



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

MARIA LUCIA FERREIRA BARBOSA

**OCORRÊNCIA DE FOCOS DE CALOR SOB DIFERENTES CLASSES DE USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO NO ESTADO DO AMAPÁ DURANTE A SECA DE 2005**

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2017



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

MARIA LUCIA FERREIRA BARBOSA

OCORRÊNCIA DE FOCOS DE CALOR SOB DIFERENTES CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ESTADO DO AMAZONAS DURANTE A SECA DE 2005

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 – 2017

OCORRÊNCIA DE FOCOS DE CALOR SOB DIFERENTES CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ESTADO DO AMAZONAS DURANTE A SECA DE 2005

MARIA LUCIA FERREIRA BARBOSA

Monografia aprovada em 30 de junho de 2017

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Bruno Araujo Furtado de Mendonça – UFRRJ
Membro

Msc Tamíres Partélli Correia – UFRRJ
Membro

AGRADECIMENTOS

A meus pais, em especial minha mãe, pela confiança e ajuda nesses anos.

A UFRURALRJ por todo aprendizado acadêmico e pessoal adquirido nesses anos de graduação.

Ao Valério de Holanda, por todo amor, inspiração, apoio e paciência cruciais nessa reta final. E pelo seu jeito especial de me perturbar, que me ajuda a ser mais compreensiva e levar as coisas menos a sério.

Ao professor Dr. Rafael Coll Delgado, pela orientação, apoio e compreensão nessa reta final da minha graduação.

Ao professor Hugo Barbosa Amorin, pela amizade, conselhos e por estar sempre disposto a me ajudar.

À turma 2010-I do Curso de Engenharia Florestal, em especial a Desireé e Gabriela pela amizade, pelas noites de estudo e por toda ajuda que me deram.

Ao Gabriel Guerreiro por ter me convencido a fazer minha matrícula na UFRRJ e por todos esses anos de amizade.

Ao Jaime Cardoso, por me convencer a tentar o intercâmbio na Hungria, pelo companheirismo e amizade em todo o tempo em que vivemos juntos.

Obrigada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo16

Figura 2. Mapa da densidade kernel para a estação chuvosa (A) e para a estação seca (B) ..20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Número de focos de incêndio mensal, do ano de 2005, para as estações seca e chuvosa e a frequência (freq.), em porcentagem (%)	20
Tabela 2. Variáveis ambientais para a estação chuvosa: Evapotranspiração (mm), Temperatura média (°C), chuva (mm) e umidade relativa do ar (%)	21
Tabela 3. Variáveis ambientais para a estação seca: Evapotranspiração (mm), Temperatura média (°C), chuva (mm) e umidade relativa do ar (%)	22
Tabela 4. Coeficientes de determinação (R^2), em porcentagem, para as estações seca e Chuvosa	22
Tabela 5. Número de focos de incêndio e frequência, em porcentagem, para cada classe de uso do solo	25

Sumário

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVO GERAL.....	11
2.1 Objetivos específicos.....	11
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
3.1 Cobertura e uso do solo na Amazônia.....	11
3.2 Densidade kernel.....	12
3.3 Clima na Amazônia em 2005.....	13
3.4 Focos de incêndio na Amazônia.....	14
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.1 Área de estudo.....	15
4.2 Base de dados.....	16
4.2.1 Focos de calor.....	16
4.2.2 Dados meteorológicos.....	17
4.2.3 Uso e cobertura do solo.....	17
4.3 Análise dos dados.....	17
4.3.1 Densidade kernel.....	17
4.3.2 Análise estatística.....	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5.1 Densidade Kernel.....	19
5.2 Focos de calor e variáveis meteorológicas.....	20
5.3 Focos de calor e uso do solo.....	23
6 CONCLUSÃO.....	25
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
ANEXOS.....	33

RESUMO

As variações climáticas constituem um dos principais agentes de alterações da paisagem e do ecossistema. Os fenômenos El Niño e La Niña, por exemplo, podem provocar intensas alterações ambientais, tal como o aumento da severidade da estação seca, a qual favorece a ocorrência de incêndios em grande escala. Pesquisas do Instituto Nacional de Meteorologia registraram em 2005 um dos menores índices de chuva das últimas décadas na região amazônica, devido ao aquecimento anormal da superfície do oceano atlântico tropical do norte. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é avaliar a ocorrência de focos de calor durante a seca severa ocorrida em 2005 no estado do Amazonas. O método de densidade de Kernel foi utilizado para espacializar os focos de calor, a fim de quantificá-los em 7 classes de uso e cobertura da terra, gerados a partir da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Calculou-se também o percentual de frequência dos focos de calor nas diferentes classes (Floresta, Pastagem, Solo exposto, Área urbana, Atividade Agrossilvipastoril, Atividade Agroflorestal e Agropecuária). Foram analisadas ainda, através da análise de regressão, a relação entre o número de focos e quatro variáveis meteorológicas: chuva, evapotranspiração, umidade relativa e temperatura média do ar, as quais foram obtidas no formato netCDF, validados por Xavier et al. (2015). Tal série de dados foi dividida em estação seca (abril a setembro) e estação chuvosa (outubro a março). Os dados de focos de incêndio foram baseados em detecções feitas por vários sensores meteorológicos disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Banco de dados de Queimadas. Os resultados indicam que as classes de floresta e pastagem foram as que tiveram o maior número de focos de calor correspondendo, respectivamente, a 58% e 37% do número total de focos. Isso pode ser explicado pela maior representatividade dessas classes no estado e no caso da pastagem pelo alto grau de exposição do solo. As classes de solo exposto e área urbana apresentaram o menor número de focos de incêndio. Para todas as classes, o número de focos foi maior na estação seca, abrangendo aproximadamente 85% do total de focos. Além disso, a variável que apresentou maior influência na ocorrência dos focos na estação seca foi a evapotranspiração, que é diretamente influenciada pela radiação solar, vento, temperatura e umidade relativa do ar. Já na estação úmida, a umidade relativa do ar apresentou maior relação com o número de focos de calor. O estudo é importante, pois coloca em alerta a vulnerabilidade do ecossistema amazônico diante da ocorrência dos incêndios, e ainda pode subsidiar ações de mitigação da emissão de carbono e estoque da biomassa, colaborando assim para práticas mais sustentáveis em um dos biomas de maior biodiversidade do planeta.

Palavras-chave: Floresta amazônica; incêndios florestais; fenômenos climáticos.

ABSTRACT

Climate variation is one of the main agents of landscape and ecosystem change. The El Niño and La Niña phenomenon, for example, can cause intense environmental changes, such as increasing of the dry season severity, which favors the occurrence of large-scale fires. Researches by the National Institute of Meteorology recorded, in 2005, one of the lowest rainfall rates of the last decades in the Amazon region due to the abnormal warming of the surface of the tropical Atlantic Ocean in the north. In this context, the main goal of this study is to evaluate the occurrence of hotspots during the severe drought that occurred in 2005 in the state of Amazonas. The Kernel density method was used to spatialize the hotspots, in order to quantify them in 7 classes of land use and coverage, generated from the database of the Brazilian Institute of Geography and Statistics. It was also calculated the frequency in percentage of the hotspots in the different classes (Forest, Pasture, Exposed Soil, Urban Area, Agrosilvipastoral Activity, Agroforestry and Agricultural Activity). The relation between the number of hotspots and four meteorological variables were analyzed through regression analysis: rainfall, evapotranspiration, air relative humidity and average air temperature, which were obtained in the netCDF format, validated by Xavier et al. (2015). The data series was divided in dry season (April to September) and rainy season (October to March). Data from the fire were based on detections made by weather sensors available on the site of the National Institute for Space Research/Burns Database. The results indicate that the forest and pasture classes were the ones that had the highest number of hotspots corresponding, respectively, to 58% and 37% of the total number. This can be explained by the high representativeness of these classes in the state and regarding pasture is also because of the high level of soil exposure. The classes of exposed soil and urban area had the lowest number of hotspots detected. For all classes, the number of hotspots was higher during the dry season, corresponding approximately 85% of the total. In addition, the variable that had the greatest influence on the occurrence of hotspots in the dry season was evapotranspiration, which is directly influenced by solar radiation, wind, temperature and relative humidity. During the wet season, the air relative humidity had the highest relation with the number of hotspots. The study is important, since it puts in alert the vulnerability of the Amazon ecosystem with the occurrence of fires, and can also subsidize actions to decrease carbon emission and biomass stocking, collaborating for more sustainable practices in one of the highest biodiversity biomes of the planet.

Key-words: Amazon forest; forest fires; climatic phenomenon.

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios acontecem comumente em diversos ecossistemas, e na Amazônia corresponde a uma importante fonte de distúrbios devido as inter-relações entre as condições climáticas, o ciclo global do carbono e as diferentes atividades de uso do solo (MORISSETTE et al., 2005). A dinâmica de desenvolvimento da Amazônia compreende a prática do uso do fogo em diversas atividades, como o manejo de pastagens, atividades agrícolas, queima de derrubada, entre outros (VAN DER WERF et al., 2010).

Segundo Schroeder et al. (2009), o fogo na Amazônia pode ser dividido em quatro grupos principais, são eles: fogo de desmatamento, fogo de manutenção, fogo acidental e o fogo natural, em que apenas o fogo natural não está em função da ação direta do homem. 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., 2015).

Eventos de seca na Amazônia ocorrem com uma certa frequência podendo-se citar os anos de 1983, 1998, 2005 e 2010 (SERRÃO et al., 2015b e SOUZA et al., 2015). Em que, a seca dos anos de 1983 e 1998 foram associadas ao fenômeno do El Niño (SOUZA et al., 2015), enquanto que, segundo Marengo et al. (2008 e 2011), a seca dos anos de 2005 e 2010 tiveram como causa principal o aquecimento anormal da superfície do oceano atlântico tropical do Norte.

Em um ano normal, a região Amazônica é caracterizada por receber altas taxas de chuvas anualmente, no entanto, em 2005, a região foi afetada por uma seca severa considerada a pior em 40 anos (MARENGO et al. 2008) que causou uma redução na quantidade de chuvas na região. Brown et al. (2006), em um estudo sobre monitoramento de incêndios no sudoeste da Amazônia em 2005, encontraram que mais de 200×10^3 ha de áreas com pastagens e atividades agrícolas foram queimados acidentalmente e mais de 360×10^3 ha de floresta em pé foram afetadas pelo fogo na fronteira tri-nacional dos estados de Madre de Dios/Peru – Acre/Brasil – Pando/Bolívia.

Além disso, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em seu banco de dados de queimadas (<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas>) relatou que no estado do Amazonas, o número de pixels

de fogo detectados pelo satélite NOAA12 quase triplicou no ano de 2005 quando comparado ao ano anterior onde foram detectados 760 pixels em setembro de 2004 e 2166 em setembro de 2005. Dentre as consequências da seca de 2005 pode-se destacar a drástica redução da vazão do rio Solimões relatada por Serrão et al. (2015a). Além disso, os impactos socioeconômicos são evidentes visto que para as populações ribeirinhas, os rios são as principais vias de transporte, bem como fontes de trabalho, alimento e saúde.

Diante deste cenário, os eventos climáticos extremos e os dados climáticos, assumem grande importância no contexto social, econômico e ambiental. Sendo assim, informações temporais e espaciais sobre focos de incêndio são prioritárias para o melhor entendimento de suas causas e também para garantir a melhoria no monitoramento, fiscalização, combate e controle do fogo.

2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a ocorrência de focos de calor durante a seca severa ocorrida em 2005 no estado do Amazonas

2.1 Objetivos específicos

- Identificar se há relação entre variáveis climáticas e focos de calor;
- Entender a relação entre uso e cobertura do solo e o número de focos de calor;
- Gerar informações que subsidiem o monitoramento e controle do fogo na Amazônia.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cobertura e uso do solo na Amazônia

A região Amazônica compreende um enorme mosaico de paisagens que é explicado pela biodiversidade característica desse bioma e também pelo processo de ocupação e mudança no uso do solo. Segundo o Censo agropecuário realizado pelo IBGE em 2012a, são diversas atividades de uso do solo identificadas na região, entre eles:

- a) Lavouras Permanentes: são as áreas com culturas que irão produzir por vários anos consecutivos.
- b) Lavouras Temporárias: são as áreas com culturas anuais, de curta duração e áreas com plantas forrageiras destinadas ao corte.
- c) Pastagens Naturais: áreas destinadas a pecuária que tenham sido formadas naturalmente.
- d) Pastagens Plantadas: áreas destinadas a pecuária, mas que se formaram mediante plantio.

e) Matas naturais: áreas de floresta natural que compreendem as unidades de conservação e as áreas onde ocorrem extração de produtos madeireiros e não-madeireiros.

f) Matas Plantadas: são áreas que contém plantios de árvores com o objetivo de extrair seus produtos, incluindo áreas com viveiros de mudas dessas árvores.

A dinâmica do uso do solo na Amazônia compreende dois momentos em que até a década de 60 pode-se dizer que era um ambiente pouco explorado e após isso houve um aumento no interesse por essas áreas, estimulados pelo Governo Federal através de políticas de ocupação e construção de estradas na área. Devido a esses programas de incentivo a ocupação, o desmatamento na Amazônia legal aumentou consideravelmente pois foi cada vez maior a conversão das florestas nativas em cultivos agrícolas e/ou pastagens (FERREIRA et al., 2005). Hoje, apesar do aumento da pressão pela preservação ambiental e o aumento de medidas que contenham a exploração ilegal e desenfreada, ainda não é menor a expansão agrícola e pecuária, principalmente nas bordas sul e leste da Amazônia brasileira.

A conversão de terras na Amazônia, normalmente, é realizada com o corte de árvores para fins comerciais e posterior queima do que restar na área (MARTINS et al., 2012). Após a queima, são estabelecidas culturas como arroz, milho, feijão e mandioca que, devido a lixiviação, acabam por esgotar o solo, acarretando no abandono da área devido a quedas na produtividade. A criação de gado e estabelecimento de pastagens é outro fator que promove a degradação de áreas na Amazônia. Segundo Araújo et al. (2010), 80% das áreas desmatadas na Amazônia é devido a pecuária e metade dessa área se encontra em grave estágio de degradação.

Segundo dados do INPE (2014), até o ano de 2014 foram desmatados aproximadamente 15% (407.675 km²) das áreas de floresta onde as maiores taxas de desmatamento ocorreram nos estados do Pará, Rondônia e Mato Grosso.

3.2 Densidade kernel

Estudos com focos de incêndio, normalmente, tem seus dados disponibilizados no formato discreto (KUTER et al., 2011). Esse tipo de dados (em pontos) dificultam análises espaciais e mapeamento de áreas críticas e prejudicam sua correlação com outras variáveis que normalmente são expressas em unidades de área, e de forma contínua (raster) (LAZZARINI et al., 2012.). Por essa razão, um método bastante utilizado para transformar os focos de incêndios em dados de superfície, é a densidade de Kernel.

A densidade kernel é um interpolador, que possibilita a estimação da intensidade de um evento em uma área, mesmo nos locais em que o evento não tenha gerado nenhuma ocorrência

real. O estimador de Kernel é um método probabilístico não paramétrico, ou seja, não segue uma distribuição normal. Esse método se baseia na ordem dos dados (postos ou ranks) e tem como premissa básica que ao se avaliar a ocorrência de eventos no espaço, tem que se considerar a localização dos eventos como aleatória. A superfície é estimada de acordo com um histograma de frequências dos dados pontuais e o número de eventos é estimado por unidade de área (SILVA et al., 2015). De forma geral, pode-se dizer que o estimador kernel consiste em estimar o número esperado de eventos por unidade de área

Morais et al. (2014) apresentaram a espacialização das ocorrências de focos de calor no cerrado brasileiro no período de 2010 a 2013 a partir da aplicação da densidade kernel sob dados pontuais disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os resultados foram disponibilizados através de mapas em gradiente de cores que representam a concentração ou dispersão destes pontos possibilitando identificar áreas de baixa, média e alta intensidade de ocorrências de queimadas.

Rodrigues et al. (2013) descreveram e analisaram a distribuição espaço-temporal de focos de calor e das internações por doenças respiratórias em crianças menores de cinco anos de idade no Estado de Rondônia, no período de 2001 a 2010. A distribuição espaço-temporal foi analisada a partir de mapas resultantes da estimativa de densidade de Kernel a fim de identificar as áreas geográficas de risco.

A densidade kernel vem sendo amplamente utilizada como ferramenta de análise espacial para diversas finalidades, como Kuter et al. (2011) que usaram o método para determinação da largura de banda para análise da densidade de kernel de incêndios florestais ocorridos em uma floresta na Turquia e Vilanova (2014) que utilizou o método para identificar tendências hidrológicas anuais e sazonais em Bacias Hidrográficas.

3.3 Clima na Amazônia em 2005

A região amazônica é caracterizada por haver certa variabilidade espaço-temporal em relação ao clima ao longo do ano e por possuir altas taxas de evapotranspiração. É possível identificar dois regimes pluviométricos diferentes, um chuvoso, com altas quantidades de chuvas e outro menos chuvoso (SOUZA e AMBRIZZI, 2003).

Segundo dados do INPE, durante a estação chuvosa de 2005, as chuvas no sul da Amazônia, apresentaram valores de até 350mm menores que a média histórica. Ainda de acordo com o INPE, durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, a distribuição das chuvas apresentou uma área de alta precipitação (acima de 900 mm) localizada nas regiões

oeste e sul da Amazônia. A escassez de chuvas causou alteração nos níveis médios do Rio Negro em Manaus onde nos meses de verão, os níveis do Rio Negro foram em média 1,5 a 2 metros acima do normal, e a partir de agosto os valores chegaram até 4 metros abaixo do normal.

Zeng et al. (2008) analisaram 10 conjuntos de dados de precipitação e encontraram uma redução na precipitação na maior parte da bacia amazônica no ano de 2005. Foi observado um decréscimo gradual anormal no nível de chuvas desde o ano 2000 com ápice no fim de 2005. Segundo esse estudo, o déficit de chuvas nesse ano atingiu principalmente o sudoeste amazônico.

Liberato & de Brito (2011) estudaram a influência do oceano atlântico nas chuvas da Amazônia ocidental, motivados pela seca anormal de 2005 e encontraram que a maior influência do aquecimento da superfície do oceano atlântico norte foi na região sul da Amazônia com registro do menor índice de precipitação no mês de agosto.

3.4 Focos de incêndio na Amazônia

A ocorrência de focos de calor pode ser associada, principalmente, a dois fatores, o uso e cobertura do solo e as condições climáticas. Mudanças no regime de chuvas são primordiais ao aparecimento de focos de calor na Amazônia e alguns modelos climáticos globais estimam uma ocorrência significativa de eventos de seca durante esse século (MALHI et al., 2009). A região da Amazônia denominada de arco do desmatamento compreende as porções leste e sul da Amazônia. Essa região concentra um maior número de focos de incêndio, devido à grande quantidade de atividades realizadas que aumentam o risco de fogo e por ser uma área onde ocorrem grandes secas (RAY et al., 2005).

Junior et al. (2017), estudaram as tendências temporais no número de queimadas na Amazônia no período de 2002 a 2014 e encontraram picos no número de queimadas nos anos de ocorrência de secas severas, ou seja, 2005, 2007 e 2010. Aragão et al. (2007) observaram que no ano de 2005 o número de focos de calor foi 33% maior em relação ao período de 1999 a 2005 ainda que a taxa de desmatamento tenha sofrido uma queda de 13% em relação ao mesmo período de tempo.

De acordo com Miranda et al. (2006), em 2005, o estado do Amazonas apresentou um número de queimadas 168,13% maior do que o ano anterior onde em 2004 foram detectados 1824 pontos e em 2005 foram detectados 4939.

O monitoramento de focos de incêndio na Amazônia é feito através de um sistema no qual vários satélites captam a ocorrência de fogo por meio da seleção de pixels de temperatura elevada. A partir de dados desse sistema foram criados alguns modelos de risco de fogo na região Amazônica. Por exemplo, Cardoso et al. (2003) estimaram o número de focos de calor para os meses de junho a outubro da Amazônia, utilizando dados meteorológicos, cobertura florestal e estradas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estado do Amazonas (Figura 1) está inserido na região Norte do Brasil, possui 62 municípios, em uma área de 1.559.148,890 km² e população de 3.938.336 habitantes (IBGE, 2012b). É o maior estado brasileiro e sua capital Manaus é a cidade mais populosa da região Norte e o sétimo município mais populoso do Brasil (IBGE, 2011). O estado está inserido no bioma Amazônia e os principais tipos de vegetação são Mata de Igapó, Mata de Várzea e Mata de Terra Firme. Além disso, 98% de sua área ainda mantém sua cobertura florestal original (FAS, 2011) e aproximadamente 50% de sua área é composta por unidades de conservação, como reservas de desenvolvimento sustentável, florestas nacionais, e também terras indígenas (AMAZONAS, 2009).

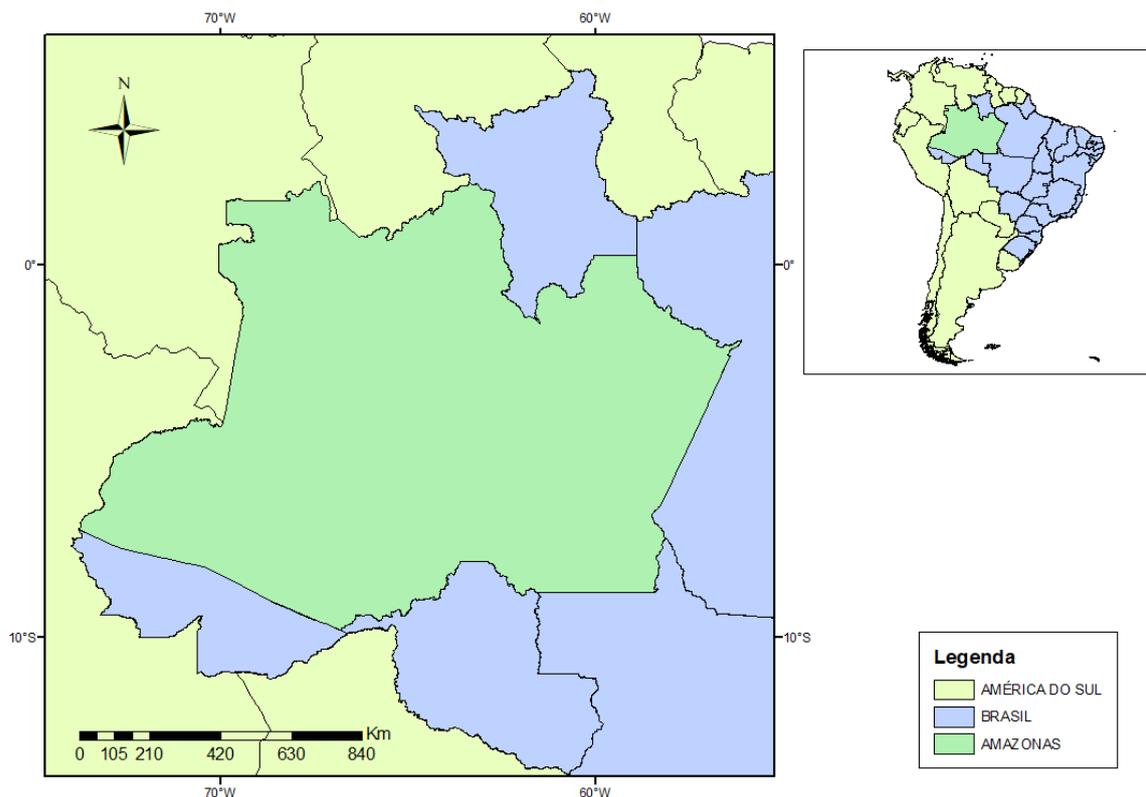


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima amazonense é do tipo "A" e se divide em três subclimas: tropical de monção ("Am"), tropical seco e úmido ("Aw"), e equatorial chuvoso ("Af"), sendo que o tropical de monção abrange a maior parte da região. Os valores de temperatura média do ar variam entre 24°C e 26°C com amplitude anual de 1°C a 2°C e a precipitação média da região Amazônica é de aproximadamente 2.300 mm.ano⁻¹ (FISCH et al. 1998). A estação chuvosa compreende os meses de outubro a março, e a estação seca, os meses de abril a setembro.

4.2 Base de dados

4.2.1 Focos de calor

Os dados dos focos de calor para o ano de 2005 foram obtidos, em arquivo shapefile, no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BDQUEIMADAS – Banco de dados de Queimadas). 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, GOES E METEOSAT02. O software ArcGIS 10.2 foi utilizado para acessar o banco de dados e assim realizar a contagem do número mensal de focos de calor. Esses dados foram transferidos para

o Excel e transformados em dois gráficos: um para a estação seca (abril a setembro) e outro para a estação chuvosa (outubro a março).

4.2.2 Dados meteorológicos

Em estudos de suscetibilidade da vegetação ao fogo são comumente utilizadas variáveis meteorológicas em escala temporal mensal. Além dessas variáveis, outros componentes ambientais, econômicos e de infraestrutura também podem ser relevantes. Neste trabalho, foram utilizados dados de 4 variáveis meteorológicas, em formato NetCDF, produzidos e validados por Xavier et al. (2015), são elas: temperatura média do ar (°C), chuva (mm), umidade relativa do ar (%) e evapotranspiração (mm). Esses dados abrangem todos os estados brasileiros no período de 1983-2013 e por isso houve a necessidade de extrair apenas os dados para o ano de 2005 do estado do Amazonas. A extração dos dados de 2005 foi feita no software ArcGIS 10.2, 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 Amazonas foi usada a ferramenta *extract by mask* do ArcGIS 10.2. Por fim, o valor médio mensal de cada variável foi transferido para uma planilha eletrônica (Excel) em forma de tabela.

4.2.3 Uso e cobertura do solo

O estado do Amazonas possui uma ampla diversidade de utilização da terra. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2015) existem 55 diferentes formas de utilização ou cobertura do solo no estado. No presente estudo, esses dados foram agrupados, de acordo com a sua similaridade, em 7 classes: Floresta, Pastagem, Solo exposto, Área urbana, Atividade Agrossilvipastoril, Atividade Agroflorestal e Agropecuária. Nesse caso, também foi utilizado o software ArcGIS 10.2 para leitura dos dados e através da ferramenta *select by attributes* foram quantificadas as áreas existentes em cada classe.

4.3 Análise dos dados

4.3.1 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*, presente na extensão *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. 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 mês do ano de 2005 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. Além dos mapas mensais, foram gerados um mapa médio para a estação seca e um para a estação chuvosa. Essa classificação por cores é comumente usada e pode ser vista, por exemplo, em Souza et al. (2013) e Caldas et al. (2014). Os mapas interpolados através da densidade de kernel possuem resolução de 1km.

A fórmula matemática do método da densidade de Kernel é expressa por (SMITH et al., 2006):

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

Em que,

n 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 são vetor de coordenadas representando cada observação e;

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

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

4.3.2 Análise estatística

Foi aplicada no Excel uma regressão linear simples para cada variável, onde o número de focos foi a variável dependente e a chuva, a temperatura média do ar, a umidade relativa do ar e a evapotranspiração foram as variáveis independentes. A regressão foi aplicada separadamente para as estações seca e chuvosa e além disso, foi calculado o coeficiente de determinação (R²) a fim de determinar o grau de correlação entre as variáveis e o número de focos. Calculou-se também o percentual de frequência dos focos de calor nas diferentes classes (Floresta, Pastagem, Solo exposto, Área urbana, Atividade Agrossilvipastoril, Atividade

Agroflorestal e Agropecuária) a fim de determinar quais classes apresentaram a maior quantidade de focos de calor.

O modelo geral de regressão é dado por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (3)$$

Em que Y indica a variável dependente, nesse caso o número total de focos de incêndio;

β_0 é o coeficiente angular;

β_1 é o coeficiente linear ;

x representa as variáveis independentes (evapotranspiração, umidade relativa do ar, temperatura média do ar e chuva) e

ε representa o erro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Densidade Kernel

De acordo com os mapas gerados após a aplicação da análise espacial Kernel, a maior ocorrência de focos de incêndios no estado do Amazonas foi durante os meses de julho a novembro que correspondem a segunda metade da estação seca e o início da estação chuvosa. Em todo o ano de 2005 foram registrados 30065 focos de incêndio (Tabela 1) dos quais 97% ocorreram nesse período. Ainda de acordo com os mapas, os focos foram mais intensos nas regiões sul e central do Estado, porém no mês de novembro os focos também se concentraram na região norte e em setembro houve registro intenso em todo o estado. De acordo com os mapas médios da densidade kernel (Figura 2), durante a estação chuvosa, os focos de calor se espalharam por todo o estado com destaque para as regiões norte e nordeste que apresentaram mais áreas com alta (cor laranja) concentração de focos. Já durante a estação seca, é possível observar uma concentração de focos na região sul e central do estado, ressaltando-se a presença de áreas na cor vermelha que indicam intensidade muito alta de focos de calor. A alta intensidade nessas áreas, pode ser explicada pela alta presença de estradas e pela proximidade com o arco de desmatamento da Amazônia. Aragão et al. (2007), encontraram resultados similares e demonstraram que apesar do ano apresentar queda nas taxas de desmatamento, o número de focos foi maior, indicando como causa principal a seca intensa ocorrida nesse ano.

Tabela 1: Número de focos de incêndio mensal, do ano de 2005, para as estações seca e chuvosa e a frequência (freq.), em porcentagem (%).

*Total de focos em todo o ano.

Estação seca		Freq. (%)	Estação chuvosa		Freq. (%)
Abril	34	0,14	Outubro	3391	69,26
Mai	94	0,37	Novembro	1075	21,96
Junho	239	0,95	Dezembro	67	1,37
Julho	2.956	12	Janeiro	172	3,51
Agosto	11049	43,9	Fevereiro	90	1,84
Setembro	10797	42,9	Março	101	2,06
Total	25169		Total	4896	
Total*			30065		

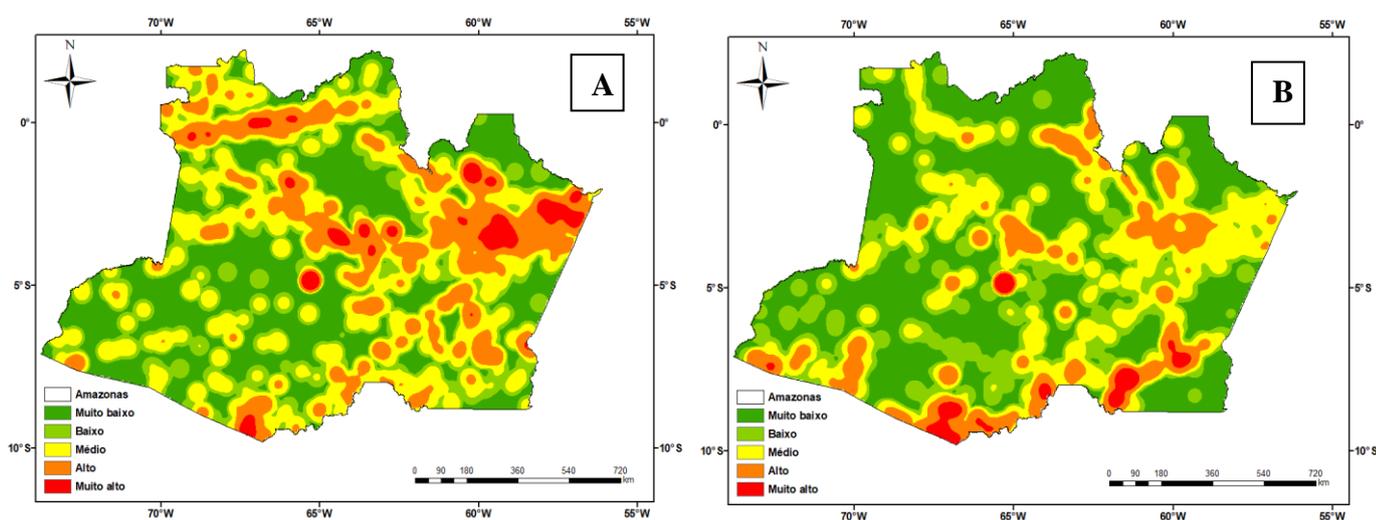


Figura 2: Mapa da densidade kernel para a estação chuvosa (A) e para a estação seca (B).

5.2 Focos de calor e variáveis meteorológicas

O número de focos de calor detectado na estação seca foi de 25169 (Tabela 1). Destes, 98% (24802) ocorreram nos meses com chuva mensal igual ou inferior a 100 mm e nos meses de agosto e setembro ocorreram 86% dos focos de calor (Tabela 1). Na estação chuvosa, o número total de focos foi de 4896, representando aproximadamente 16% do número total no ano. O início da estação chuvosa, ou seja, os meses de outubro e novembro, compreenderam 91% dos focos de calor da estação (Tabela 1) e apresentaram os menores valores de chuva da estação chuvosa: 160 mm e 202 mm, respectivamente (Tabela 2). O mês de agosto foi o que

apresentou o maior número de focos de incêndio (11049), sendo equivalente a aproximadamente 44% do total.

A temperatura média nos períodos seco e chuvoso variou entre 27°C e 29°C atingindo os maiores valores nos meses de outubro e novembro (Tabela 2). A umidade relativa do ar na estação seca apresentou seu menor valor em setembro (78%), seguido de julho e agosto, ambos com 81% (Tabela 3). Os demais meses do período seco variaram entre 83% e 86%. Na estação chuvosa, o valor mínimo foi de 81% em outubro e o máximo foi de quase 87% em fevereiro.

A evapotranspiração, na estação seca, atingiu seu máximo no mês de setembro (122,84 mm) que corresponde ao mês com a menor umidade relativa do ar de todo o ano e a maior temperatura média do período seco. O mês de agosto atingiu a segunda maior taxa de evapotranspiração (121,42 mm) e os meses de abril a julho variaram entre 97 mm e 110 mm. O mês de outubro apresentou o valor máximo (126,99 mm) de evapotranspiração em todo o ano, sendo o mês que atingiu a maior temperatura média do ano e os menores valores de precipitação e umidade relativa do ar na época chuvosa. De novembro a março, os valores variaram de 90 mm a 114 mm.

O modelo geral de regressão apresentou correlação entre os dados observados, com coeficientes significativos para todas as variáveis. Na estação seca, a variável que apresentou maior correlação com o número de focos foi a evapotranspiração com um R^2 de 93,24% que é diretamente influenciada pela radiação solar, vento, temperatura e umidade relativa do ar. Apesar disso, a temperatura média apresentou a menor correlação com um R^2 de 34,97%. Já na estação úmida, a umidade relativa do ar apresentou maior relação com o número de focos de calor ($R^2 = 84,41\%$) e a evapotranspiração obteve o menor R^2 que foi igual a 52,86%. Os valores dos coeficientes de determinação, para cada variável, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 2: Variáveis ambientais para a estação chuvosa: Evapotranspiração (mm), Temperatura média (°C), chuva (mm) e umidade relativa do ar (%)

Meses	ETO (mm)	Tmed (°C)	Chuva (mm)	UR (%)
Outubro	126,99	28,87	160,53	81,11
Novembro	114,08	28,48	202,42	84,03
Dezembro	104,41	27,84	290,19	86,13
Janeiro	119,08	28,5	226,5	84,32
Fevereiro	90,36	27,75	295,46	86,71
Março	101,54	27,84	310,38	86,69

Tabela 3: Variáveis ambientais para a estação seca: Evapotranspiração (mm), Temperatura média (°C), chuva (mm) e umidade relativa do ar (%)

Meses	ETO (mm)	Tmed (°C)	Chuva (mm)	UR (%)
Abril	97,37	27,8	284,14	86,32
Mai	102,41	27,98	204,58	84,84
Junho	104,11	27,77	119,1	83,61
Julho	110,73	27,14	89,65	81,61
Agosto	121,42	28,24	83,24	81,68
Setembro	122,84	28,33	100,17	78,62

Tabela 4: Coeficientes de determinação (R²), em porcentagem, para as estações seca e chuvosa.

Variáveis climáticas	R ² %	
	Estação seca	Estação chuvosa
ETO (mm)	93,24	52,86
Tmed (°C)	34,97	64,35
Chuva (mm)	40,86	70,63
UR (%)	67,95	84,41

As condições climáticas desempenham importante função na incidência de focos de calor sendo que o ano analisado nesse estudo foi caracterizado por uma seca severa e persistente no estado do Amazonas. Em eventos como esse, os riscos de incêndios aumentam consideravelmente (NEPSTAD et al., 2004; ALENCAR et al., 2011), 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) tornando as áreas ainda mais suscetíveis ao fogo (NEPSTAD et al., 2007). No presente trabalho, mais de 93% dos focos compreenderam os meses com menores taxas de chuvas, resultado similar foi encontrado por Vasconcelos et al. (2015) que identificaram mais de 95% dos focos de calor nos meses mais secos.

A umidade relativa do ar, que é influenciada pelas chuvas, também afeta a quantidade de umidade do material combustível e mantém relação com sua flamabilidade (RAY et al., 2005). Além disso, Mendoza (2003), através da condução de fogos experimentais no estado do Acre, encontrou forte relação com a umidade relativa do ar e a velocidade de propagação do fogo, em que quanto maior a umidade, menor é a velocidade de propagação do fogo. Torres (2006), realizou uma análise da relação entre os dados meteorológicos e a incidência de incêndios na cidade de Juiz de Fora - MG, no período de 1995-2004 e encontrou uma relação inversa entre umidade do ar e número de incêndios, Gomes Machado et al. (2014) encontraram

resultados semelhantes no Mato Grosso, corroborando para os resultados já esperados e encontrados no presente estudo.

A temperatura do ar igualmente propicia condições de tempo seco favoráveis ao surgimento de focos de calor pois quanto maior a temperatura do ar, maior será a chance de uma fonte de ignição resultar em um incêndio (PEREIRA & SANTOS., 2003). Nesse estudo, a temperatura média do ar manteve-se com pouca variação ao longo do ano, ficando próxima dos 28°C. Ainda assim, Ray et al. (2005) mostraram que na Amazônia, dependendo do tipo de cobertura vegetal, podem ocorrer eventos de fogo com temperaturas acima de 24°C.

Ismael Filho et al. (2015), estudaram a influência de algumas variáveis climáticas na evapotranspiração no estado da Paraíba e encontraram como maiores influências positivas a radiação e temperatura média do ar e como influência negativa a umidade relativa do ar, ou seja, quanto maior a umidade menor será a evapotranspiração. No Canadá, Kang et al. (2006) estudaram o efeito dos incêndios na evapotranspiração e encontraram forte influência da quantidade de chuvas, em que quanto mais chuvas menor são as taxas de evapotranspiração. Resultados semelhantes aos anteriores citados foram encontrados no presente trabalho.

As condições meteorológicas exercem um importante papel no controle de incêndios na região da floresta amazônica (MORTON et al., 2013). Alencar et al. (2011) encontraram uma maior variação de área queimada nos anos com seca prolongada e Vasconcelos et al. (2015), comparando um ano de seca normal (2004) com um ano de seca severa (2005), encontraram maior suscetibilidade ao fogo no ano de 2005, assim como maior número de focos de calor. De forma geral, as condições climáticas nas quais ocorreu maior incidência de focos de calor, no presente estudo, são semelhantes a encontradas em outros estudos (e.g. MENDOZA, 2003; RAY et al., 2005).

5.3 Focos de calor e uso do solo

Os resultados indicam que as classes de floresta e pastagem foram as que tiveram o maior número de focos de calor correspondendo, respectivamente, a 58% e 37% do número total de focos (Tabela 5). As áreas cobertas por floresta foram as únicas em que foram detectados focos de incêndio durante todos os meses do ano com um número total de 16525 focos. Nessas áreas, durante a estação seca, foram registrados 83,45% dos focos e destes, 88,32% foram detectados nos meses de agosto e setembro. O mês de abril apresentou o menor número de todo o ano com um total de 29 focos, sendo este o mês do período seco com o maior índice de chuvas e umidade relativa do ar.

No período chuvoso, outubro obteve o maior registro com 1733 focos de um total de 2734 que é o equivalente a 63,38% do total. O mês de novembro apresentou 699 focos seguido de uma queda representativa para 49 focos em dezembro que foi o mês com o menor registro do período. Para a classe de pastagem, no período seco, a dinâmica foi similar à da floresta, ou seja, os meses de agosto e setembro atingiram as máximas, que foi o equivalente a 59,15% do total do período. No entanto, maio atingiu o menor valor com apenas 3 focos de calor em todo o mês, seguido do mês de abril que apresentou 4 focos no total. Na estação chuvosa, os meses de março e novembro não apresentaram focos de calor e em fevereiro foi registrado apenas 1. Nesse período, os focos concentraram-se em outubro onde foi registrado 95% do total.

Esses resultados podem ser explicados pela maior representatividade dessas classes (floresta e pastagem) no estado e no caso da pastagem pelo alto grau de exposição do solo. Além disso, foram incluídas na classe de florestas, atividades de silvicultura e extrativismo vegetal que são mais propícios a incidência de focos de calor.

A classe de Agropecuária apresentou no total 652 focos, concentrados, em sua maioria, no período seco (agosto e setembro). De janeiro a junho não houveram registros de focos de incêndio nessa classe. Nas áreas com predomínio de atividades agroflorestais, o número de focos no ano foi de 139 que ocorreram entre os meses de julho a novembro com máxima em setembro (51). A classe de atividade agrossilvipastoril apresentou 434 focos durante o ano onde o valor máximo foi registrado em outubro (140). Nessa classe, fevereiro, abril e maio não apresentaram focos de calor. As áreas urbanas registraram 15 focos de incêndio durante o ano, divididos de julho a dezembro tendo um pouco mais da metade ocorrido em agosto e setembro. A classe de solo exposto praticamente não apresentou focos de incêndio, com um total de 2 registros, 1 em agosto e 1 em setembro, em todo o ano. Todos os valores, por classe, se encontram na tabela 5, a seguir:

Tabela 5: Número de focos de incêndio e frequência, em porcentagem, para cada classe de uso do solo.

Meses	Agropecuaria	Área urbana	Atividade agroflorestal	Atividade agrossilvipastoril	Floresta	Pastagem	Solo exposto
JAN	0	0	0	13	101	32	0
FEV	0	0	0	0	77	1	0
MAR	0	0	0	2	82	0	0
APR	0	0	0	0	29	4	0
MAY	0	0	0	0	89	3	0
JUN	0	0	0	3	171	64	0
JUL	42	2	7	9	1321	1544	0
AUG	364	4	30	88	5910	4365	1
SEP	205	4	51	96	6271	3793	1
OCT	29	2	33	140	1733	897	0
NOV	8	2	18	81	699	0	0
DEC	4	1	0	2	42	14	0
Total	652	15	139	434	16525	10717	2
Frequência (%)	2,29	0,05	0,49	1,52	58,02	37,62	0,01

6 CONCLUSÃO

O ano de estudo apresentou um alto número de focos de calor que estiveram concentrados, principalmente, nas regiões sul e central do estado. As florestas, ainda que, contribuam na diminuição dos efeitos das mudanças climáticas, sofrem com um alto número de focos de calor, principalmente em anos de seca, destacando a importância de estudos como esse. Além disso, a evapotranspiração e umidade relativa do ar apresentaram as maiores influências na ocorrência dos focos de calor, indicando a relação direta entre os resultados e o evento de seca de 2005. O estudo é importante, pois coloca em alerta a vulnerabilidade do ecossistema amazônico diante da ocorrência dos incêndios, e ainda pode subsidiar ações de mitigação da emissão de carbono e estoque da biomassa, colaborando assim para práticas mais sustentáveis em um dos biomas de maior biodiversidade do planeta.

7 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.

AMAZONAS, Governo do Estado. A Floresta Amazônica e seu Papel nas Mudanças Climáticas. Manaus: SDS/CECLIMA; 2009.

ARAGAO, L. E. O., MALHI, Y., ROMAN-CUESTA, R. M., SAATCHI, S., ANDERSON, L. O., & SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters*, v. 34, n.7, 2007.

ARAÚJO, E. A., KER, J. C., DE SÁ MENDONÇA, E., da SILVA, I. R., & OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta amazônica*, v.41, n.1, 2010.

BROWN, I. F., SCHROEDER, W., SETZER, A., MALDONADO, R., PANTOJA, N., DUARTE, A., & MARENGO, J. Monitoring fires in southwestern Amazonia rain forests. *Eos*, v.87, n.26, p. 253-264, 2006.

CALDAS, J. M., SILVA, F. B., & SILVA JUNIOR, C. H. L. Análise de focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador utilizando um Sistema de Informação Geográfica–SIG, estado do Maranhão, Brasil. In XIV SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS. Anais... Cubatão: COPEC, 2014.

CARDOSO, M. F., HURTT, G. C., MOORE, B., NOBRE, C. A., & PRINS, E. M. Projecting future fire activity in Amazonia. *Global Change Biology*, v.9 n.5 , p. 656-669,2003.

FAS - Fundação Amazonas Sustentável. Relatório de Gestão 2011. Disponível em: fas-amazonas.org/versao/.../RELATÓRIO-DE-GESTÃO-2011-FAS.pdf. Acesso em: 15 mar. 2017

FERREIRA, L. V., VENTICINQUE, E., & ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos avançados*, v.19, n.53, p.157-166, 2005.

FISCH, G., MARENGO, J. A., & NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, v.28, n.2, p. 101-126, 1998.

GOMES MACHADO, N., PAIVA DA SILVA, F. C., & SACARDI BIUDES, M. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. *Ciência e Natura*, v.36 n.3. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Sinopse do Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE; 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Agropecuário, 1970-2006*. Brasil. Rio de Janeiro, 2012a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Banco de Dados Agregados*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 mar de 2017. 2012b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Mapa de uso do solo do Amazonas*. Disponível em: http://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/uso_da_terra/cartas_escala_250mil/estaduais/AM/. Acesso em: 28 abr. 2016. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. *Projeto PRODES - Divulgação da taxa consolidada do desmatamento da Amazônia Legal para período ago./2013-jul./2014*. São José dos Campos, 2014. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/Prodes_Taxa2014.pdf. Acesso em: 5 abr. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Queimadas: monitoramento de focos*. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>. Acesso em: 5 abr. 2017.

ISMAEL FILHO, A., de FARIAS BORGES, P., de SOUTO ARAÚJO, L., PEREIRA, A. R., de LIMA, E. M., dos SANTOS SILVA, L., & dos SANTOS JÚNIOR, C. V. Influência das variáveis climáticas sobre a evapotranspiração. *Gaia Scientia*, v.9, n.1, 2015.

JUNIOR, C. H. L. S., OLIVEIRA, L. E., de ARAGÃO, C., & ANDERSON, L. O. Tendências temporais do número de queimadas na Amazônia Legal brasileira entre os anos de 2002 a 2014. XVIII Brazilian Symposium on Remote Sensing, São Paulo, 2017.

KANG, S., KIMBALL, J. S., & RUNNING, S. W. Simulating effects of fire disturbance and climate change on boreal forest productivity and evapotranspiration. *Science of the Total Environment*, v.362 n.1, p. 85-102, 2006.

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., FERREIRA, L. C. C., FELICÍSSIMO, M. F. G., Lira, R. G., JUSTINO, A. G., GOMES, C. S., ... & MAGALHÃES, G. R. D. 2012. Análise da distribuição de focos de calor no Tocantins entre 2002 e 2011. *Revista Interface (Porto Nacional)*, n.5, 2012.

LIBERATO, A. M., & DE BRITO, J. I. B. Influência de Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico da Amazônia Ocidental (Influence of Climate Change on Water Budget of Western Amazonia). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 3(3), 170-180, 2011.

MALHI, Y., ARAGÃO, L. E., GALBRAITH, D., HUNTINGFORD, C., FISHER, R., ZELAZOWSKI, P., ... & MEIR, P. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n.49, p. 20610-20615, 2009.

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., TOMASELLA, J., ALVES, L. M., SOARES, W. R., & RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, v.38, n.12, 2011.

MARTINS, C. E. R., FILGUEIRAS, G. C., RAMOS, S. S., & SILVA, D. C. C. Evolução do Uso do Solo na Amazônia Legal e Impactos do Desenvolvimento Econômico no Meio Ambiente. Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (ANPPAS), 2012.

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.

MIRANDA, E. D., MORAES, A. D., & OSHIRO, O. T. Queimadas na Amazônia brasileira em 2005. *Comunicado Técnico*, v.18,2006.

MORAIS, J. D., DA SILVA, R. R., & ROCHA, E. C. O. Análise multitemporal da ocorrência de queimadas no bioma cerrado no período de 2010 a 2013 utilizando tecnologias da geoinformação. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014.

MORISSETTE, J. T., GIGLIO, L., CSISZAR, I., SETZER, A., SCHROEDER, W., MORTON, D., & JUSTICE, C. O. Validation of MODIS active fire detection products derived from two algorithms. *Earth Interactions*, v. 9, n. 9, p. 1-25, 2005.

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 of London B: Biological Sciences*, v.368 n.1619), p. 20120163, 2013.

NEPSTAD, D. C., TOHVER, I. M., Ray, D., MOUTINHO, P., & CARDINOT, G. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. *Ecology*, v. 88, n. 9, p. 2259-2269, 2007.

NEPSTAD, D., LEFEBVRE, P., LOPES DA SILVA, U., TOMASELLA, J., SCHLESINGER, P., SOLORZANO, L., ... & GUERREIRA BENITO, J. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. *Global Change Biology*, v. 10, n. 5, p. 704-717, 2004.

NEPSTAD, D. C., VERSSIMO, A., ALENCAR, A., NOBRE, C., LIMA, E., LEFEBVRE, P., ... & COCHRANE, M. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, v. 398, n. 6727, p. 505-508, 1999

PEREIRA, J. M. C., & SANTOS, M. T. Cartografia das áreas queimadas e do risco de incêndio em Portugal Continental (1990-1999). Direcção-Geral das Florestas, 2003.

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.

RODRIGUES, P.C.O.; IGNOTTI, E.; HACON, S.S. Distribuição espaço-temporal das queimadas e internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos de idade em Rondônia, 2001 a 2010. *Epidemiol. Serv. Saúde*, v. 22, n. 3, p. 455-464, 2013.

SCHROEDER, W., ALENCAR, A., ARIMA, E., & SETZER, A. The spatial distribution and interannual variability of fire in Amazonia. *Amazonia and Global Change*, p.43-60, 2009.

SERRÃO, E. A. de O., dos Santos, C. A., & de Lima, A. M. M. Avaliação da seca de 2005 na Amazônia: uma análise da calha do rio Solimões. *Estação Científica (UNIFAP)*, v.4, n.2, p. 99-109, 2015a.

SERRÃO, E. A. de O, ASSIS DOS SANTOS, C., WANZELER, S., THIAGO, R., DE JESUS MENEZES GONÇALVES, L., & MEIGUINS DE LIMA, A. M. Avaliação da seca de 2005 e 2010 na amazônia: análise da bacia hidrográfica do rio solimões. *Revista Geográfica Acadêmica*, v.9, n.2, p 5-20, 2015b.

SILVA, C.N.; SILVA, J.M.P.; CASTRO, C.J.N. Methodological Guidelines for the Use of Geoprocessing Tools: Spatial Analysis Operations-Kernel, Buffer and the Remote Sensing Image Classification. *Agricultural Sciences*, v. 6, p. 707-716, 2015.

SMITH, M.J., GOODCHILD, M.f. & LONGLEY, p.a.: Geospatial Analysis - a comprehensive guide. 2006

SOUZA, E., & AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. *Climanálise*, 2003.

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. XVI simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Foz do Iguaçu, PR, 2013.

SOUZA, A. M., DA ROCHA, E. J. P., VITORINO, M. I., DE SOUZA, P. J. O. P., & BOTELHO, M. N. 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.

TROLLOPE, W. S., & TROLLOPE, L. A. Prescribed burning in African grasslands and savannas for wildlife management. *Arid Lands Newsletter*, v.55, 2004.

TORRES, F. T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). *Caminhos de Geografia*, v. 7, n. 18, p. 162-171, 2006.

VAN DER WERF, G. R., RANDERSON, J. T., GIGLIO, L., COLLATZ, G. J., Mu, M., KASIBHATLA, P. S., ... & VAN LEEUWEN, T. T. Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics*, v.10, n. 23, p. 11707-11735, 2010.

VASCONCELOS, S. S, FEARNSIDE, P. M., TEIXEIRA-SILVA, P. R., DIAS, D. V., & GRAÇA, P. M. L. D. A. Suscetibilidade da vegetação ao fogo no sul do Amazonas sob condições meteorológicas atípicas durante a seca de 2005. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, n.2, 134 - 144, 2015

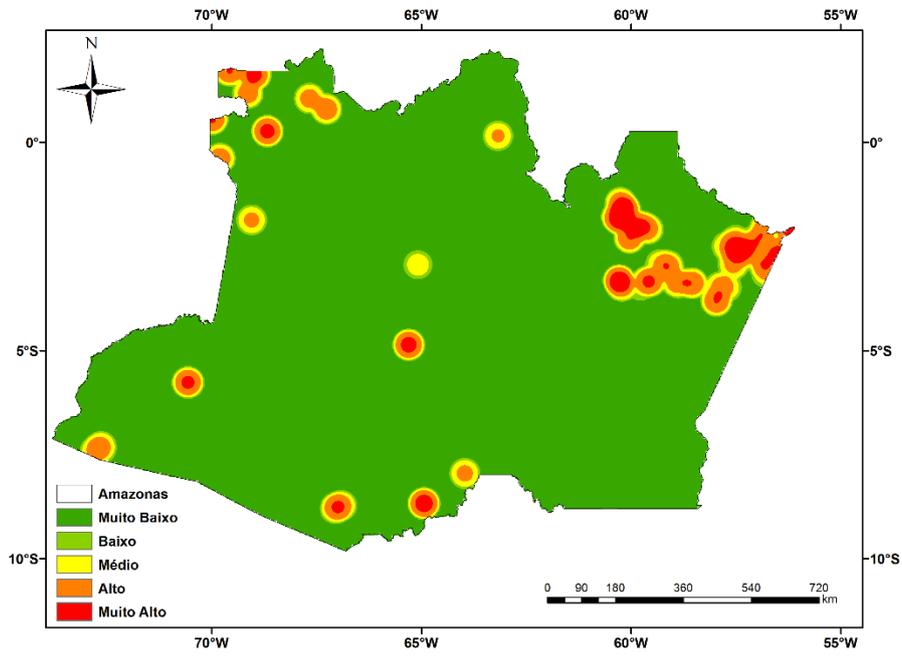
VILANOVA, M.R.N. Tendências hidrológicas anuais e sazonais na bacia do rio Paraíba, Parque Estadual da Serra do Mar (SP). **Soc. & Nat.** v. 26, n. 2, p. 301-316, 2014.

XAVIER, A. C., KING, C. W. and SCANLON, B. R. (2016), Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *Int. J. Climatol.*, 36: 2644–2659. doi:10.1002/joc.4518

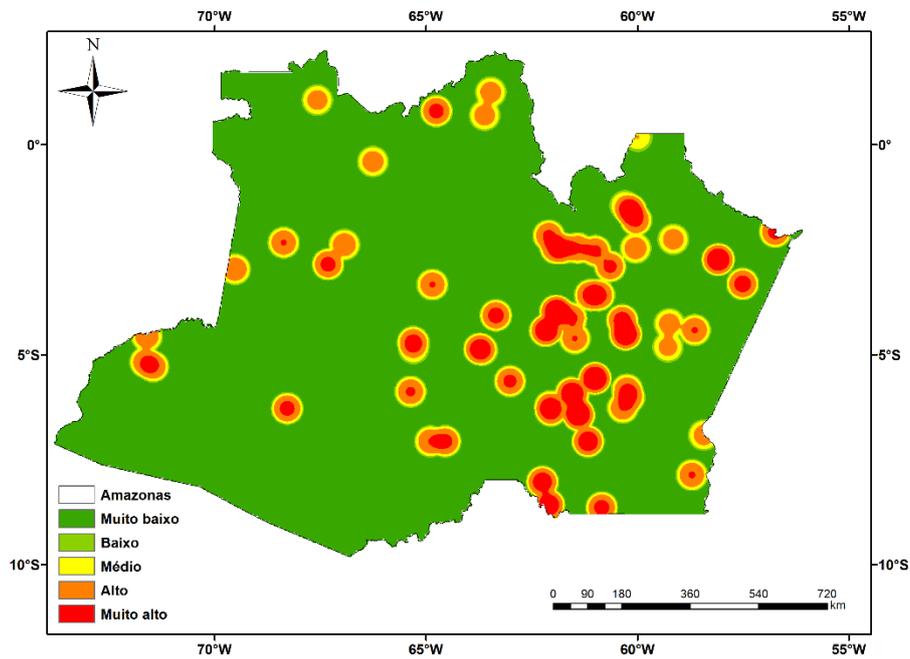
ZENG, N., YOON, J. H., MARENGO, J. A., SUBRAMANIAM, A., NOBRE, C. A., MARIOTTI, A., & NEELIN, J. D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. *Environmental. Research Letters*, v.3, n.1, 2008.

ANEXOS

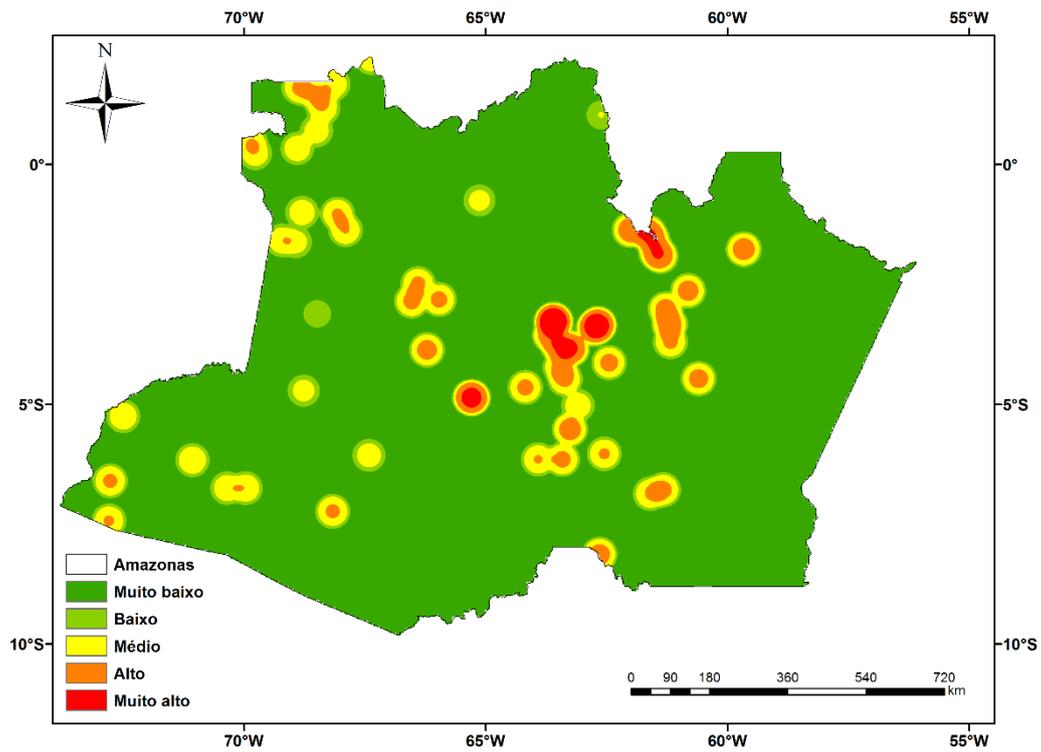
Anexo 1: mapa da Densidade Kernel para o mês de janeiro.



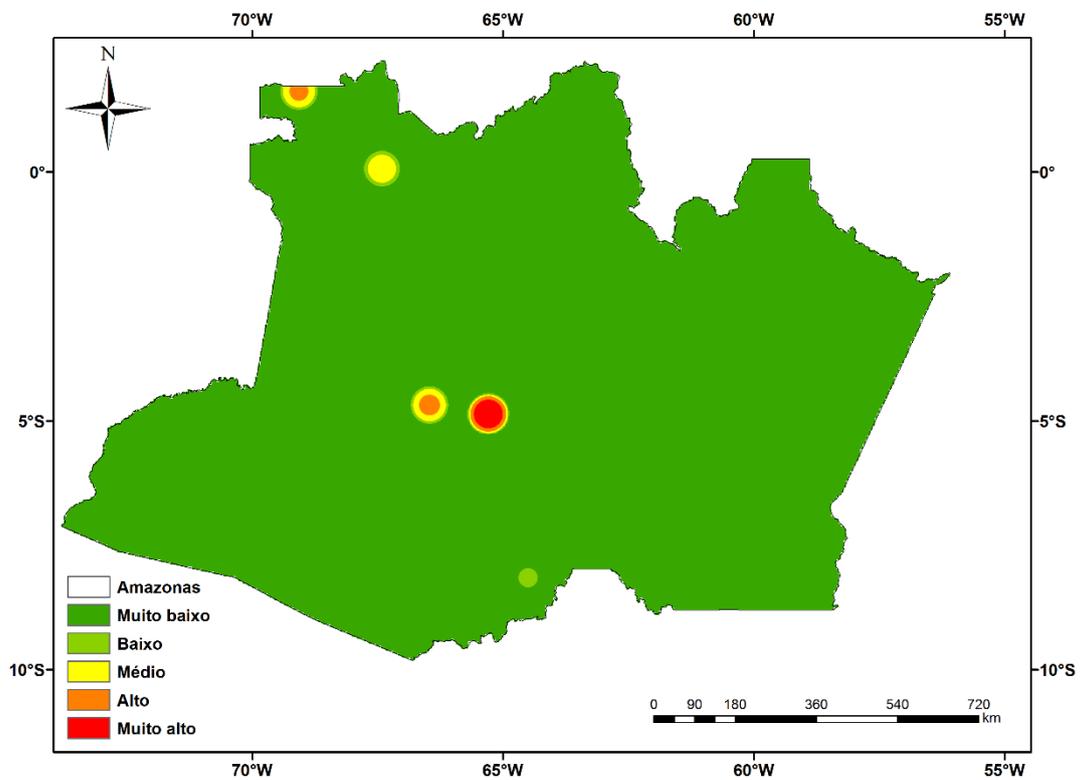
Anexo 2: mapa da Densidade Kernel para o mês de fevereiro.



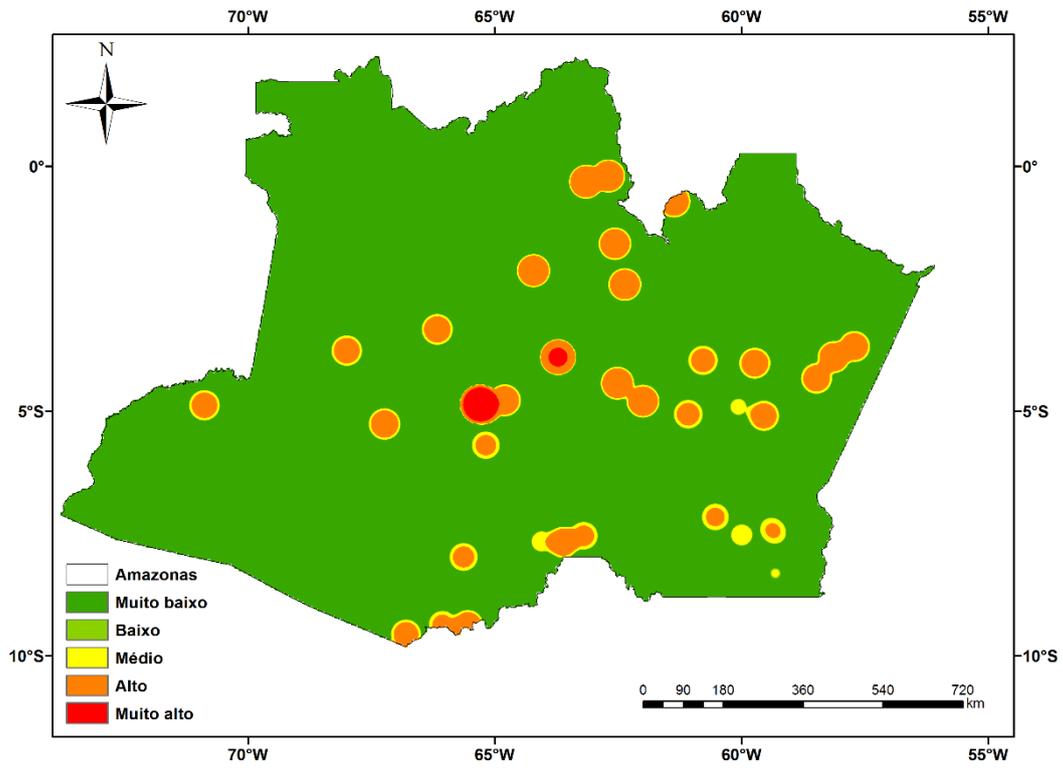
Anexo 3: mapa da Densidade Kernel para o mês de março.



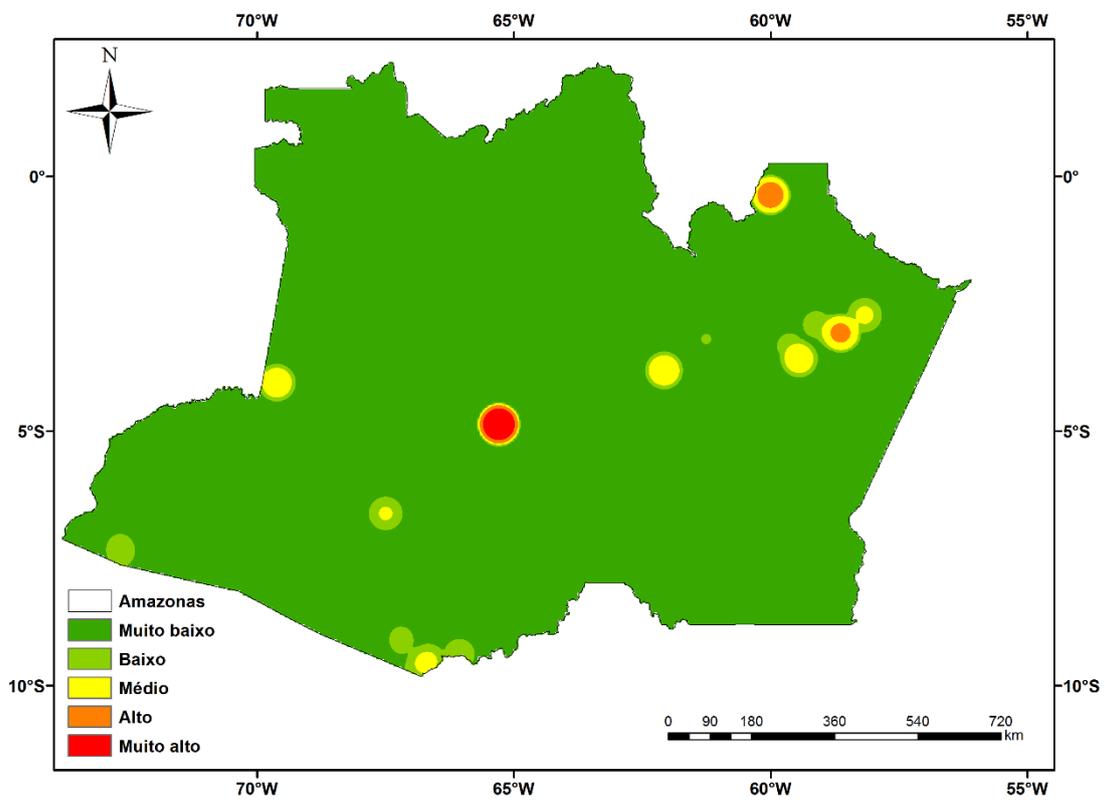
Anexo 4: mapa da Densidade Kernel para o mês de abril.



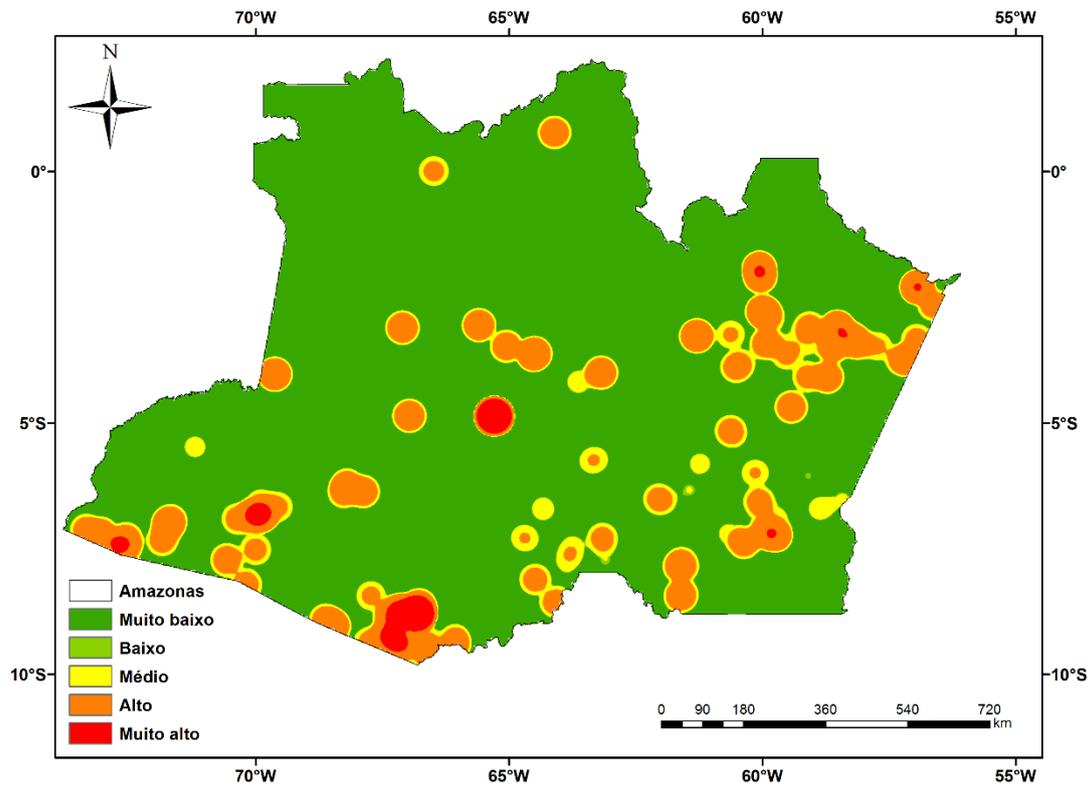
Anexo 5: mapa da Densidade Kernel para o mês de maio.



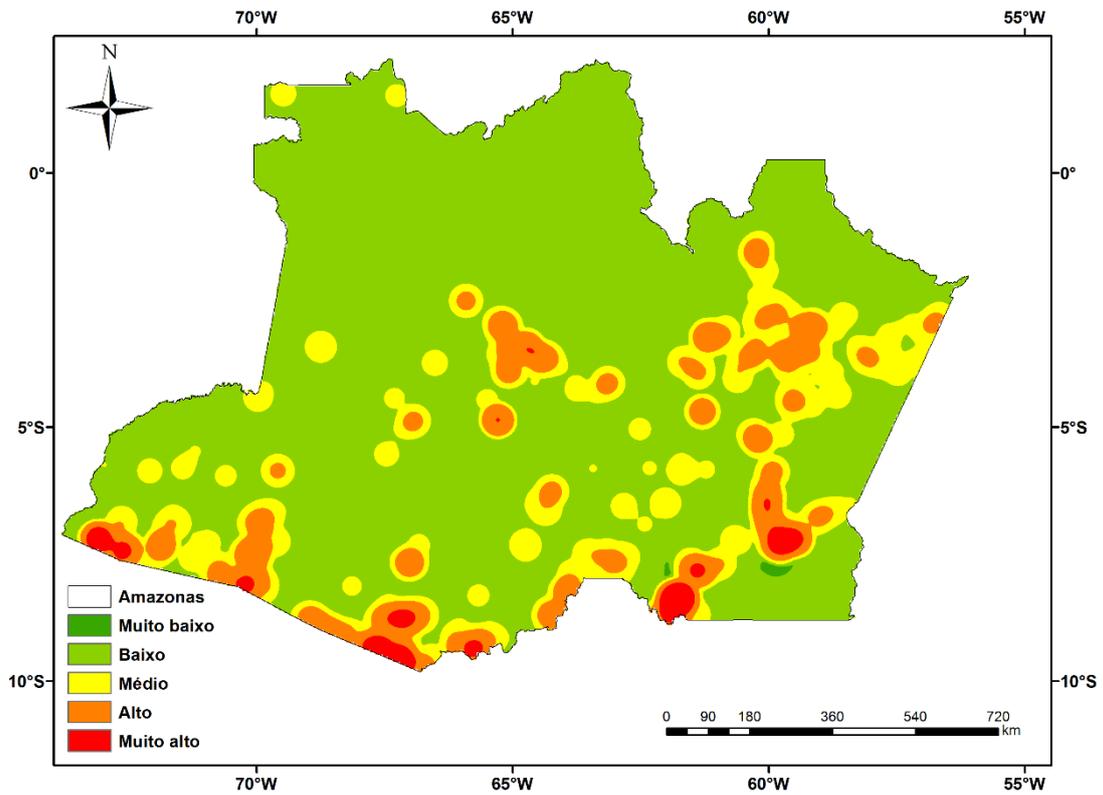
Anexo 6: mapa da Densidade Kernel para o mês de junho.



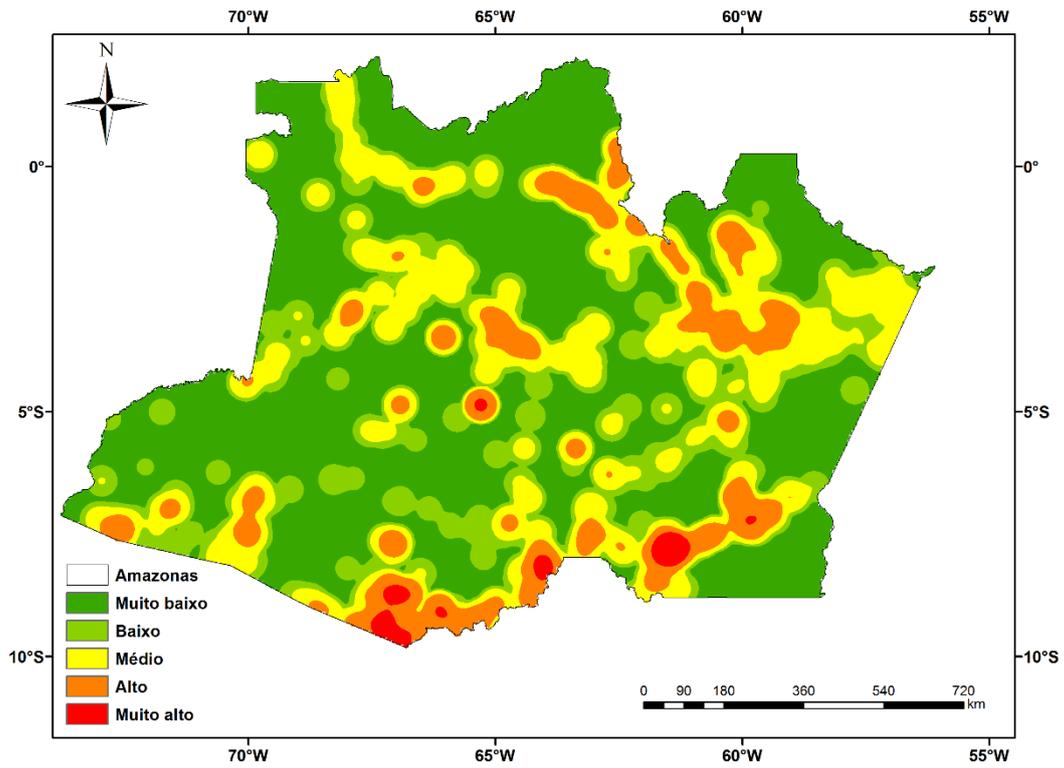
Anexo 7: mapa da Densidade Kernel para o mês de julho.



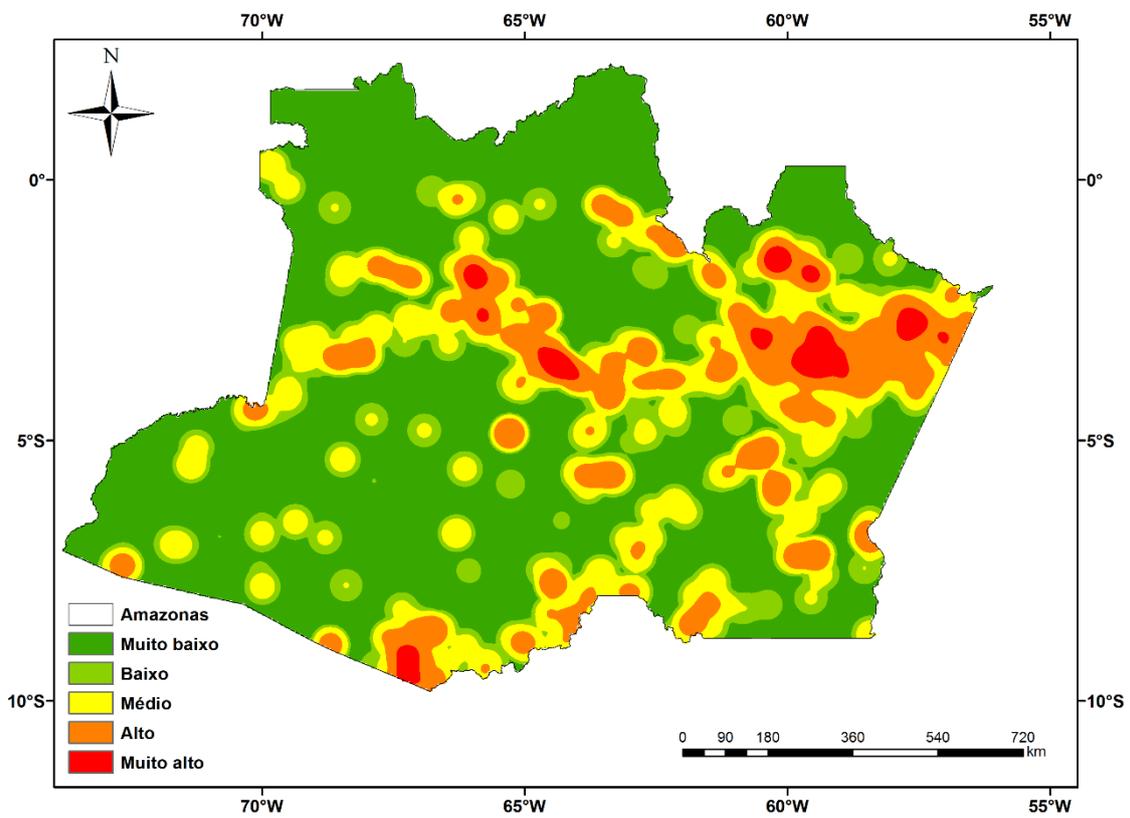
Anexo 8: mapa da Densidade Kernel para o mês de agosto.



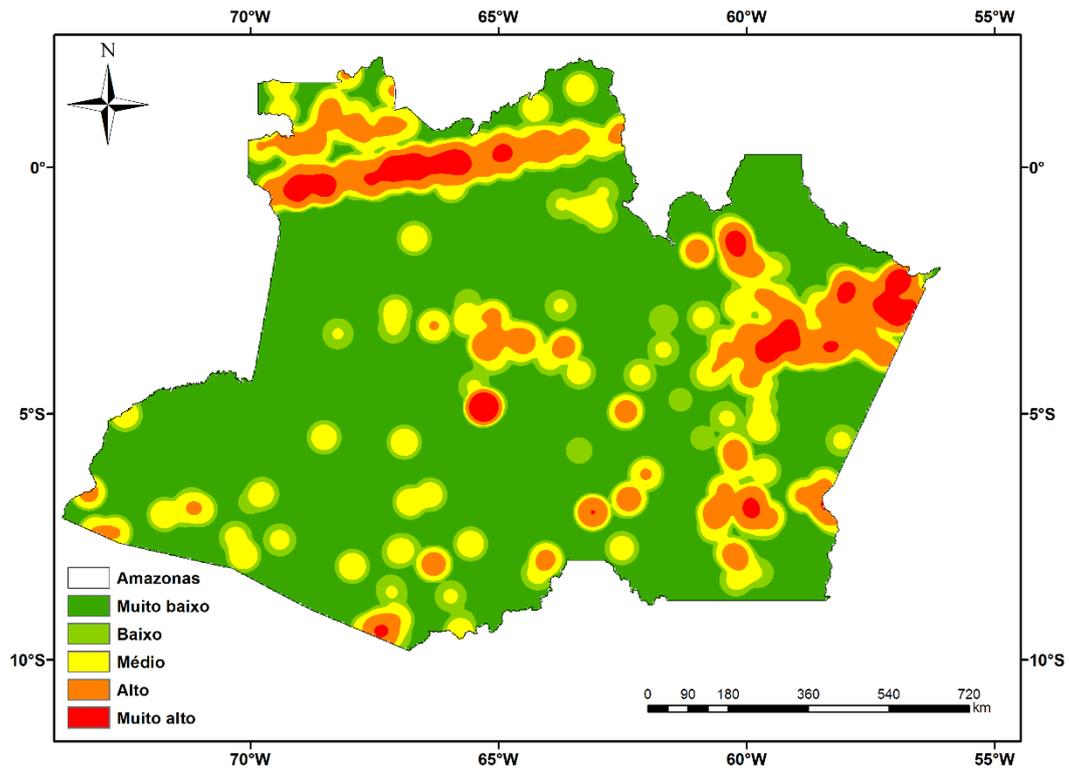
Anexo 9: mapa da Densidade Kernel para o mês de setembro.



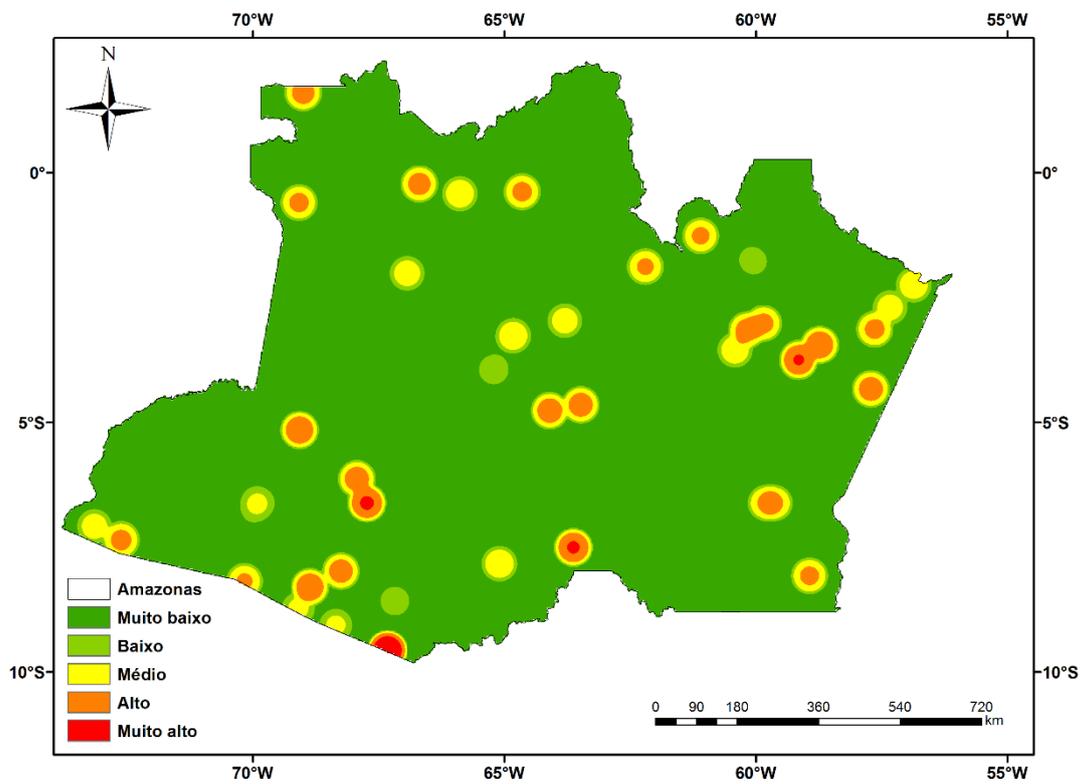
Anexo 10: mapa da Densidade Kernel para o mês de outubro.



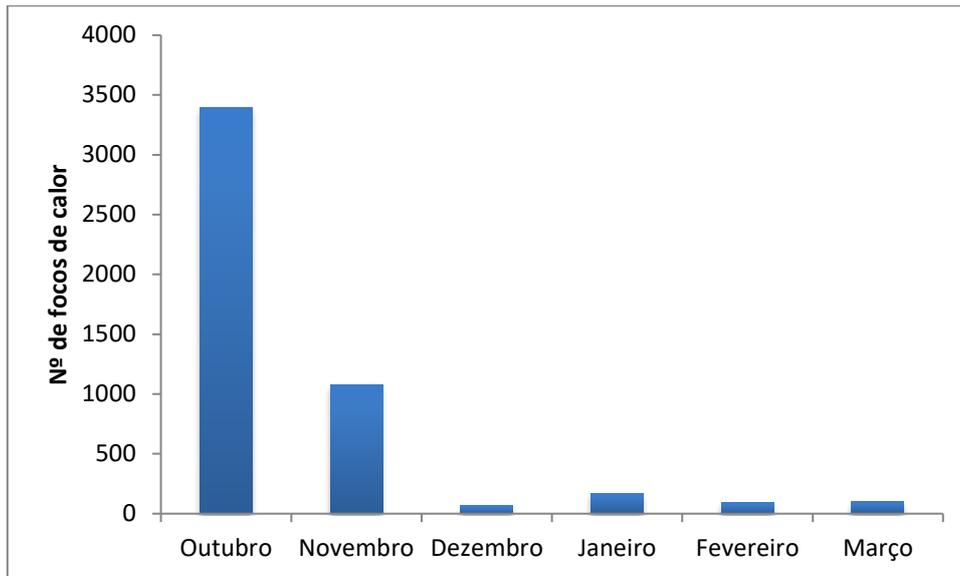
Anexo 11: mapa da Densidade Kernel para o mês de novembro.



Anexo 12: mapa da Densidade Kernel para o mês de dezembro.



Anexo 13: gráfico do número de focos de calor para a estação chuvosa do ano de 2005.



Anexo 13: gráfico do número de focos de calor para a estação seca do ano de 2005.

