focos de calor..... | 6 |
| 3.2.2 Dados meteorológicos..... | 6 |
| 3.3 Análise dos dados | 6 |
| 3.3.1 Exclusão de focos múltiplos..... | 6 |
| 3.3.2 Densidade Kernel..... | 8 |
| 3.3.3 Análise estatística..... | 8 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 9 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 15 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 16 |

LISTA DE TABELAS

| | Pag. |
|---|------|
| Tabela 1. Porcentagem de redução, com o número de focos antes e depois da exclusão das redundâncias em cada ano, e o número de satélites utilizados na aquisição dos focos em cada ano..... | 9 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pag. |
|--|------|
| Figura 1: Mapa da área de estudo, que compreende as coordenadas..... | 5 |
| Figura 2: Fluxograma Model Builder (Santos, 2015)..... | 7 |
| Figura 3: Exemplo da retirada da redundância de dados (Santos, 2015)..... | 7 |
| Figura 4: Distribuição de focos de calor e precipitação média no período estudado..... | 10 |
| Figura 5: Número de satélites ambientais utilizados para a detecção de focos de calor ao longo dos anos..... | 10 |
| Figura 6: Anos de ocorrência de El Niño no período estudado (INPE, 2017)..... | 11 |
| Figura 7: Gráfico de dispersão entre o número total de focos de calor e a precipitação anual média..... | 12 |
| Figura 8: Mapa de Kernel dos focos de calor para a Amazônia Ocidental..... | 13 |
| Figura 9: Mapa de pluviosidade média anual para a Amazônia Ocidental..... | 14 |

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior floresta tropical úmida do mundo, com uma extensão de aproximadamente 7 milhões de km², representa um percentual de 56% da área de florestas tropicais do planeta, correspondendo a maior rede fluvial e com 20% do total de água doce da Terra (CORREIA *et al.*, 2007). Assim, a floresta amazônica tem sido foco de atenção mundial devido à sua riqueza mineral, à sua grande diversidade de flora e fauna, e também pelos efeitos que o desmatamento em grande escala pode provocar no clima regional e global (MARENGO, 2007).

A Amazônia Legal pode ser dividida em duas grandes porções, a Ocidental e a Oriental. A Amazônia Ocidental detém, segundo a Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), 42,97% da extensão territorial da Amazônia Legal e inclui aproximadamente 57% das florestas da região (BRASIL, 2017). Portanto, além de representar a parte mais preservada da floresta amazônica é também um estoque de biodiversidade sem igual no planeta, com várias espécies ainda desconhecidas.

De maneira geral, na Amazônia, os incêndios florestais são mais observados nos períodos de seca, que se iniciam no mês de julho (CAÚLA *et al.*, 2016). É nessa época que ocorrem os maiores picos de desmatamento e o uso do fogo constitui uma prática arraigada na cultura da Amazônia Brasileira. Segundo Martinez *et al.*, (2007), as queimadas estão largamente inseridas no processo produtivo da região e correspondem a um dos fatores que impulsiona sua expansão agrícola.

Todo ano agricultores e fazendeiros provocam queimadas em suas terras para converter florestas em áreas de lavouras e pastagens, e/ou para controlar a proliferação de plantas invasoras (ALENCAR *et al.*, 1997). Parte destas queimadas acaba fugindo do controle e penetra na floresta sob a forma de incêndio florestal (NEPSTAD *et al.*, 1999; 2001). Os efeitos dos incêndios na Amazônia atingem uma escala global, pois influenciam a composição química da atmosfera e em fenômenos que estão fortemente ligados ao clima (NEPSTAD *et al.*, 1999). Mudanças nos ecossistemas amazônicos podem provocar impactos na circulação geral da atmosférica, no transporte de umidade para e da região e, por conseguinte, no ciclo hidrológico (CORREIA *et al.*, 2007).

De acordo com Cândido *et al.*, (2007) as projeções climáticas futuras mostram uma tendência de clima mais seco na Amazônia, o que levaria a uma diminuição de umidade na atmosfera e do solo, seguido de uma redução na vazão dos rios e um aumento no risco de incêndio na região. Há também o indício de que o clima da parte leste da Amazônia Ocidental e dos estados de Rondônia e Acre se torne mais seco em função do aumento do grau de aridez da região (LIBERATO *et al.*, 2010).

O Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) monitora os incêndios florestais e as queimadas na região via satélites orbitais através da detecção de focos de calor. Cada satélite de órbita polar produz pelo menos dois conjuntos de imagens por dia, e os geoestacionários geram várias imagens por hora, sendo que no total são processadas mais de 200 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação (INPE, 2017). O INPE disponibiliza uma ampla base de dados de focos de calor (BDQueimadas) e imagens de satélite gratuitas que favorecem trabalhos nessa linha de pesquisa.

Algumas vezes os dados de focos de calor necessitam de um processamento prévio antes de serem utilizados, a fim de evitar possíveis supertestimativas de incêndios florestais ou queimadas quando se utiliza todos os satélites para detecção. Isso se deve as detecções de focos calor coincidentes obtidos pelos diferentes satélites, o que gera uma redundância no número de focos de calor de aproximadamente 40-42% (SANTOS, 2015; DOS SANTOS, 2015). Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo elucidar tais questões para o período de 2001 a 2015 na Amazônia Ocidental, além de realizar um diagnóstico da sua distribuição e analisar comparativamente os dados detectados após a filtragem com dados meteorológicos da região.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Queimadas e Incêndios florestais

Na região Amazônica as queimadas estão diretamente ligadas a mudanças no uso e cobertura do solo, portanto são práticas utilizadas pelos povos tradicionais. Os incêndios florestais têm um conceito mais abrangente e envolve ainda as causas naturais de ocorrência de fogo na vegetação. O fogo é um fator de perturbação dos ecossistemas que é ao mesmo tempo um fenômeno natural e uma criação do homem: uma ferramenta de manejo dos recursos naturais e uma arma de destruição dos ecossistemas (MIRANDA *et al.*, 1996).

Apesar de muitas florestas da Amazônia possuírem uma forte capacidade de resiliência diante das queimadas, os incêndios descontrolados representam um problema crescente (NEPSTAD *et al.*, 2004; COCHRANE 1999). Alguns dos impactos ecológicos do fogo na floresta são o aumento da probabilidade de o fogo tornar-se uma característica permanente da paisagem (NEPSTAD *et al.*, 1999). As florestas queimadas ficam mais suscetíveis a incêndios, que por sua vez, são mais severos em intensidade e impacto, com potencial para transformar a região em savana (COCHRANE *et al.*, 1999).

Segundo Schroeder *et al.*, (2005), no Brasil o maior número de queimadas é registrado no Cerrado e na Amazônia, na região denominada de Arco do desmatamento e está ligado principalmente a ações antrópicas. No entanto, associado as mudanças climáticas, em anos de seca severa o risco de incêndios naturais em áreas florestais e não florestais, pode aumentar consideravelmente (VASCONCELOS *et al.*, 2012).

O Governo Federal criou em 10 de abril de 1989, através do Decreto n. 97635, o Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), que atribui ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, a competência de coordenar as ações necessárias à organização, implementação e operacionalização das atividades relacionadas com a educação, pesquisa, prevenção, e controle e combate aos incêndios florestais e queimadas.

De acordo com a Portaria n. 94 (IBAMA, 1998) a queima controlada é permitida apenas como um fator de produção e manejo em áreas de atividades agrícolas, pastoris ou florestais, assim como com finalidade de pesquisa científica e tecnológica, a ser executada em áreas com limites físicos preestabelecidos. O Novo Código Florestal (Lei 12.651, de 28 de maio de 2012) proíbe o uso do fogo, exceto quando considerado como queima controlada, ou ainda quando relacionados às práticas de prevenção e combate aos incêndios e as de agricultura de subsistência exercidas pelas populações tradicionais e indígenas.

O fogo, seja ele advindo de queimadas ou incêndios, é objeto de estudo importante de diversas áreas do conhecimento, fundamental para entender como se dá sua espacialização no território, suas causas, consequências e os fatores potencializadores de sua ocorrência. O estudo e avaliação dos focos de calor no ambiente é fundamental para mitigar os impactos sobre a fauna, a flora, a qualidade do ar, sobre os solos e sobre o clima.

Uma das catástrofes ambientais mais conhecidas na Amazônia é o incêndio que se sucedeu no ano de 1998 no estado de Roraima, ano em que foi registrado um evento El Niño com alta intensidade (KIRCHOFF & ESCADA, 1998). Tal ocasião motivou a ampliação de programas de monitoramento de queimadas e de risco de incêndios florestais, designado de Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal (PROARCO/IBAMA).

2.2 Variabilidade climática e o fogo na Amazônia

O El Niño é um fenômeno climático de escala global e produz mudanças no padrão de chuvas e temperatura, resultante do aquecimento diferenciado do Oceano Pacífico. No Brasil, ocorre uma redução de chuvas nas regiões Norte e Nordeste e um aumento na região Sul. Na Amazônia, o El Niño está associado a condições mais secas, especialmente nas regiões norte, central e leste. Enquanto que o aquecimento das águas do oceano Atlântico norte está associado a situações de estação seca severa na região sul e sudoeste da Amazônia (CANDIDO *et al.*, 2007).

O ciclo anual das chuvas e de vazões no país varia entre bacias, e de fato a variabilidade interanual do clima, associada ao modo de variabilidade climática El Niño-Oscilação Sul (ENOS), ou à variabilidade no gradiente de temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical e Sul podem gerar oscilações no clima que, por conseguinte resultam em períodos de grandes secas (MARENGO & SILVA DIAS, 2006).

Chuva reduzida e temperaturas mais altas aumentariam a inflamabilidade da floresta amazônica (NEPSTAD *et al.*, 2004). A serrapilheira mais seca serve como combustível para incêndios florestais. O aumento na mortalidade de indivíduos arbóreos aumenta a quantidade de material depositado no chão da floresta, gerando um efeito retroativo com a ocorrência de fogo e ocasionando conseqüentemente mais incêndios florestais (COCHRANE, 2003; COCHRANE *et al.*, 1999).

Durante os anos de ENOS ocorre a liberação do carbono contido na biomassa de florestas em pé para a atmosfera, mesmo que não exista a ocorrência de fogo (RICE *et al.*, 2004; TIAN *et al.*, 1998; CAMARGO *et al.*, 2004). Nas bordas de floresta, onde naturalmente o microclima é mais seco e mais quente do que no interior de uma floresta contínua, essa liberação de carbono também é observada (NASCIMENTO & LAURANCE, 2006).

2.3. Detecção e monitoramento focos de calor por satélites ambientais

O monitoramento de queimada no território brasileiro se dá em diferentes formas de acordo com a extensão do terreno. Em áreas menores este monitoramento é geralmente pontual, em locais estratégicos onde as ações de combate aos incêndios sejam mais eficientes. Em áreas com grandes extensões e/ou áreas de difícil acesso existe a necessidade de técnicas mais abrangentes. O sensoriamento remoto representa uma ferramenta particularmente útil para obter essas informações (PEREIRA *et al.*, 1997).

O monitoramento por imagens de satélites permite a localização de focos de calor no momento do incêndio ou de cicatrizes de áreas queimadas, que podem ser identificadas em imagens de até 3 anos após a ocorrência do fogo, dependendo das características do incêndio e da região (FRANÇA *et al.*, 2007). Técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto são grandes aliados para previsões de risco de incêndios e de estudos posteriores às queimadas a fim de analisar sua distribuição espacial e suas principais áreas de ocorrência bem como seus fatores potencializadores.

As análises de tendências, como a extrapolação dos focos de calor, permitem avaliar o grau de perturbações, apresentando-se como uma boa ferramenta para avaliar mudanças climáticas e alterações do uso e ocupação da terra (VILANOVA, 2014). Além de facilitar a interpretação dos processos de mudanças da paisagem e diagnósticos das causas socioeconômicas. Vasconcelos *et al.*, (2005) utilizaram o banco de dados do INPE a fim de mostrar a evolução dos focos de calor para entender a dinâmica do uso da terra na região de fronteira da Amazônia Sul-Occidental.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) gratuitamente disponibiliza através do seu site, dados de focos de calor no território nacional no Banco de Dados de Queimadas (BDQUEIMADAS). Detectados a partir de sensores a bordo de satélites de sensoriamento remoto, estes dados podem ser usados para avaliar perdas econômicas e efeitos na fauna, flora no solo e na atmosfera, monitorar mudanças no uso e cobertura da terra e elaborar modelos atmosféricos e de impactos climáticos devidos à queima de biomassa vegetal (PEREIRA *et al.*, 1997).

São utilizados todos os satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4um. Atualmente são processadas na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA as imagens AVHRR/3 dos satélites polares NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19 e METOP-B, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA, as VIIRS do NPP-Suomi, e as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-13 e MSG-3(INPE, 2017). Cada satélite de órbita polar produz pelo menos dois conjuntos de imagens por dia, e os geoestacionários geram várias imagens por hora, sendo que no total o INPE processa mais de 200 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação (INPE, 2017).

A relação entre foco e queimada não é direta nas imagens de satélite. Um foco indica a existência de calor em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 375 m, 1 km até 5 km. Neste pixel pode haver tanto uma pequena queimada assim como várias pequenas queimadas ou uma muito grande no seu interior e a indicação será de apenas um único foco. E se uma queimada for muito extensa, ela será detectada em alguns pixels vizinhos, ou seja, vários focos estarão associados a uma única grande queimada. Ainda, é comum uma mesma queimada ser detectada por vários satélites (INPE, 2017)

A base de dados de focos de calor pode apresentar muitas repetições para o mesmo evento (INPE, 2010a). Quando se opta por analisar focos de calor captados por apenas um satélite pode haver subestimação de informação indicando apenas uma fração do número real, devido a sua resolução temporal quando se trata de satélites de órbita polar ou de limitação na captura de pequenas áreas queimadas causada pela baixa resolução espacial quando se trata de satélites de órbita geoestacionária (SANTOS, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na Amazônia Ocidental, localizada no centro geográfico da Amazônia Continental, na Região Norte do Brasil e inclui os Estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima (Figura 1). Sua área foi instituída pelo Decreto-Lei Nº 291 de 28/02/1967, que estabelece incentivos para o desenvolvimento da Amazônia Ocidental da Faixa de Fronteiras abrangida pela Amazônia e dá outras providências.

Ocupa cerca de 2.194.599 km², abrangendo cerca de 42,97% da extensão territorial da Amazônia Legal, inclui aproximadamente 57% das florestas da região (BRASIL, 2017) e 6 (seis) milhões de habitantes segundo o Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2000). Dois terços da cobertura florestal são florestas densas de terra firme ou de várzea, e um terço é constituído por florestas abertas, transicionais e estacionais. Nesta região estão concentrados os maciços florestais, as maiores unidades de conservação e as populações indígenas e tradicionais. As principais atividades econômicas são o extrativismo vegetal e a agropecuária (PAS/MMA).

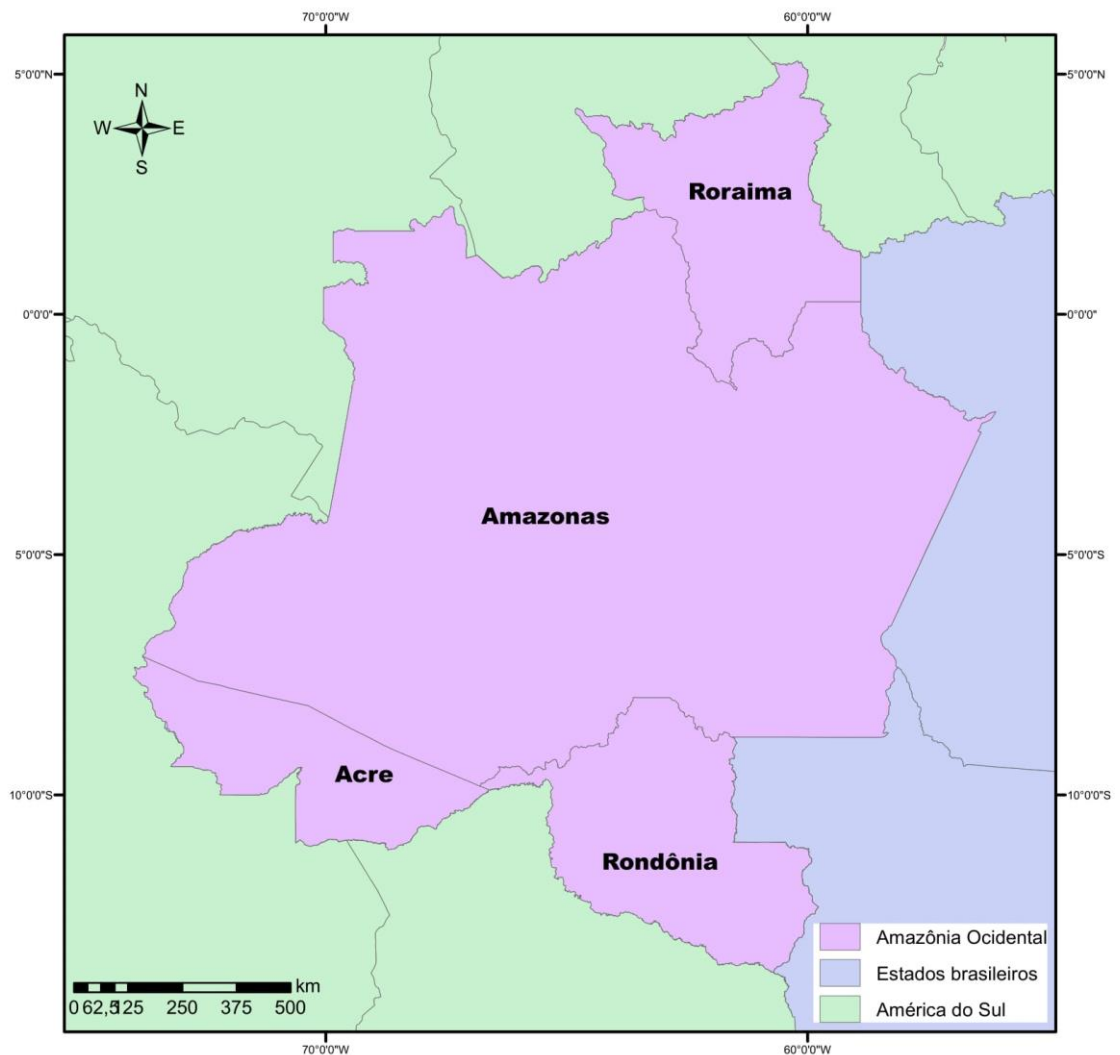


Figura 1: Mapa da área de estudo.

3.2 Base de dados

3.2.1 Focos de calor

Os dados dos focos de calor para a série histórica de 2001 a 2015 foram obtidos, em arquivo no formato shapefile, no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BDQUEIMADAS – Banco de dados de Queimadas), incluindo todos os satélites disponíveis para o período avaliado. Esse banco de dados do INPE identifica os focos de calor, entre outras informações, através de um conjunto de satélites. O *software* ArcGIS 10.2 foi utilizado para acessar o banco de dados e assim realizar a contagem do número anual de focos de incêndio.

Ao todo foram utilizados neste estudo, ao longo do período avaliado, dados de 30 satélites diferentes, a saber: AQUA_M-M, AQUA_M-T, AQUA-M, AQUA-T, ATSR, GOES-08, GOES-10, GOES-12, GOES-13, MSG-02, MSG-03, NOAA-12, NOAA-12D, NOAA-14, NOAA-15, NOAA-15D, NOAA-16, NOAA-16N, NOAA-17, NOAA-18, NOAA-18D, NOAA-19, NOAA-19D, NPP, NPP_375, TERRA_M-M, TERRA_M-T, TERRA-M, TERRA-T, TRMM.

3.2.2 Dados meteorológicos

Neste trabalho foram utilizados arquivos raster com os dados de precipitação pluvial do satélite TRMM produto 3B43, obtidos no formato NetCDF (TRMM, 2014), e posteriormente convertido de mm.h^{-1} para mm.mês^{-1} no programa ArcGIS versão 10.2. Esses dados abrangem informações mensais de todos os estados da Amazônia Legal no período de 2001 a 2015 e por isso houve a necessidade de utilização da ferramenta *Map Algebra* no programa ArcGIS 10.2 para obtenção do somatório da precipitação anual. Para extrair apenas os dados para a Amazônia Ocidental o mesmo software foi utilizado com o auxílio da *Extraction by mask*. Por fim, o valor médio anual foi transferido para o Excel em forma de tabela.

3.3 Análise dos dados

3.3.1 Exclusão de focos múltiplos

Para a validação dos focos de calor foi utilizada metodologia desenvolvida por Santos (2015). A redundância dos focos foi amenizada no programa ArcGis 10.2 através de processos de identificação, agrupamento e de exclusão dos pontos repetidos. O fluxograma abaixo representa as ferramentas utilizadas no processamento executado para a eliminação de pontos para tanto, foi utilizado a ferramenta *Model Builder* que permite a automatização do processo.

Na execução do modelo de exclusão de focos de calor, o arquivo de entrada são os focos de calor como indicado na Figura 2 como “focos”. Posteriormente, a ferramenta *Find Identical* identifica os focos com a mesma data e inclui sua tabela de atributos à tabela original do arquivo de focos de calor. *Buffer`s* são gerados a partir da resolução espacial de cada sensor previamente definida na tabela de atributos do arquivo focos. Os polígonos de mesma data que estiverem no raio de alcance da resolução espacial do sensor são unidos em um mesmo polígono. A ferramenta *Multipart to Singlepart* terá a função de desmembrar as informações referentes a cada polígono na tabela de atributos. Por fim com a ferramenta

Feature to Point, será criado um ponto central para cada polígono e assim gerado um novo arquivo vetorial que será os novos focos de calor sem duplicidade de informação.

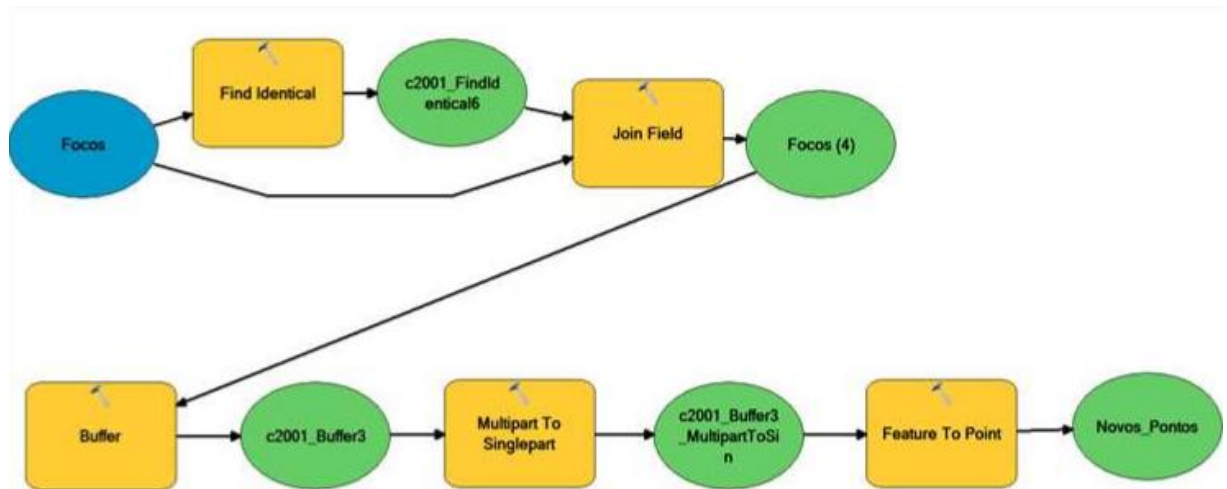


Figura 2: Fluxograma Model Builder (SANTOS, 2015).

A Figura 3 exemplifica o método de interseção dos buffers e a conversão para um novo foco de calor, representando um único incêndio idealmente.

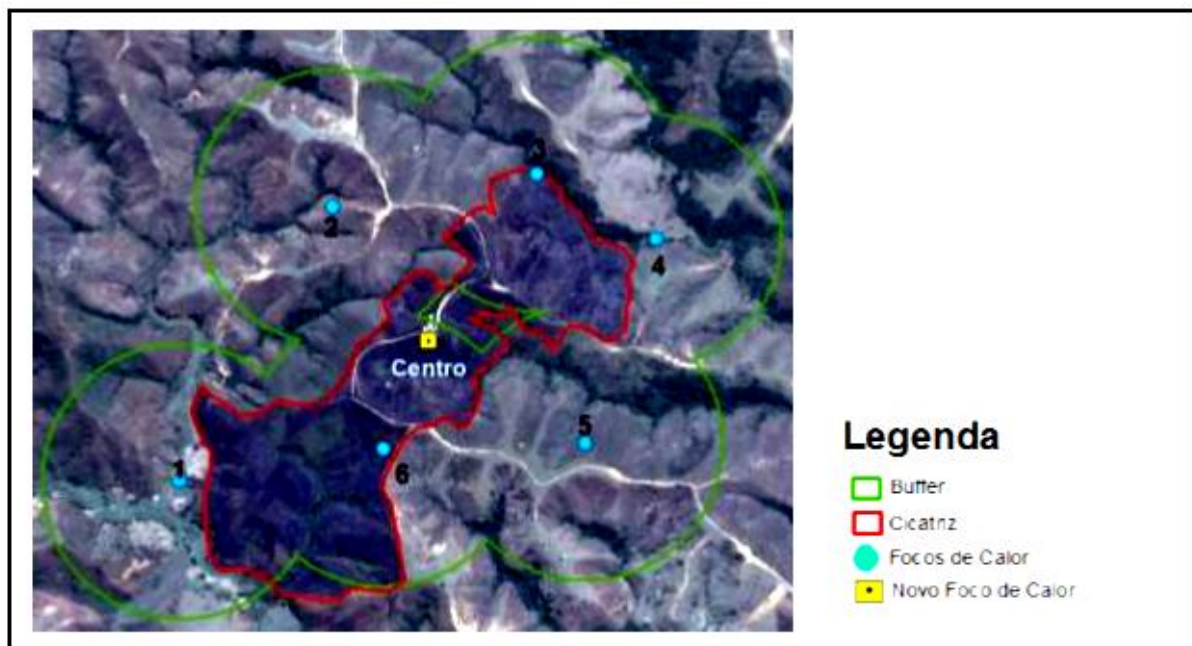


Figura 3: Exemplo da retirada da redundância de dados (SANTOS, 2015).

Após obter novo arquivo vetorial com a exclusão de pontos repetidos, foi realizado a análise através do programa Excel de focos de calor ao longo dos anos com e sem a retirada de pontos duplicados.

3.3.2 Densidade kernel

Após a obtenção dos focos de calor foram calculadas as suas densidades dentro da região de estudo utilizando o estimador de densidade de Kernel, através da ferramenta *Spatial Analyst tools* do *software* ArcGis 10.2. 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 (FILHO *et al.*, 2009).

Esse método foi utilizado a fim de espacializar os focos de calor e assim permitir uma análise mais precisa da concentração da ocorrência dos incêndios. A partir da densidade de Kernel, foram criados mapas para cada ano do período estudado 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 significa densidade baixa e branco densidade muito baixa. Essa classificação por cores é comumente usada e pode ser vista, por exemplo, em Souza *et al.*, (2013) e Barbosa (2017).

O método da densidade de Kernel é expresso pela seguinte fórmula (SMITH *et al.*, 2009):

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

Onde:

n indica o número total de observações;

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

s é um vector de coordenadas que indica o local em que a função está sendo estimado;

s_i é o vetor de coordenadas representando cada observação;

K que é uma função de densidade que satisfaz a seguinte condição:

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

3.3.3 Análise estatística

Para analisar a influência da variável meteorológica sobre número de focos de calor utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o coeficiente de determinação (R^2), ambos foram determinados com o auxílio do *software* Excel, onde o número de focos foi a variável dependente (y) e a chuva a variável independente (x). O R^2 foi calculado a fim de determinar a qualidade do ajustamento da linha de regressão e a proporção em que a variável x explica a variável y, seu valor varia de 0 a 1. O r foi calculado a fim de indicar a forma como as duas variáveis se relacionam e seu grau de correlação, o resultado varia de -1 a 1. Um gráfico de dispersão foi gerado com o objetivo de pontuar dados em um eixo vertical e horizontal para uma melhor visualização da relação entre as variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período estudado de 2001 a 2015, antes da aplicação do método de exclusão de focos múltiplos somavam-se em 1.273.971 ocorrências de focos de calor na Amazônia Ocidental. Após a exclusão completa dos focos redundantes, houve uma redução para 433.267 focos, totalizando uma redução de aproximadamente 66% dos dados no total. A Tabela 1 e a Figura 4 indicam a redução após a exclusão dos focos redundantes em cada ano.

Tabela 1. Porcentagem de redução, com o número de focos antes e depois da exclusão das redundâncias em cada ano, e o número de satélites utilizados na aquisição dos focos em cada ano.

| Anos | Antes | Depois | Redução (%) | Número de satélites |
|-------|---------|--------|-------------|---------------------|
| 2001 | 20811 | 11648 | 44,03 | 5 |
| 2002 | 61262 | 28526 | 53,44 | 11 |
| 2003 | 110911 | 41453 | 62,62 | 14 |
| 2004 | 109704 | 37163 | 66,12 | 14 |
| 2005 | 165825 | 42932 | 74,11 | 20 |
| 2006 | 100130 | 27114 | 72,92 | 20 |
| 2007 | 83374 | 27753 | 66,71 | 21 |
| 2008 | 47128 | 19473 | 58,68 | 19 |
| 2009 | 36158 | 19343 | 46,50 | 21 |
| 2010 | 87062 | 28998 | 66,69 | 21 |
| 2011 | 38657 | 16995 | 56,04 | 21 |
| 2012 | 77055 | 22216 | 71,17 | 21 |
| 2013 | 35732 | 16999 | 52,43 | 21 |
| 2014 | 80233 | 34765 | 56,67 | 16 |
| 2015 | 219929 | 57889 | 73,68 | 14 |
| Total | 1273971 | 433267 | 65,99 | 30 |

A Figura 4 mostra a variação anual das queimadas no período de interesse e a média anual de precipitação. Observam-se variações consideráveis de focos de calor ao longo dos anos que indicam o papel importante que as condições meteorológicas exercem no controle de incêndios na região da floresta amazônica (MORTON *et al.*, 2013). Os períodos de maiores taxas de precipitação média anual (2006-2010 e 2011-2013) coincidem com os períodos de menor ocorrência de focos de calor. Nesse sentido, os números de focos de calor, que representam as queimadas e incêndios florestais, mostram uma relação com o fator climático de precipitação média anual, em termos de densidade/intensidade.

Os anos de 2001, 2008 e 2009 apresentaram maiores quantidade de chuvas. Especialmente o ano de 2009, sendo a quantidade de focos bastante reduzida em relação aos anos anteriores, devido ao fato de este ano ter apresentado chuvas bastante acima da média dos anos precedentes.

Em relação ao volume de precipitação registrado e o quantitativo de focos de calor detectados, há indicação de um comportamento cíclico, sendo 2015 um ano atípico. A alta

variabilidade interanual do clima permite que anos muitos secos, naturalmente, sejam precedidos por anos chuvosos ou o inverso. Logo, se um evento já aconteceu alguma vez no passado, dos processos cíclicos da natureza pode-se entender que eventos semelhantes podem ocorrer novamente no presente (RAMOS, 2011)

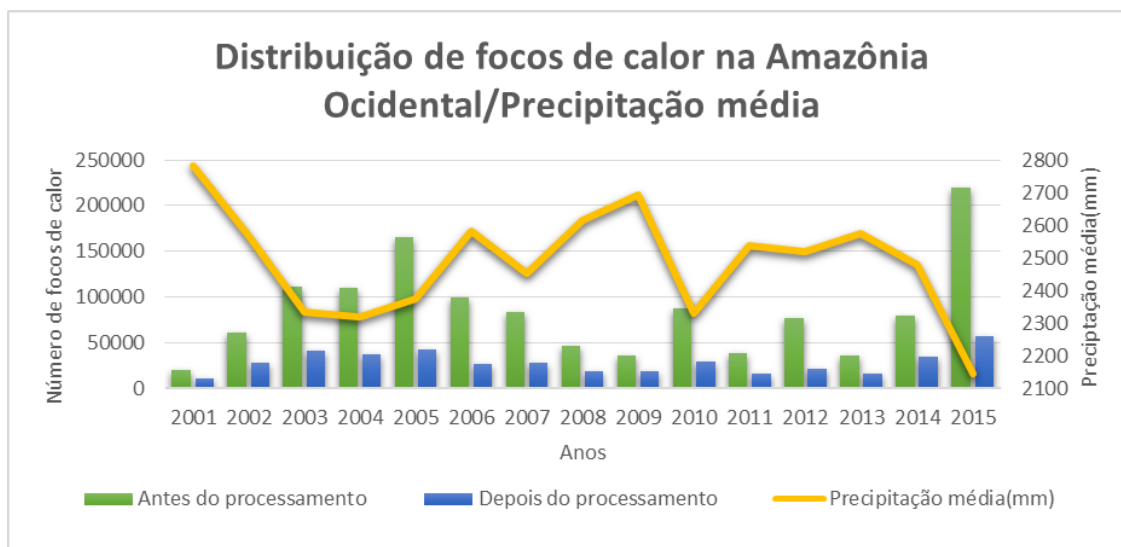


Figura 4: Distribuição de focos de calor e a precipitação média no período estudado

As duas variáveis, para a maioria dos casos, apresentaram uma correlação inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a quantidade de chuvas, menor foi a quantidade de focos de calor. A exceção foi o ano de 2005, que apresentou um pequeno incremento na média anual de chuva em relação a 2003 e 2004, ao mesmo tempo em que ocorreu o aumento na quantidade de focos de calor. O fato é que como mostra a Figura 5 e a Tabela 1, neste ano observou-se também o aumento considerável no número de satélites ambientais em relação aos anos anteriores, podendo ter resultado em uma maior e melhor detecção de focos, o que explicaria tal crescimento simultâneo.

Para o ano de 2015, apesar da diminuição no número de satélites em relação aos anos anteriores mostrada pela Figura 5, o aumento da redundância encontrada deve-se à inclusão de satélites de resolução mais detalhada, como no caso do NPP_375 com resolução espacial de 375 metros, podendo identificar mais de um foco de calor em um mesmo incêndio de grande proporção. Além disso, foi um ano antecedido por dois anos chuvosos, que não só evitaram e dificultaram a ocorrência de incêndios, como induziram o crescimento de mais biomassa vegetal e ainda, apresentou-se como um ano atipicamente seco, favorecendo a queima com maior facilidade da biomassa acumulada nos dois últimos anos.

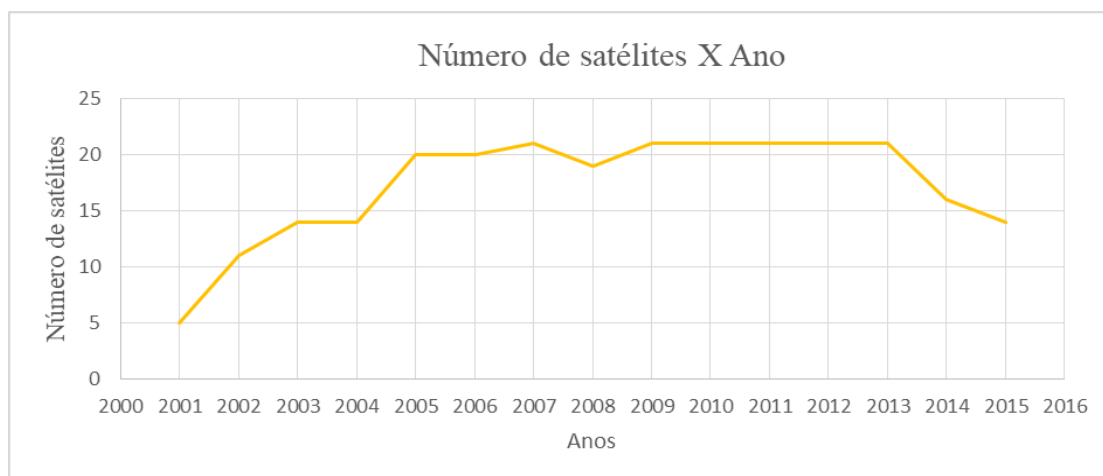


Figura 5: Número de satélites ambientais utilizados para a detecção de focos de calor ao longo dos anos.

É possível observar que os períodos com menos chuva coincidem com os períodos de ocorrência do fenômeno El Niño (Figura 6), indicando uma forte relação de causa e efeito entre a seca provocada por este fenômeno e a ocorrência de focos de calor. Para Marengo *et al.*, (2008) e Lewis *et al.*, (2011) assim como em 2005, a seca de 2010 foi relacionada com a ocorrência dos sistemas acoplados oceano-atmosfera de grande escala (El Niño e Dipolo do Atlântico), estes influenciaram os níveis pluviométricos da Amazônia em 2010, diminuindo as chuvas, especialmente na porção da Amazônia Ocidental.

De forma geral, as condições climáticas nas quais ocorreram maior incidência de focos de calor, no presente estudo, são semelhantes a encontradas em outros estudos (GATTI *et al.*, 2014; MENDOZA, 2003; RAY *et al.*, 2005).

| | |
|-------------|-------------|
| 1997 - 1998 | 2002 - 2003 |
| 2004 - 2005 | 2006 - 2007 |
| 2009 - 2010 | - |

Legenda: Forte Moderada Fraco

Figura 6: Anos de ocorrência de El Niño no período estudado (INPE, 2017).

O coeficiente de Pearson (r) indicou uma correlação negativa e forte entre os dados observados, o valor encontrado foi $r = -0,89$ (Figura 7). O valor do coeficiente de determinação indicou que 79,01% da variabilidade do número de focos de incêndio pode ser explicada pela variabilidade da precipitação média anual (Figura 7).

As estatísticas mostram que as condições meteorológicas desempenham importante papel na ocorrência de focos de calor. Torres (2010), em uma análise entre a relação de dados meteorológicos e incêndios em Juiz de Fora - MG, no período de 1995-2004, encontrou correlação negativa (-51%) da precipitação e o número de ocorrências evidenciando que a quantidade de chuva afeta diretamente o número de incêndios em vegetação. Níveis mais baixos de correlação (40-70%) foram encontrados para o estado do Amazonas (BARBOSA, 2017).

Essa correlação negativa, de aumento de chuvas e diminuição dos incêndios, revela um aumento considerável nos riscos de incêndios, pois a escassez de chuvas, além de

diminuir o teor de umidade do material combustível, aumenta a perda de folhas em consequência da adaptação ao estresse hídrico (NEPSTAD *et al.*, 1999; NEPSTAD *et al.*, 2004; ALENCAR *et al.*, 2011).

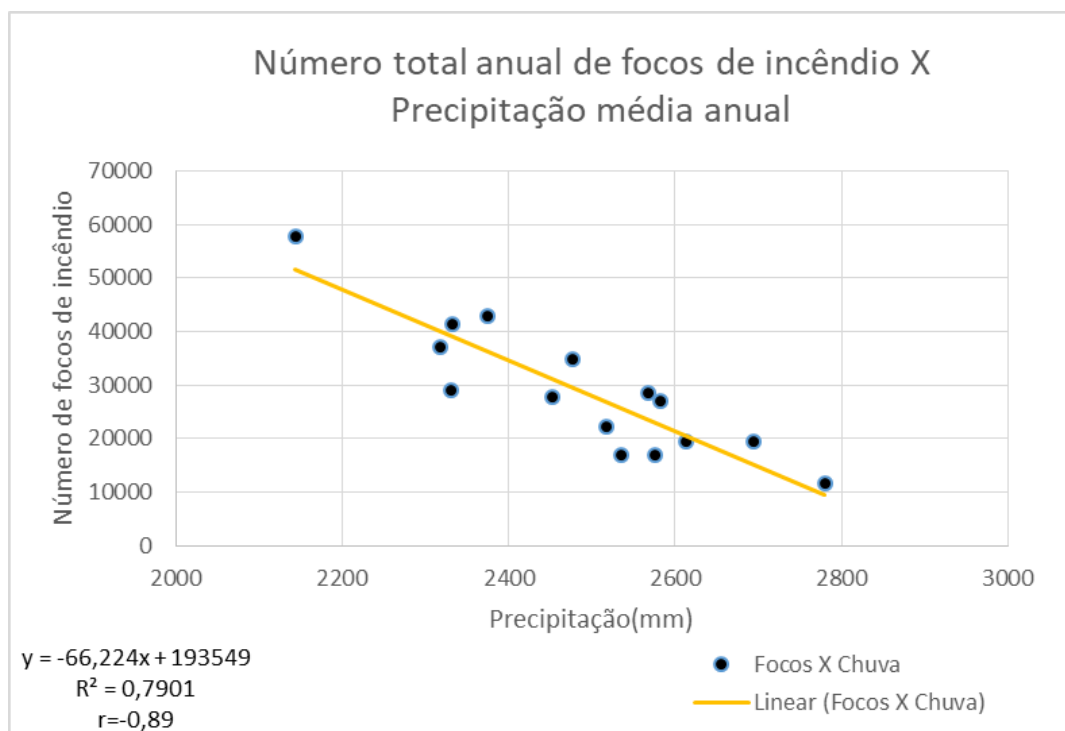


Figura 7: Gráfico de dispersão entre o número total de focos de calor e a precipitação anual média.

Os mapas de Kernel são muito úteis quando há uma concentração grande de pontos e uma análise visual fica prejudicada, pois tem-se apenas uma ideia da distribuição dos focos e não de suas diferentes magnitudes. De acordo com os mapas gerados após a aplicação da técnica de análise espacial Kernel para a área da Amazônia Ocidental, é possível inferir que as zonas onde houve uma maior densidade de focos de calor, são também as zonas onde ocorrem índices muito baixos de precipitação média anual (Figuras 8 e 9).

A partir dos mapas de precipitação anual média e de densidade de Kernel, foi possível observar também que os focos de calor mais intensos ocorrem nos Estados de Roraima e Rondônia, justamente as áreas onde ficaram evidenciadas as menores precipitações médias anuais (Figuras 8 e 9). A alta intensidade nessas áreas é relacionada ainda com a proximidade com o arco do desmatamento da Amazônia em relação ao Estado de Rondônia e pela ocorrência em ambos os Estados (RR e RO) do bioma cerrado. Em termos ecológicos o fogo é um elemento essencial do bioma Cerrado, e ainda quando as reincidências de queimadas em áreas florestais são muitas há uma tendência de savanização dos ecossistemas (LIESENFELD *et al.*, 2016; COCHRANE *et al.*, 1999)

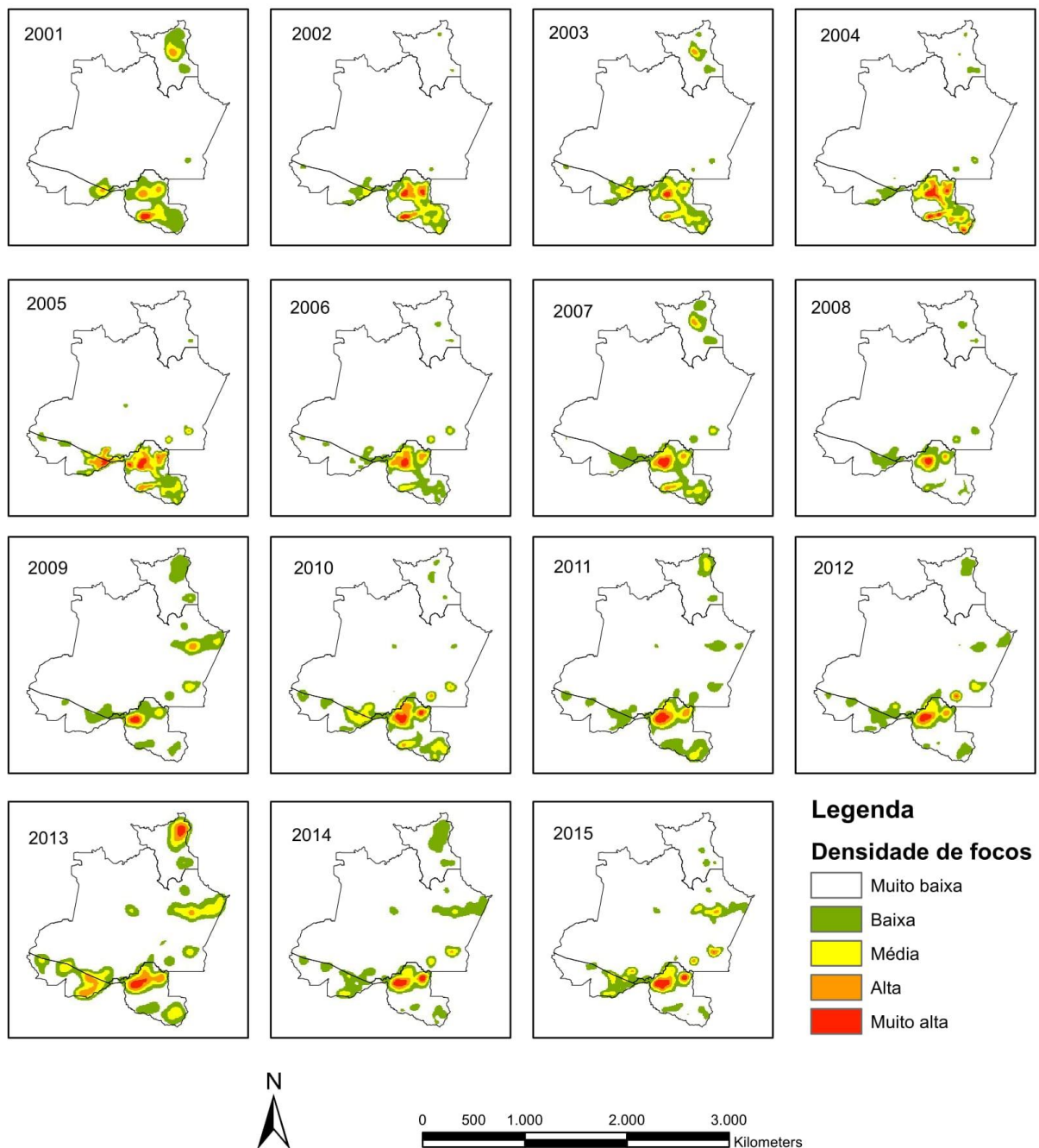


Figura 8: Mapa de Kernel dos focos de calor para a Amazônia Ocidental.

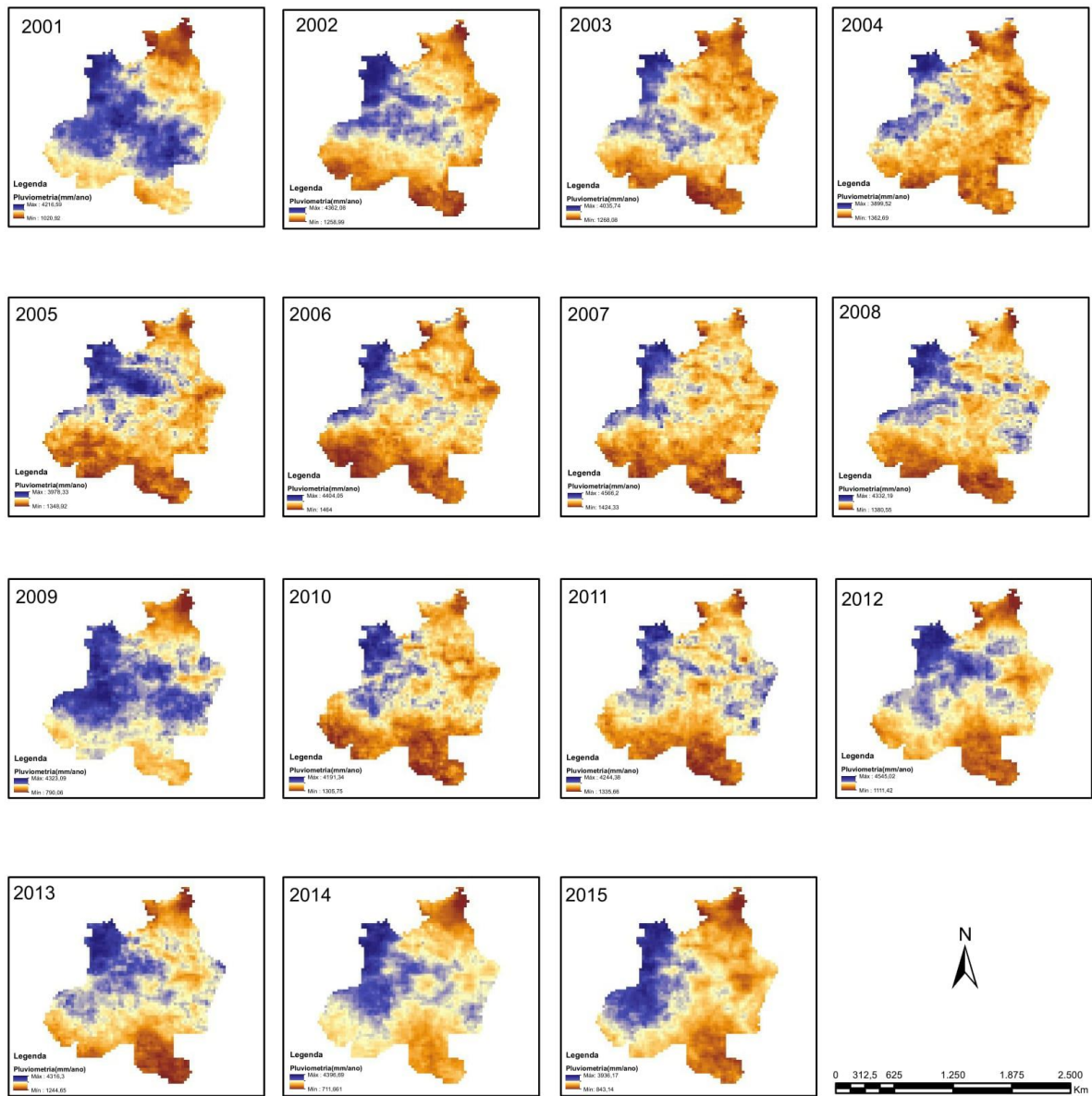


Figura 9: Mapas de pluviosidade média anual para a Amazônia Ocidental.

5. CONCLUSÕES

- O método de exclusão de pontos utilizados mostrou-se eficiente para os dados de focos de calor.
- Cerca de 66% dos focos disponibilizados pelo INPE com todos os satélites durante o período estudado são redundantes e revelam a importância e influência dos diferentes satélites utilizados neste tipo de análise.
- O satélite NPP-375 tem enorme potencial nesta análise, tendo em vista a melhor resolução, que implica em um maior número de redundâncias de modo geral.
- A quantidade de focos de calor apresentou uma correlação significativa com a variável chuva e indicou ainda relação com eventos El-Nino.
- O estudo é importante, pois coloca em evidência a vulnerabilidade do ecossistema amazônico diante da ocorrência dos incêndios e das mudanças climáticas.
- O trabalho ajuda a delinear as áreas da Amazônia Ocidental mais vulneráveis à seca e aos incêndios que dela resultam.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A.; ASNER, G.P.; KNAPP D.; ZARIN D.; Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. **Ecological Applications**, v. 21, n. 7, p. 2397-2412, 2011.

ALENCAR, A., NEPSTAD, D., SILVA, E., BROWN, F., LEFEBVRE, P., MENDOSA, E., ALMEIDA, D. & CARVALHO JR, O. Uso do Fogo na Amazônia: Estudos de Caso ao Longo do Arco de Desmatamento. **World Bank Report**. Brasília, March 1997.

BARBOSA, M. L. F. **Ocorrência de focos de calor sob diferentes classes de uso e ocupação do solo no estado do Amazonas durante a seca de 2005**. 2017. 35 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Superintendência da Zona Franca de Manaus. Disponível em <<http://www.suframa.gov.br/invest/zona-franca-de-manaus-amazonia-ocidental.cfm>> Acessado em 22/11/2017

CÂNDIDO, L.A.; MANZI, A.O.; TOTA, J.; DA SILVA, P.R.T.; DA SILVA, F.S.M.; dos SANTOS, R.N.N. & CORREIA, F.W.S. O Clima atual e futuro da Amazônia nos Cenários do IPCC: A questão da savanização. **Ciência e Cultura**, n. 59, p 44-47, 2007.

CAÚLA, R. H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; GOIS, G.; DELGADO, R. C.; PIMENTEL, L.C.G.; TEODORO, P. E. Nonparametric statistics applied to fire foci obtained by meteorological satellites and their relationship to the MCD12Q1 product in the state of Rio de Janeiro, Southeast - Brazil. **Land Degradation & Development**, n.25, p.225-236. 2016.

COCHRANE, M. A. & SCHULZE, M. D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. **Biotropica** n.31, p.2-16. 1999.

COCHRANE, M. Fire science for rainforests. **Nature**, n.421, p.913-919, 2003.

CORREIA, F. W.; CANDIDO, L. A.; MANZI, A. O. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura** (SBPC) jcr, v. 59, p. 39-43, 2007.

FILHO, E. B. S.; TELES, L. J. S.; SANTOS NETO, L. A.; Ocorrência dos focos de calor no estado de Rondônia em 2007. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.21, n.01. p, 123-140, 2009.

FRANÇA, H.; RAMOS, M. B. & SETZER, A. **O Fogo no Parque Nacional da Emas**. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Brasília, 140p. 2007.

GATTI L. V.; GLOOR M.; MILLER J. B.; DOUGHTY C. E.; MALHI Y.; DOMINGUES L. G.; BASSO L. S.; MARTINEWSKI A.; CORREIA C. S. C.; BORGES V. F.; FREITAS S.; BRAZ R.; ANDERSON L. O.; ROCHA H.; GRACE J.; PHILLIPS O. L.; LLOYD J. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements. **Nature**, v. 506, p. 76-80, doi:10.1038/nature12957, 2014.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 15. Set. 2017

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em < <http://www.inpe.br/>>. Acessado em 22/10/2017.

KIRCHHOFF, V. W. J. H., ESCADA, P. A. S. **O mega incêndio do século – 1998**. São José dos Campos, SP: Transtec, 1998.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, v. 331, n. 6017, p. 554, 2011.

LIESENFELD M. V. DE A.; VIEIRA G.; MIRANDA I. P. DE A. Ecologia do fogo e o impacto na vegetação da Amazônia. Pesquisa Florestal Brasileira, **Brazilian Journal of Forestry**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 505-517, 2016.

MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., TOMASELLA, J., OYAMA, M. D., SAMPAIO DE OLIVEIRA, G., DE OLIVEIRA, R., ... & BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v.21, n.3, p. 495-516, 2008.

MARENGO, J. A.; DIAS, P. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. (Ed.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências, p.63-109, 2006.

MARENGO, J.A.; **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA; 2007

MARTINEZ, L. L.; FIEDLER, N. C.; LUCATELLI, G. J. Análise das relações entre desflorestamentos e focos de calor. Estudo de caso nos municípios de Altamira e São Félix do Xingu, no estado do Pará. **Revista Árvore**, v.31, n.4, p.695-702, 2007.

MENDOZA, E. R. H. **Susceptibilidade da floresta primária ao fogo em 1998 e 1999: estudo de caso no Acre, Amazônia sul-ocidental, Brasil**. 40 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais). Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2003.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Amazônia Sustentável – PAS, diagnóstico e estratégia**. vol. 1, 75 p. Brasília. 2003.

MIRANDA, H. S.; SAITO, C. H. & DIAS, B. F. S. **Impactos de Queimadas em Áreas de Cerrado e Restinga**. Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, 187p. 1996.

MORTON, D. C., LE PAGE, Y., DEFRIES, R., COLLATZ, G. J., & HURTT, G. C. **Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia**. Philosophical Transactions of the Royal Society B, v. 368, n. 1619, p. 20120163, 2013.

NASCIMENTO, H.E.M.; LAURANCE, W.F. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazônica**, Cidade, v.36, n.2, p.183-192, 2006.

NEPSTAD, D. C., LEFEBVRE, P. A., SILVA JR, U. L., TOMASELLA, J., SCHLESINGER, P., SOLORZANO, L., MOUTINHO, P. R. DE S. & RAY, D. G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biol.** n.10, p.704–717. 2004.

NEPSTAD, D. C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C. A.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P. A.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P. R. S.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M. A.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, n. 398, p. 505–508, 1999.

PEREIRA, J.M.C.; CHUVIECO, E.; BEAUDOIN, A.; DESBOIS N. **Remote sensing of burned areas: a review**. In: Chuvieco, E.; Ed. A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Alcalá de Henares. p. 127-183. 1997.

RAMOS A. B. R.; NASCIMENTO E. R. P. do; OLIVEIRA M. J. de Temporada de incêndios florestais no Brasil em 2010: análise de série histórica de 2005 a 2010 e as influências das chuvas e do desmatamento na quantidade dos focos de calor In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil. **Anais...** Curitiba, PR, Brasil, INPE, 2011, p.7902-7909.

RAY, D.; NEPSTAD, D.; MOUTINHO, P. Micrometeorological and canopy controls of fire susceptibility in a forested Amazon landscape. **Ecological Applications**, v. 15, n. 5, p. 1664-1678, 2005.

SANTOS E. S. C. M.; FREITAS, S. R.; GIELOW, R.; BARROS, S. S. Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 337-346, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v27n3/a08v27n3.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2017.

SANTOS, E. E. dos **Uso da geotecnologia na detecção e espacialização de queimadas no estado de minas gerais**. 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

SANTOS, S. C. dos **Distribuição e validação de focos de calor no estado do rio de janeiro no período de 2009-2014**. 2015. 32 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SCHROEDER, W.; MORISETTE, J.T.; CSISZAR, I.; GIGLIO, L.; MORTON, D.; JUSTICE, C.O. Characterizing vegetation fire dynamics in Brazil through multisatellite data: Common trends and practical issues. **Earth Interactions**, v. 9, p.1-26, 2005.

SOUZA, N., SILVA, E., TEIXEIRA, M. D., Leite, L. R., REIS, A., SOUZA, L., ... & REZENDE, T. 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, Foz do Iguaçu, PR, 2013.

TIAN, H.; MELLILO, J.M.; KICKLIGHTER, D.W.; MCGUIRE, A.D.; HELFRICH III, J.V.K.; MOORE III, B.; VÖRÖSMARTY, C. Effect of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems. **Nature** n.396, p.664-667. 1998.

TORRES F.T.P.; RIBEIRO G.A.; MARTINS S.V.; LIMA G. S.; Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.2, p.297-303, 2010.

TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION - TRMM. Mission overview. Disponível em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov>> Acesso em: 15. Set. 2017

VASCONCELOS, S. S. **Incêndios florestais e queimadas no Amazonas: distribuição, suscetibilidade e emissões de carbono**. 2012. 91 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

VASCONCELOS, S. S; ROCHA, K. S; SELHORST, D; PANTOJA, N. V; BROWN, I. F. 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 INPE/IBAMA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p.3411-3417. Internet. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2005/02.12.16.31/doc/@sumario.htm>>. Acesso em: 25 out. 2017.

VILANOVA, M. R. N. TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS NA REGIÃO DO ALTO RIO MOGI-GUAÇU, SUL DE MINAS GERAIS. **Revista Agrogeoambiental**, v.6, n.3. p.63-70. 2014.