

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE CALOR EM 2017 NO ESTADO BRASILEIRO DO PARÁ

Lucas Martins de Souza

Marcus Vinícius A. de Carvalho

Júlia Célia M Strauch

Escola Nacional de Ciências Estatísticas

RESUMO

Os focos de calor no Estado do Pará surgem como uma preocupação na região, principalmente nos períodos em que a atividade convectiva é menor. Diante dessa realidade paraense é efetuada uma análise espaço-temporal dos focos de calor no ano de 2017, ano com maior número de ocorrências no período de 2017 a 2020. Para tal análise foram utilizados os registros de focos de calor disponibilizados no portal BDQueimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a malha fundiária do Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora). Entre os resultados encontrados observou-se que há um período do ano preferencial nas ocorrências e que essa distribuição ocorre de maneira mais concentrada em determinados municípios paraenses, nas terras privadas e públicas. Os resultados encontrados servem como importante insumo para a tomada de ações por parte do poder público para que se possa atuar e lidar com o problema de forma mais efetiva no território.

Palavras chaves: geoprocessamento; estimativa de densidade *kernel*; cartografia fundiária

ABSTRACT

Hotspots in Pará State are a concern in the region, especially in periods when convective activity is lower. In view of this reality in Pará, a spatial-temporal analysis of hotspots in 2017, the year with the highest number of occurrences in the period from 2017 to 2020, was performed. For this analysis, records of hotspots available on the BDQueimadas portal, from the National Institute for Spatial Research (INPE) and the land mesh of the Institute for Forest and Agriculture Management and Certification (Imaflora) were used. Among the results found, it was observed that there is a preferential period of the year in the occurrences and this distribution occurs in a more concentrated way in certain municipalities of Pará, in private and public lands. The results found serve as an important input for the taking of actions by the public power so that it can act and deal with the problem more effectively in the territory.

Keywords: geoprocessing; kernel density estimation; land mesh cartography

INTRODUÇÃO

As ações antrópicas são as principais responsáveis por constantes alterações nas paisagens. Na Região Norte do país, encontram-se municípios com extensas áreas ainda com a vegetação natural onde as grandes modificações na paisagem ocorrem pela ação humana e, em geral, traduzem-se na supressão florestal e em queimadas.

Cabe ressaltar que a ocorrência de eventos de fogo pode ser natural ou através do manejo. O primeiro é causado por processos naturais, originados geralmente por descargas elétricas na atmosfera (MEDEIROS; FIEDLER, 2004). O segundo, associado ao manejo do solo, é muito utilizado para transformação da cobertura da terra nos ecossistemas amazônicos, sendo um dos principais causadores da degradação dos mesmos. Dessa forma, a ocorrência de queimadas faz parte do processo produtivo da agropecuária tanto no Bioma Amazônico como no Cerrado. Entretanto, apesar de tradicional, rápido e barato, trata-se de um método ultrapassado, pois impacta

todo o ecossistema local, e, além de matar fauna e flora, também empobrece o solo e dificulta o desenvolvimento da vegetação (GABARDO *et al.*, 2020). A incidência maior dos focos de calor se dá, historicamente, durante a estação seca, principalmente no seu período final, por conta de um conjunto de fatores, como um clima mais seco, característico do período do ano, e devido ao predomínio de gramíneas e outros materiais inflamáveis que interagem de forma mais intensa quando expostos a uma fonte de ignição (PIROMAL *et al.*, 2008).

De acordo com Gonçalves *et al.* (2012), a queima de biomassa florestal é prática recorrente e antiga, caracterizando-se como uma das principais atividades que contribuem para a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). As grandes queimadas, não somente no Brasil, mas em outros países, despertaram atenção a este problema, entretanto, as medidas de prevenção e/ou controle ainda são insuficientes.

Além disso, em escala nacional, a supressão florestal na Amazônia tem aumentado desde 1991. Este processo contribui para uma série de impactos ambientais neste Bioma, como a perda de biodiversidade, a redução da ciclagem de água, o que influencia no regime hidrológico; e a perda de produtividade, por conta da erosão, compactação do solo e exaustão de nutrientes (FEARNSIDE, 2020). Nobre *et al.* (2007) expõem sobre o considerável papel que a Amazônia exerce no ciclo do carbono planetário frente às influências antrópicas, como aumento das emissões de GEEs, queimadas, ilhas de calor, desmatamento, entre outras atividades humanas que impactam o ambiente de forma direta e indireta. Deste modo, as questões motivadoras para este trabalho levam em consideração a importância da região Amazônica tanto no cenário nacional como internacional, no âmbito da dimensão ambiental, social, econômica e cultural.

Segundo Steinberger (2002), os estados da Amazônia Legal concentravam 65% dos focos de calor do Brasil em 2000, conforme os dados do Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal (PROARCO/IBAMA). Desses, mais de 50% ocorreram em Mato Grosso, Pará e Maranhão. Entretanto, de acordo com os dados disponibilizados pela plataforma BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>), quando se avalia o ano de 2020 essa realidade pouco muda para os dois primeiros estados citados, pois juntos correspondem a 57,4% dos focos de calor ocorridos no país no último ano - especialmente o estado do Pará, com 38.603 registros, correspondendo a 37,4% do total. Ainda de acordo com dados do INPE, em 2017 houve uma maior quantidade de registros de queimadas em áreas de floresta natural, que antes eram consideradas como "intocadas" pelas chamas. Esse tipo de ocorrência passou a atingir com intensidade importantes Unidades de Conservação e Terras Indígenas pelo país (CARVALHO, 2017).

Neste sentido, considerando sua importância, se faz fundamental entender a distribuição e dinâmica espaço-temporal das ocorrências de focos de calor na região. De acordo com Leão *et al.* (2020), esta modalidade de análise contribui para tomada de decisão em ações de planejamento na questão da alocação de recursos e de políticas públicas para a educação em relação ao manejo agrícola do fogo.

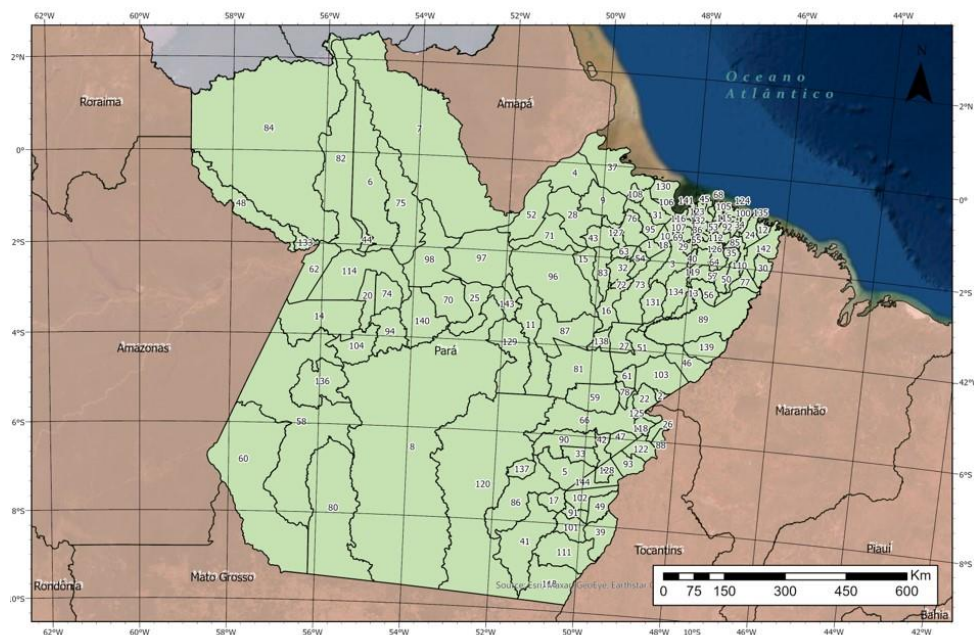
Mediante o exposto, levando em consideração o histórico de degradação ambiental e supressão florestal do estado do Pará, assim como a relação direta entre queimada e desmatamento, constituem objetivos desse trabalho: i) confirmar o ano de 2017 como o ano com

mais focos de queimadas entre 2017 e 2020 nessa unidade federativa, ii) realizar uma análise exploratória espaço-temporal dos focos de calor, analisando a distribuição espaço-temporal ao longo do ano de 2017; e iii) identificar onde esses registros de focos de calor ocorrem. Para esse último objetivo serão utilizadas a malha territorial do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010) e a malha fundiária do Imaflora de 2017.

O artigo está estruturado em quatro seções, além desta introdução. Na seção a seguir é apresentada uma caracterização do estado do Pará; na terceira seção, é descrita a metodologia empregada; na quarta seção são apresentados os resultados e efetuada sua discussão; e finalmente, na quinta seção são apresentadas as principais conclusões.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A unidade federativa do Pará, localizada na Região Norte do país tem população estimada de 8.777.124 habitantes no ano de 2021, e apresenta a segunda maior área territorial do país, de 1.245.870 km² (IBGE, 2021). A densidade demográfica do estado era, em 2010, de 6,07 hab/km² (IBGE, 2010), ocupando a 21^a posição no *ranking* do País (IBGE, 2020). Sua capital é Belém, um dos 144 municípios deste estado. Na Figura 1 é possível observar sua localização, além dos seus estados vizinhos e outros países com os quais faz fronteira.



Municípios do Pará
 Estados brasileiros
 Países vizinhos

Mapa de localização do estado do Pará
 Sistema de Referência: SIRGAS 2000
 Projeção cônica conforme de Lambert

Abaetetuba	1	Benevides	21	Cumarú do Norte	41	Jacundá	61
Abel Figueiredo	2	Bom Jesus do Tocantins	22	Curionópolis	42	Juruti	62
Acará	3	Bonito	23	Curralinho	43	Limoeiro do Ajuru	63
Afuá	4	Bragança	24	Curú	44	Mãe do Rio	64
Água Azul do Norte	5	Brasil Novo	25	Curuçá	45	Magalhães Barata	65
Alenquer	6	Brejo Grande do Araguaia	26	Dom Eliseu	46	Marabá	66
Almeirim	7	Breu Branco	27	Eldorado do Carajás	47	Maracanã	67
Altamira	8	Breves	28	Faro	48	Marapanim	68
Anajás	9	Bujaru	29	Floresta do Araguaia	49	Marituba	69
Ananindeua	10	Cachoeira do Piriá	30	Garrafão do Norte	50	Medicilândia	70
Anapu	11	Cachoeira do Arari	31	Goianésia do Pará	51	Melgaço	71
Augusto Corrêa	12	Cametá	32	Gurupá	52	Mocajuba	72
Aurora do Pará	13	Canaã dos Carajás	33	Igarapé-Açu	53	Moju	73
Aveiro	14	Capanema	34	Igarapé-Miri	54	Mojú dos Campos	74
Bagre	15	Capitão Poço	35	Inhangapi	55	Monte Alegre	75
Baião	16	Castanhal	36	Ipixuna do Pará	56	Muaná	76
Bannach	17	Chaves	37	Irituia	57	Nova Esperança do Piriá	77
Barcarena	18	Colares	38	Iteituba	58	Nova Ipixuna	78
Belém	19	Conceição do Araguaia	39	Itupiranga	59	Nova Timboteua	79
Belterra	20	Concórdia do Pará	40	Jacareacanga	60	Novo Progresso	80
Novo Repartimento	81	Redenção	101	São Francisco do Pará	121	Vigia	141
Óbidos	82	Rio Maria	102	São Geraldo do Araguaia	122	Viseu	142
Oeiras do Pará	83	Rondon do Pará	103	São João da Ponta	123	Vitória do Xingu	143
Oriximiná	84	Rurópolis	104	São João de Pirabas	124	Xinguara	144
Ourém	85	Salinópolis	105	São João do Araguaia	125		
Ourilândia do Norte	86	Salvaterra	106	São Miguel do Guamá	126		
Pacajá	87	Santa Bárbara do Pará	107	São Sebastião da Boa Vista	127		
Palestina do Pará	88	Santa Cruz do Arari	108	Sapucaia	128		
Paragominas	89	Santa Izabel do Pará	109	Senador José Porfírio	129		
Parauapebas	90	Santa Luzia do Pará	110	Sourê	130		
Pau D'Arco	91	Santa Maria das Barreiras	111	Tailândia	131		
Peixe-Boi	92	Santa Maria do Pará	112	Terra Alta	132		
Piçarra	93	Santana do Araguaia	113	Terra Santa	133		
Placas	94	Santarém	114	Tomé-Açu	134		
Ponta de Pedras	95	Santarém Novo	115	Tracuateua	135		
Portel	96	Santo Antônio do Tauá	116	Trairão	136		
Porto de Moz	97	São Caetano de Odivelas	117	Tucumã	137		
Prainha	98	São Domingos do Araguaia	118	Tucuruí	138		
Primavera	99	São Domingos do Capim	119	Ulianópolis	139		
Quatipuru	100	São Félix do Xingu	120	Uruará	140		

Figura 1: Estado do Pará e seus municípios

Fonte: Censo Demográfico 2010

Dos 8,7 milhões de habitantes no estado em 2021, 1,5 milhão (18,2%) estavam na faixa de 20 a 29 anos de idade; 1,4 milhão (16,3%) possuíam entre 30 e 39; e 1,1 milhão (12,6%), entre 40 e 49. Outros 3,0 milhões de habitantes (35%) possuíam de 0 a 19 anos e 1,5 milhão (17,7%) encontravam-se na faixa além dos 50 anos de idade (FAPESPA, 2022).

O Produto Interno Bruto (PIB) do Pará foi de 178.377 milhões de reais em 2019, ocupando a 11^a colocação entre os estados brasileiros, participando de 2,4% do PIB nacional. Além disso, o Pará foi a 4^a unidade federativa brasileira com maior montante proveniente de exportações no ano de 2021, somando 20,6 bilhões de dólares, estando atrás apenas de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (FAPESPA, 2022).

Em 2019, o Estado do Pará obteve o melhor resultado entre todas as unidades da federação em relação ao saldo da balança comercial, ocupando a primeira colocação, com 19,4 bilhões de dólares. Em relação ao número de empregos formais, é a unidade federativa com mais postos ocupados no setor de serviços, cerca de 641 mil, seguido do comércio (208 mil), indústria (117 mil), construção civil (63 mil) e agropecuária (49 mil) (FAPESPA, 2020).

Segundo dados da pesquisa de Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS), para o ano de 2019, o Pará ocupava o primeiro lugar no extrativismo de madeira com 3.761.760 m³ produzidos. Além disso, outra atividade que se destaca no Pará é a mineração. Inclusive, foi a unidade federativa que mais arrecadou recursos via Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM) nos anos de 2019 e 2020 (ANM, 2020a). Também é o segundo estado com maior quantidade de produção mineral bruta e beneficiada em 2020, só ficando atrás de Minas Gerais, conforme dados evidenciados no Anuário Mineral Brasileiro (ANM, 2020b).

Conforme dados apresentados no Anuário Estatístico do Pará (2020), elaborado pela Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa), em 2019, o Estado tinha 70 Unidades de Conservação (UC), sendo: 7 UC federais de proteção integral, com 60 mil km² de área e 56 mil km² de área florestada; 41 UC federais de uso sustentável, ocupando 134 mil km², com 120 mil km² de área florestada; 7 UC estaduais de proteção integral, com 54 mil km² de área e 47 mil km² de área florestada; e 15 UC estaduais de uso sustentável, que somam 162 mil km², com 114 mil km² de área florestada. Ao todo, as UCs ocupam uma área maior que 412 mil km² na unidade federativa em questão, somando juntas 339 mil km² de áreas florestadas nesses territórios demarcados. Além disso, também existem 42 terras indígenas, que ocupam 275 mil km² do Estado. As áreas de florestas ocupam 87,3% desses territórios, chegando a 240 mil km². Logo, são mais de 687 mil km² demarcados para Terras Indígenas ou para Unidades de Conservação, o que evidencia um grande desafio a ser feito em relação ao monitoramento e gestão de todo esse extenso território.

METODOLOGIA

Para a realização desse trabalho foram adquiridos dados de focos de calor de 2017 a 2020 no Portal de Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais na plataforma BDQueimadas desenvolvida pelo INPE. Estes dados foram tabulados em uma planilha de modo a facilitar a análise temporal. Essa planilha contém dados fundamentais para distintas análises, como: mês, data e hora, município, bioma, estado, risco de fogo, precipitação, dias sem chuva, latitude, longitude e o satélite. Sobre esta última variável citada, vale destacar que o satélite responsável pelos registros

desse tipo de variável é o *Aqua Project Science* (AQUA), que, segundo o INPE (2021), foi projetado com intuito de monitorar uma série de fenômenos físicos que ocorrem na superfície terrestre, oferecendo dados como: umidade e temperatura atmosférica, evaporação, precipitação, temperatura na superfície do oceano, entre outras variáveis decorrentes das interações entre o continente, oceano e atmosfera.

Uma das variáveis disponibilizadas pelo BDQueimadas é o risco de fogo (RF), desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). O RF baseia-se no conceito dos “Dias de Secura” (PSE), isto é, a quantidade de dias consecutivos sem precipitação na área de interesse. Outros parâmetros também são adotados, como o tipo de vegetação e o respectivo ciclo de desfolhamento, umidade relativa mínima e temperatura máxima diária, latitude e elevação topográfica, assim como a presença de focos de calor detectados anteriormente. Deste modo, do ponto de vista meteorológico, o RF indica o risco de queima da vegetação levando em conta os fatores naturais (SETZER; SISMANOGLU; MARTINS, 2019).

Após serem organizados na planilha, estes dados foram carregados no sistema de informações geográficas e executadas as atividades apresentadas na Figura 2.



Figura 2: Etapas de análise dos focos de calor no Estado do Pará

Fonte: Elaboração própria

Após a aquisição dos dados de focos de calor no Portal de Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais do INPE foi efetuada uma análise descritiva temporal da distribuição dos registros de focos de calor entre os anos de 2017 a 2020, identificando os períodos dos anos onde houve maior incidência de focos através da observação da distribuição mensal.

Posteriormente, foi realizada uma análise espaço-temporal com o objetivo de identificar onde e como se estiveram distribuídos os registros de calor para o ano de 2017 no território paraense. Em seguida, foi identificado se esses registros de calor, como um processo pontual, ocorrem em

um padrão aleatório, regular ou de agregação espacial usando o Índice de Tamanho de *Cluster* (ICS) proposto por Bailey e Gatrell (1995).

$$ICS = \frac{\sigma^2}{\bar{x}} - 1$$

Para o ICS, um valor menor que 0 indica regularidade espacial; se próximo de zero, indica um padrão aleatório; e, se for maior que zero, um padrão de agregação espacial dos eventos pontuais. Caso seja encontrado um padrão de agregação, é utilizada uma função de densidade de *kernel* para explorar a variação da intensidade de ocorrência de eventos na região de estudo. Trata-se de um método que oferece facilidade de uso e interpretação. Segundo Leão *et al.* (2020), este método ajusta uma função bidimensional sobre os eventos considerados, formando uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de eventos por unidade de área. Cabe ressaltar que esta metodologia foi adotada para analisar espacialmente a distribuição dos focos no Estado.

Depois disso, foi efetuada uma análise em escala municipal identificando os municípios onde ocorre maior quantidade de registros de calor ao longo do tempo. Nesta etapa foi utilizada uma junção espacial para agrupar as informações pontuais de focos de calor nos polígonos dos municípios.

Por fim, para efetuar correlações espaciais com outros dados sobre o uso do território, foram efetuadas análises espaciais utilizando dados da malha fundiária do Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora). Estes dados contêm os polígonos registrados como terras públicas, terras privadas e as áreas urbanas, de corpos hídricos e/ou vias de transporte (FREITAS *et al.*, 2018).

Para realizar as análises espaciais qualitativas e quantitativas, os dados foram integrados no ambiente de sistema de informações geográficas do ArcGis Desktop, com licença acadêmica da Escola Nacional de Ciências Estatísticas. Todas as outras operações tabulares nos dados foram realizadas no Microsoft Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussão são apresentados em quatro subseções: 4.1. análise descritiva temporal dos focos de calor no Pará entre 2017 e 2020; 4.2. análise espaço-temporal dos focos de calor no Pará em 2017; 4.3. estimativa de densidade dos focos de calor ao longo dos meses de 2017; e 4.4. análise espacial dos focos de calor a nível municipal.

Análise descritiva temporal dos focos de calor no Pará entre 2017 e 2020

Com o objetivo de compreender melhor a dinâmica temporal das ocorrências dos focos de calor no período estudado, analisou-se a distribuição mensal por ano, observando todos os meses de 2017 a 2020, conforme apresentado na Figura 3. Observa-se nessa figura que o ano de 2017 obteve maior quantidade de focos de calor, com quase 50 mil registros no Estado. Os registros, apesar de não superarem a marca dos 40 mil, chegaram a 30 e 38 mil para 2019 e 2020, respectivamente. Já 2018 foi o ano com menos focos, somando 22 mil ocorrências. Ao analisar a distribuição mensal dos focos de calor considerando o valor total dos quatro anos, é evidenciado que setembro foi o mês com maior incidência, com percentual de 25,7%, seguido de agosto, com 23,2%, novembro, com 18,7%, e outubro, com 16,4%. Os outros meses somam juntos 16%, com destaque para dezembro e julho, com 7% e 6,2%, respectivamente.

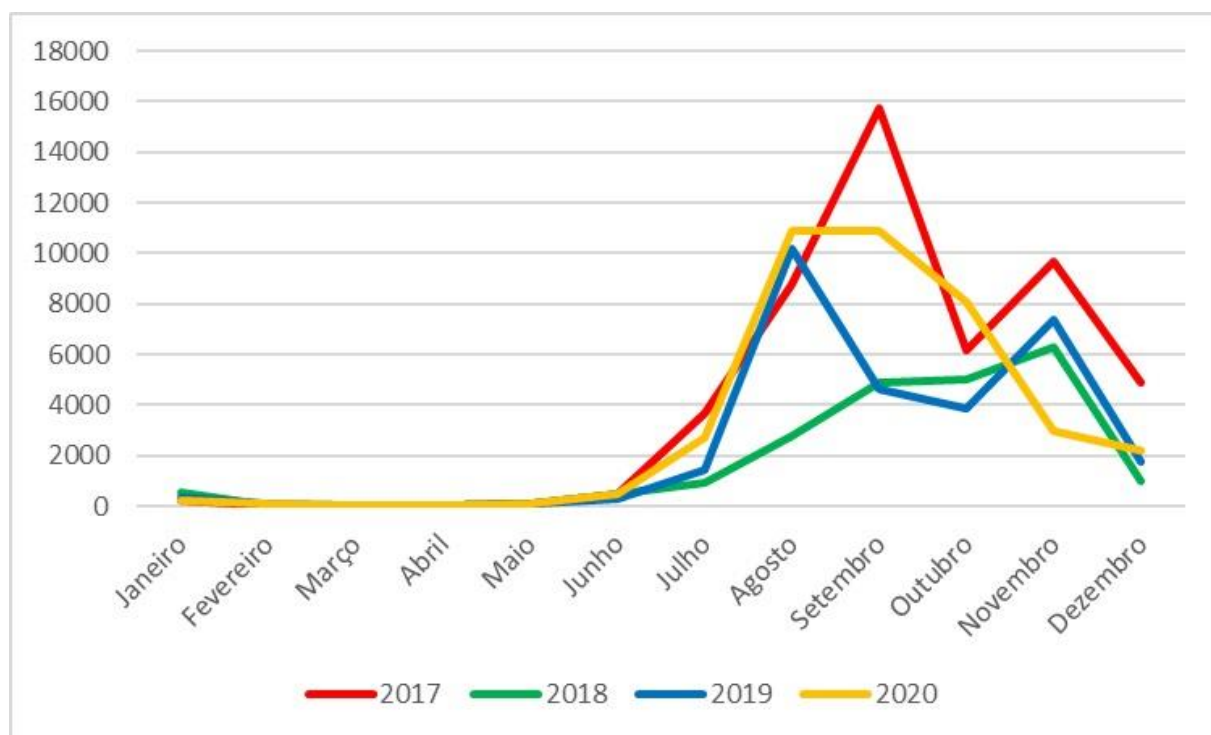


Figura 3: Incidência de focos de calor no Estado do Pará por mês durante os anos de 2017 a 2020.

Fonte: BDQueimadas.

Na Figura 3 é possível constatar ainda que os focos de calor se mantêm baixos do mês de janeiro até o início de junho, começando a crescer a partir deste mês, o que é uma característica similar para os quatro anos analisados. Entretanto, ainda na Figura 3, verifica-se que os anos de 2017 e 2020 possuem as maiores altas logo depois de junho. Em geral, é visto que a partir de julho a incidência dos focos de calor ocorre de forma mais acentuada e se mantém num patamar elevado até setembro, voltando a diminuir em outubro. Vale destacar que a ocorrência desses registros ao longo dos meses pode ser explicada por conta do regime de chuvas na região.

O período de chuvas ou forte atividade convectiva na região Amazônica é compreendido entre novembro e março, sendo que o período de seca (sem grande atividade convectiva) é entre os meses de maio e setembro. Os meses de abril e outubro são meses de transição entre um regime e outro. A distribuição de chuva no trimestre Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF) apresenta uma região de precipitação alta (superior a 900 mm) situada na parte oeste e central da Amazônia, em conexão com a posição geográfica da Alta da Bolívia. Por outro lado, no trimestre Junho-Julho-Agosto (JJA), o centro de máxima precipitação desloca-se para o norte e situa-se sobre a América Central. A região Amazônica, principalmente na parte central, está sobre o domínio do ramo descendente da Célula de Hadley, induzindo um período de seca bem característico. (FISCH *et al.*, 1998, p. 104)

Deste modo, é possível observar que existe um período do ano em que há maior predomínio de ocorrências, coincidindo com o período de estiagem característico da região, que vai de maio a setembro, sendo um mês antes e um mês depois de transição entre as estações seca e chuvosa. Entretanto, ressalta-se que em novembro os registros voltam a aumentar em três dos quatro anos analisados, característica que foge do padrão visto acima. Contudo, logo no mês seguinte o número de focos voltou a decrescer, provavelmente por conta de dezembro marcar começo do período de tradicional de maior atividade convectiva na região.

É visto também que os anos com mais registros são o primeiro e o último da escala de análise, isto é, 2017, com cerca de 50 mil, e 2020, com 38 mil. Neste sentido, optou-se por trabalhar apenas com 2017, para realizar análises mais específicas e entender a lógica de ocorrência desses eventos no referido ano.

Análise espaço-temporal dos focos de calor no Pará em 2017

Com o intuito de compreender melhor como os focos de calor ocorreram em 2017, os registros desse ano foram selecionados e filtrados por mês para a produção de mapas que representam as ocorrências dos eventos de modo espacial e temporalmente. A Figura 4 mostra a distribuição espacial dos focos de calor no Pará ao longo desses meses.

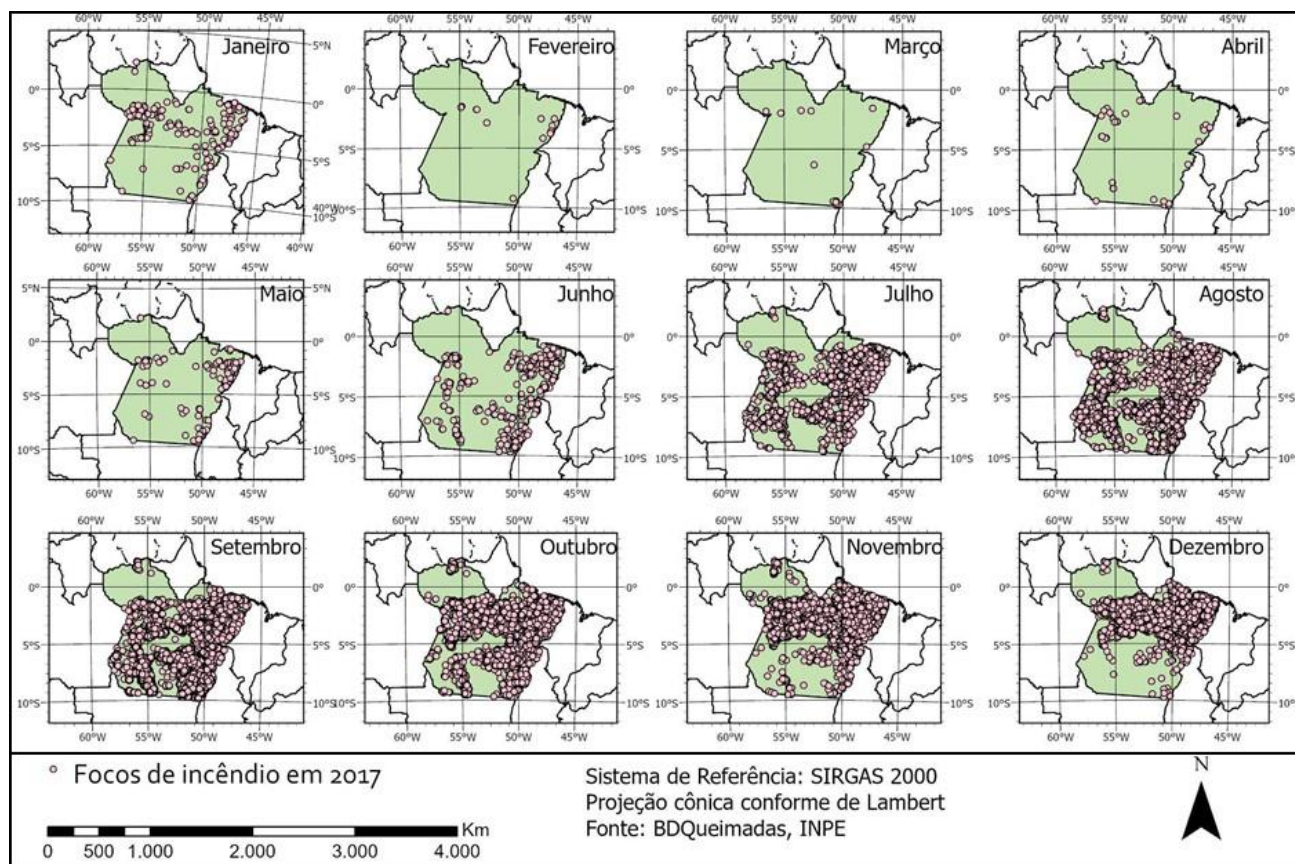


Figura 4: Distribuição dos focos de calor no Estado do Pará por meses em 2017.

Fonte: BDQueimadas.

É possível observar que há uma grande discrepância temporal nas ocorrências, havendo maior concentração a partir do mês de julho até dezembro, período em que aconteceram 98,2% dos focos no ano, e menor concentração entre janeiro e junho, período em que apenas 1,8% do total de focos no ano ocorreram. Fato que já era esperado, pois, anteriormente, foi visto que há épocas do ano em que, em geral, os períodos de chuvas na região são bem definidos, o que influencia em mais ou menos ocorrências dos focos de calor no Estado. A Figura 4 também evidencia que há partes do Estado que possuem: i) focos praticamente o ano inteiro, como as porções nordeste e sudeste, onde provavelmente há mais áreas antrópicas; e ii) outras que não possuem registros, como as partes noroeste e algumas regiões da porção central e sul, possivelmente por serem porções de terra com uma maior área florestada, conforme ilustrado nos mapas da Figura 5, de cobertura da terra, e da Figura 6, de Terras Indígenas e Unidades de Conservação.

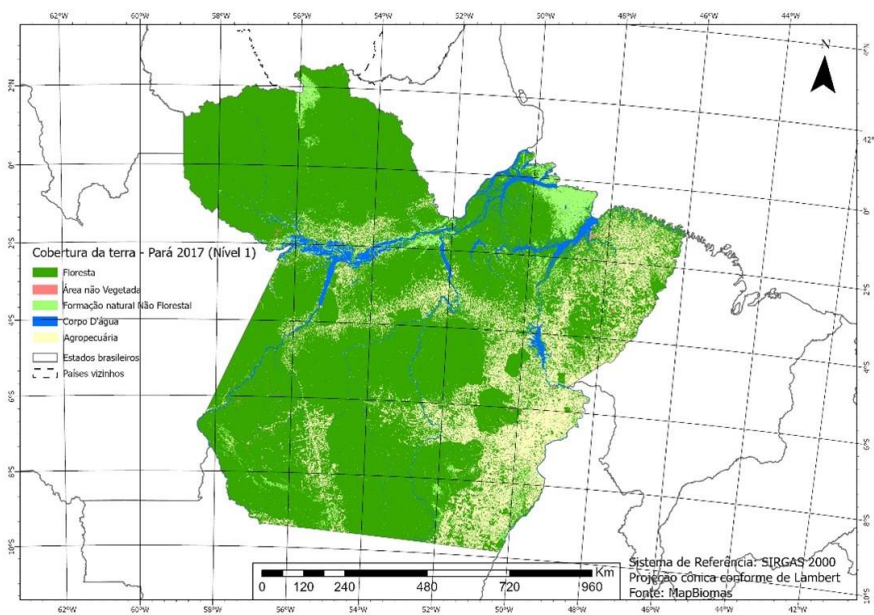


Figura 5 – Mapa de cobertura da terra do Estado do Pará para 2017.

Fonte: MapBiomias,

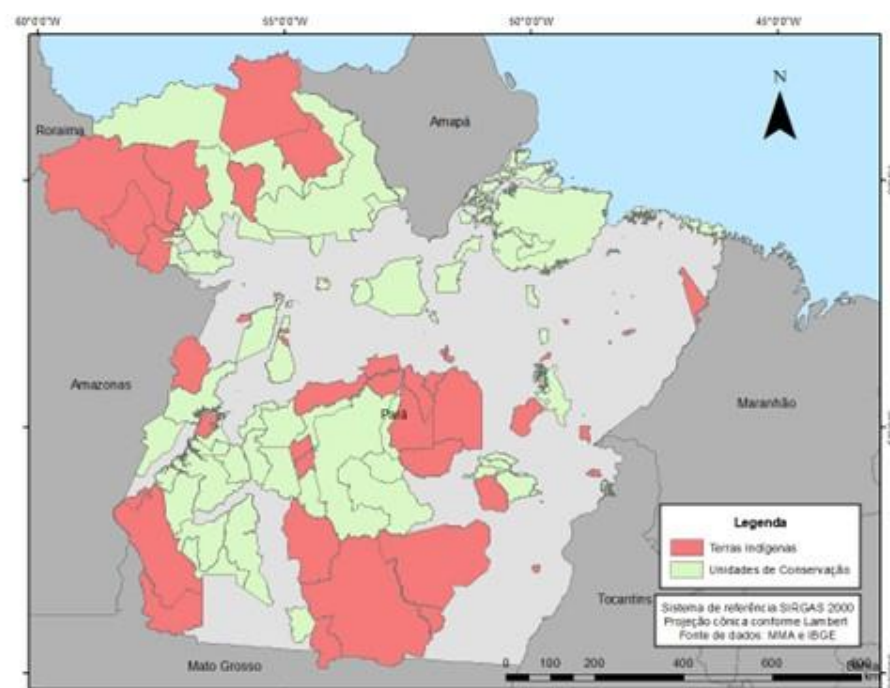


Figura 6 – Terras Indígenas e Unidades de Conservação no Estado do Pará.

Fonte: MMA e IBGE.

Analisando essas ocorrências mensais a nível municipal, conforme apresentado no Quadro 1, identifica-se os cinco, os dez e os quinze municípios com maior quantidade de focos de calor em cada um dos meses de 2017, assim como sua proporção em relação ao total.

Quadro 1: Municípios do Estado do Pará com maiores percentuais de ocorrência de focos de calor mensal ao longo de 2017.

Janeiro		Fevereiro		Março	
Município	%	Município	%	Município	%
OBIDOS	7,0%	PARAGOMINAS	21,4%	SANTANA DO ARAGUAIA	50%
PARAGOMINAS	6,1%	ULIANOPOLIS	21,4%	OBIDOS	11,1%
RUIPOLIS	4,7%	PRAINHA	14,3%	RONDON DO PARA	11,1%
MONTE ALEGRE	4,2%	ALENQUER	14,3%	PRAINHA	5,6%
JURUTI	3,8%	SANTANA DO ARAGUAIA	7,1%	SAO FELIX DO XINGU	5,6%
Percentual 5	25,8%	Percentual 5	78,6%	Percentual 5	83,3%
Percentual 10	41,8%	Percentual 10	100%	Percentual 10	100%
Percentual 15	54,5%	Percentual 15	100%	Percentual 15	100%
Abril		Mai		Junho	
Município	%	Município	%	Município	%
SANTANA DO ARAGUAIA	16,7%	SANTANA DO ARAGUAIA	12,4%	PARAGOMINAS	6%
PARAGOMINAS	14,3%	PARAGOMINAS	10,7%	MOJU	5,8%
ALMEIRIM	14,3%	SANTA MARIA DAS BARREIRAS	9,1%	SAO FELIX DO XINGU	4,5%
ALTAMIRA	7,1%	MONTE ALEGRE	5,0%	OBIDOS	4,3%
AVEIRO	7,1%	OBIDOS	4,1%	SANTANA DO ARAGUAIA	4,1%
Percentual 5	59,5%	Percentual 5	41,3%	Percentual 5	24,7%
Percentual 10	78,6%	Percentual 10	59,5%	Percentual 10	43%
Percentual 15	90,5%	Percentual 15	71,1%	Percentual 15	58%
Julho		Agosto		Setembro	
Município	%	Município	%	Município	%
SAO FELIX DO XINGU	17,5%	SAO FELIX DO XINGU	23,5%	SAO FELIX DO XINGU	22,7%
ALTAMIRA	17,2%	ALTAMIRA	17,9%	ALTAMIRA	11,6%
ITAITUBA	4,5%	NOVO PROGRESSO	11%	NOVO PROGRESSO	6,4%
MOJU	3,9%	ITAITUBA	7,4%	CUMARU DO NORTE	6,3%
TRAIRO	3,7%	TRAIRO	4,4%	SANTA MARIA DAS BARREIRAS	5,5%
Percentual 5	46,8%	Percentual 5	64,2%	Percentual 5	52,5%
Percentual 10	59,9%	Percentual 10	75,3%	Percentual 10	68,3%
Percentual 15	66,8%	Percentual 15	80,7%	Percentual 15	75,1%
Outubro		Novembro		Dezembro	
Município	%	Município	%	Município	%
PACAJA	6,1%	PORTEL	7%	PRAINHA	5,6%
SAO FELIX DO XINGU	5,6%	PACAJA	5,6%	SANTAREM	4,8%
ALTAMIRA	4,7%	MOJU	5%	PORTEL	4,1%
PORTEL	4,7%	SANTAREM	3,8%	PORTO DE MOZ	3,9%
PLACAS	4,2%	ACARA	3,7%	ALMEIRIM	3,9%
Percentual 5	25,3%	Percentual 5	25,1%	Percentual 5	22,2%
Percentual 10	39,9%	Percentual 10	39,4%	Percentual 10	36,6%
Percentual 15	51%	Percentual 15	50,2%	Percentual 15	47,7%

Nota: "Percentual 5" refere-se aos cinco municípios com mais registros. A lógica é a mesma para "Percentual 10" e "Percentual 15".

Fonte: Elaboração própria a partir de BDQueimadas (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>)

Nos meses de fevereiro, março, abril, agosto e setembro, os cinco municípios com mais focos no mês possuem mais da metade dos focos do Estado. Nos outros sete meses do ano, o percentual dos cinco primeiros é próximo ou superior a 25%. Além disso, com exceção de dezembro, os 15 municípios com maior número de registros mensais possuem mais de 50% dos focos do Estado, fato que mostra um maior predomínio de focos de calor em determinadas regiões do território paraense.

Conforme o Quadro 1, ao todo, 26 municípios são citados. Destes, o que mais se destaca é São Félix do Xingu, que é citado seis vezes; em seguida, Altamira, Paragominas e Santana do Araguaia, que aparecem cinco vezes; Óbidos aparece quatro vezes; Moju, Portel e Prainha aparecem três vezes; e outros 18 municípios aparecem de duas a apenas uma vez no *ranking* dos cinco municípios com maior número de focos de calor no estado em 2017.

Levando essa dinâmica em consideração, para compreender melhor a intensidade das ocorrências em escala municipal ao longo do ano, identificaram-se os municípios que apresentaram maior quantidade de focos. Neste sentido, a Figura 7 mostra os 10 municípios do Estado com maior somatório de registros de focos de calor. É válido destacar que somente nesses municípios ocorreram quase metade dos focos de calor do Estado em 2017, cerca de 45,3%.

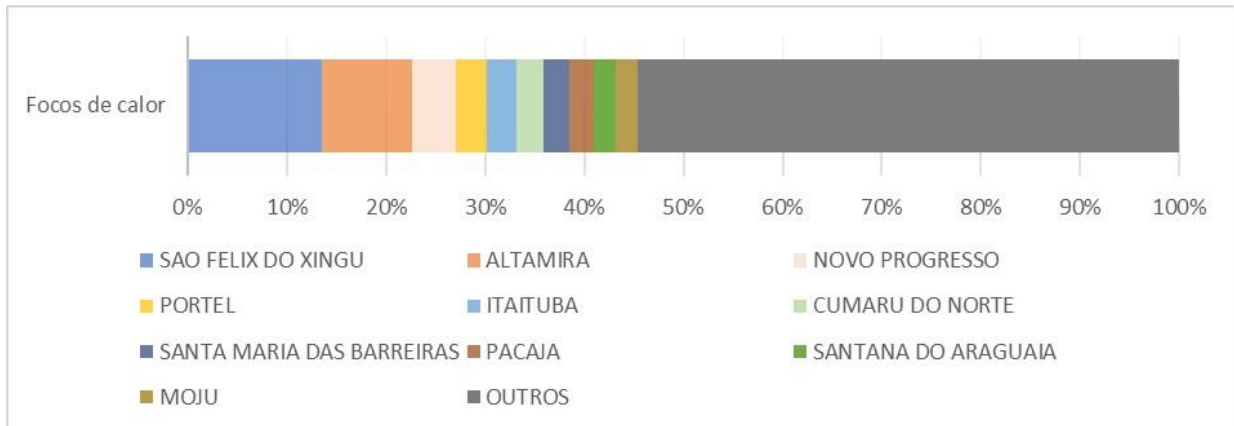


Figura 7: Os dez municípios com maior número de focos de calor no Estado do Pará em 2017.

Fonte: Elaboração própria a partir de BDQueimadas.

Dos 10 municípios listados, é possível observar que apenas dois possuem mais de 20% das ocorrências: São Félix do Xingu e Altamira, que somam juntos 11.252 focos de calor, sendo que no primeiro foram identificados 6.750 focos, enquanto no segundo, 4.502 focos. Em seguida, o terceiro município com maior quantidade de registros é Novo Progresso, com 2.205, cerca de 4,4% do total. Portel e Itaituba apresentam pouco mais de 1.500 focos em cada, o que representa 3,1% do total. Cumaru do Norte, Santa Maria das Barreiras, Pacajá, Santana do Araguaia e Moju somam cerca de 6 mil focos, representando 12,1% do total para o estado do Pará em 2017.

O que chama atenção é que, além de aparecer seis vezes no *ranking* dos cinco municípios com maior quantidade de focos de calor mensais, o município de São Félix do Xingu também lidera no quantitativo total, isto é, além de muitos registros ao todo, os mesmos também ocorrem com regularidade entre os meses. Por sua vez, o município de Altamira também se destaca negativamente pelo mesmo motivo: a quantidade e a regularidade dos focos de calor ao longo dos meses. Com o intuito de entender melhor essas ocorrências, foi elaborado o gráfico da Figura 8 para evidenciar a distribuição mensal dos focos de calor nos municípios com mais ocorrências de registros de fogo.

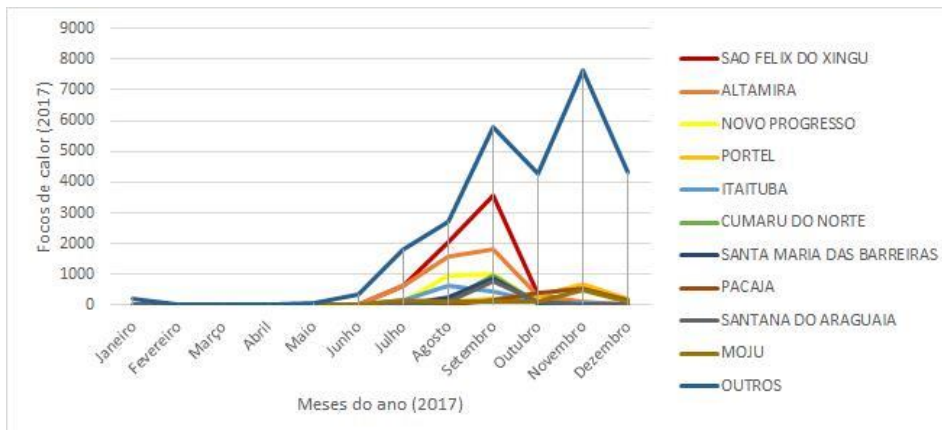


Figura 8: Distribuição mensal nos dez municípios com maior número de focos de calor no Estado do Pará em 2017.

Fonte: Elaboração própria a partir de BDQueimadas.

Na Figura 8, os municípios com maior quantidade de focos entre os 10, seguem o mesmo padrão visto anteriormente: os registros de queimada aumentando a partir de junho, diminuindo a partir de setembro e, em determinados casos, voltando a crescer levemente em novembro para regredir logo em seguida, como os municípios de Portel, Moju e Pacajá. Contudo, quando se considera os outros municípios além dos 10 com maior número de focos de calor – destacados no gráfico como “Outros” – é interessante destacar que o acumulado dos registros é maior, especialmente no mês de novembro, o que destoa do padrão visto até então.

Estimativa de densidade dos focos de calor ao longo dos meses de 2017

A verificação do padrão do processo pontual dos eventos de focos de calor no Pará para o ano de 2017, feita por meio da ferramenta *Average Nearest Neighbor*, no ArcGIS Desktop, mediu a distância entre cada ponto e seus respectivos vizinhos mais próximos de forma a determinar o tipo do padrão de agregação. Assim, foi identificado um padrão de agregação com significância de 99,9%, conforme apresentado na Figura 9. Logo, é possível afirmar que existe um agrupamento evidente dos pontos, e, deste modo, sendo pouco provável que o padrão de agrupamento dos registros de queimadas seja resultado de uma probabilidade aleatória.

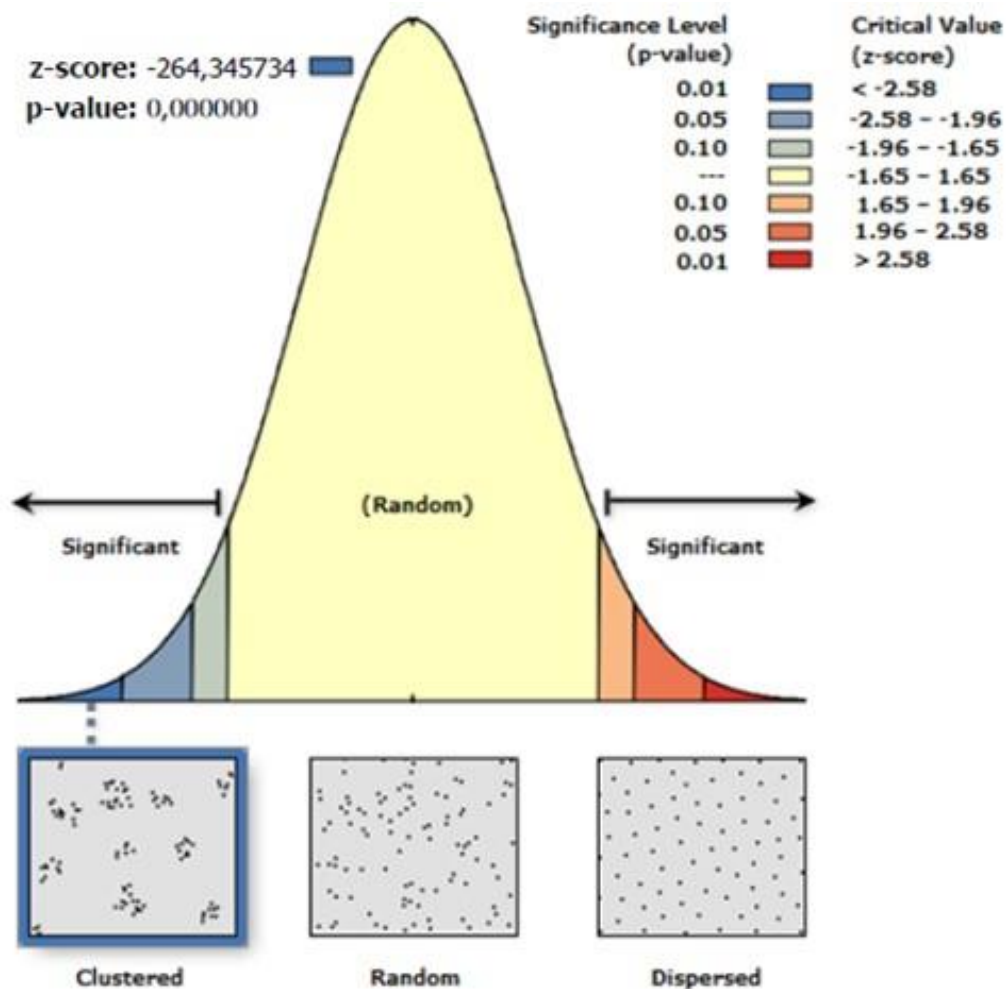


Figura 9 - Resultado do *Average Nearest Neighbor* para os focos de calor de 2017 no Estado do Pará.

Fonte: Criada no ArcGIS pelos autores.

Os mapas de densidade de *kernel* para cada mês do ano estão apresentados na Figura 10. Os parâmetros utilizados na estimativa de densidade *kernel* foram: i) tamanho de célula de 5821,51, que corresponde à extensão da área do estado do Pará na diagonal dividida por 250; e ii) raio de pesquisa de 50.000 m para todos os meses.

Na análise espaço-temporal em 2017 foi elaborada uma representação para todos os meses utilizando seis classes com os valores inseridos de forma manual, considerando o valor máximo e mínimo ao longo do ano para estimativa de densidade *kernel*. Essa representação evita a impressão

equivocada promovida por cada mapa mensal representar seu intervalo de classes de que houve muitos focos no território em determinado mês.

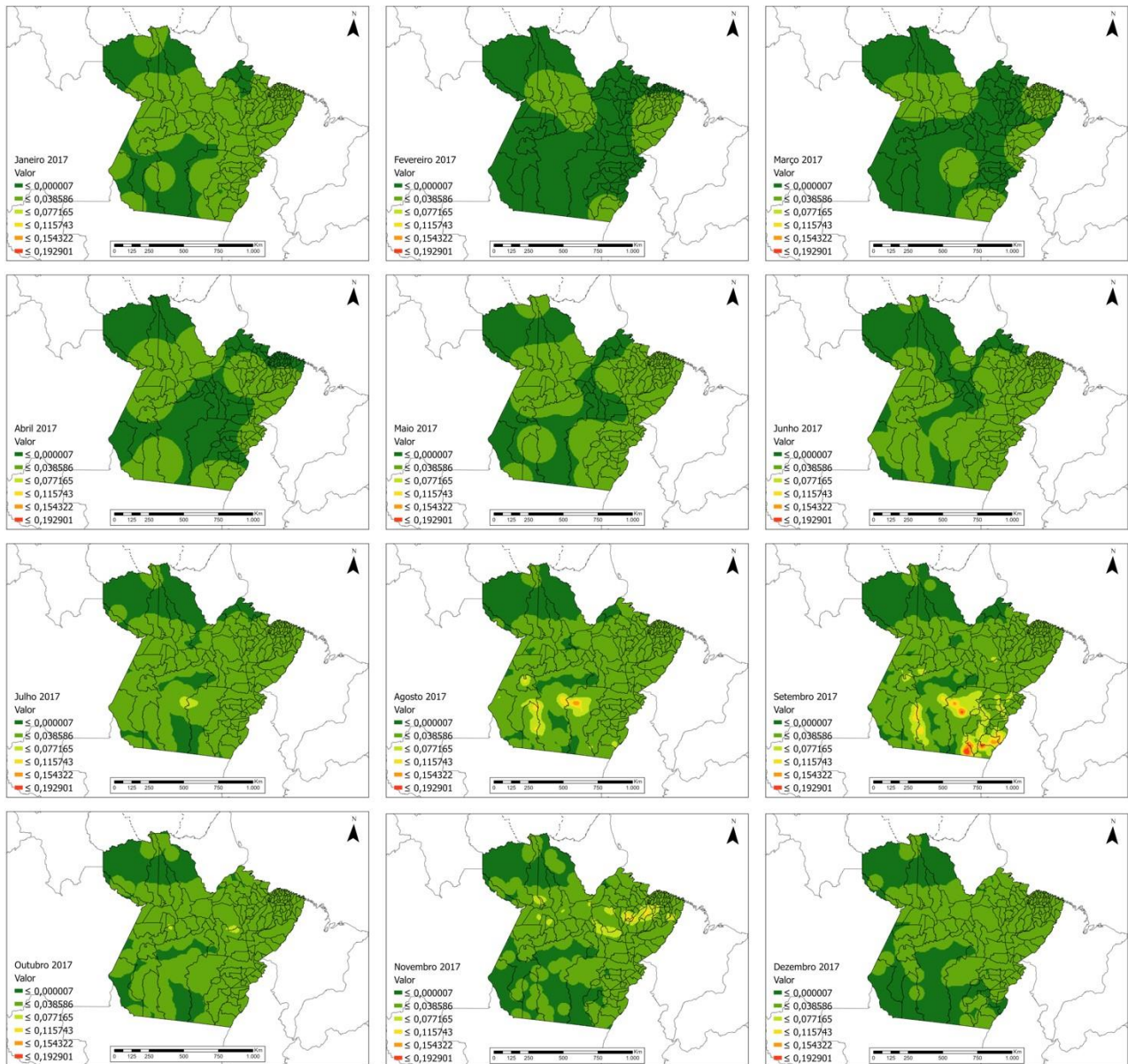


Figura 10 - Densidade de *kernel* para os focos de calor em todos os meses de 2017 no Estado do Pará.

Fonte: Elaboração própria.

Sendo assim, a Figura 10 mostra que de janeiro a junho de 2017 não há alta densidade de focos no território paraense – representadas pelas classes de estimativa de densidade *kernel* em

tons de amarelo, laranja e vermelho. Estas classes estão presentes também ao longo de todo ano evidenciando a presença dos focos de calor em todo o território, porém em menor densidade.

Vale destacar que os de fevereiro e março chamam a atenção neste sentido, pois apesar de haver poucas partes do território em tom de verde mais claro e poucos registros de focos de calor em comparação com outros meses de maior incidência, estes foram os meses em que houve maiores concentrações de focos de calor em poucos municípios. Em suma, em apenas cinco municípios houve 78,6% e 83,3% dos focos registrados nesses meses, respectivamente.

Já no mês de julho, ocorre um padrão diferenciado, pois a área de maior incidência é justamente no centro-sul do Estado, nos municípios de Altamira e São Félix do Xingu, os dois municípios com maior quantidade de focos de calor no ano de 2017 e que somam juntos 34,7% dos focos no estado para o referido mês. No mês de agosto, os focos continuam em ascensão e a área que mais se destaca nesse sentido continua sendo a porção centro-sul. Todavia, chama a atenção, no mapa desse mês, pequenos *hotspots* que vão de oeste a sudoeste, presentes, principalmente, nos municípios de Trairão, a parte leste de Itaituba e Novo Progresso, assim como a parte oeste de Altamira. Trairão, Itaituba e Novo Progresso somam juntas 22,8% de todos os focos. É interessante destacar que nesses cinco municípios ocorreram pouco mais de 64% dos focos de calor para o mês de agosto, como foi visto anteriormente.

Em setembro ocorre um padrão parecido com o do mês anterior, isto é, áreas destacadas em São Félix do Xingu, Altamira e Novo Progresso juntas somam 40,7% dos focos de calor no mês. Entretanto, também vale apontar outros focos de incidência na região sudeste do Estado, que, de oeste a leste, afetam os municípios de São Félix do Xingu (sua parte sudeste), Cumarú do Norte, Santana do Araguaia, Santa Maria das Barreiras e Conceição do Araguaia. Ressalta-se que esse é o mês com a segunda maior quantidade de focos de calor.

Outubro foi um mês que, em geral, ocorreu uma redução grande do número de focos de calor no Estado. Contudo, o mês seguinte foi o mês com maior quantidade de focos de calor para todo o ano de 2017. Foram pouco mais de 9.600. O interessante a ser destacado no mapa de novembro é a dinâmica diferente da densidade dos focos no território. Nota-se que existem áreas de maior incidência que vão desde a parte noroeste até a parte nordeste do Estado.

Por fim, o mês de dezembro é marcado por uma redução no número de focos, após uma alta no mês anterior. Além disso, é o mês em que os focos de calor são mais pulverizados, pois, como visto anteriormente, os focos de calor ocorridos nos cinco municípios com mais registros representam apenas 22,2% do total, frente a 25,1% do mês anterior.

Análise espacial dos focos de calor a nível municipal

Efetuada-se uma análise a nível municipal dos focos de calor em 2017, observa-se na Figura 11 que parte sul do Estado, onde estão Altamira e São Félix do Xingu, houve mais focos, com pouco mais de 11 mil registros. Além deles, em tons de vermelho menos intenso, porém ainda na parte sul do estado, também se destacam Itaituba e Novo Progresso, a oeste, e Cumarú do Norte e Santa Maria das Barreiras, a leste.

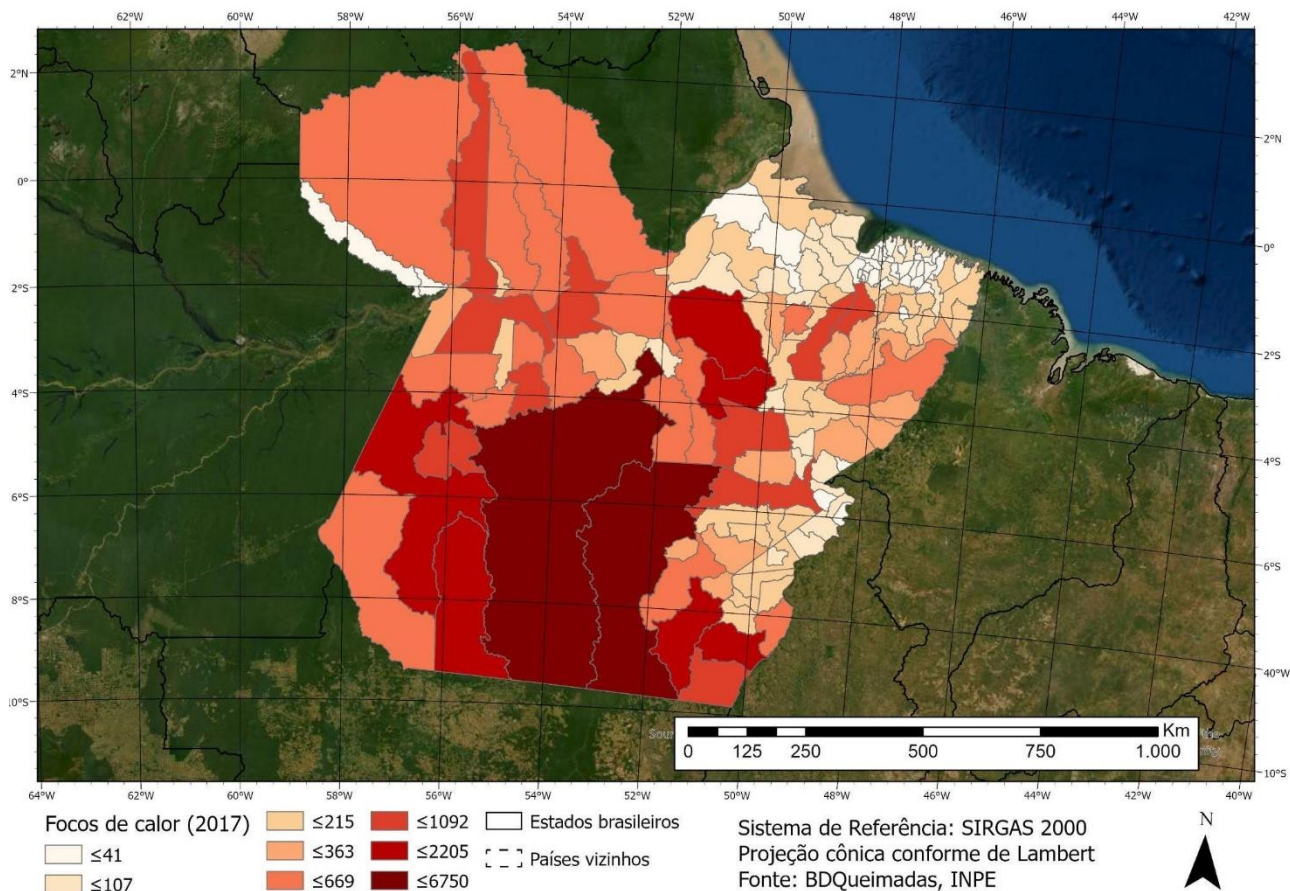


Figura 11 - Focos de calor por município do estado do Pará em 2017.

Com o intuito de analisar melhor as ocorrências de focos de calor, além da simples quantificação por município, foi utilizada a base de malha fundiária do Imaflo, que possui informações apuradas sobre o território, informando os polígonos registrados como imóveis rurais, áreas florestadas, terras indígenas, unidades de conservação, áreas urbanas, entre muitos outros. Essa base é um produto gerado a partir da compilação de diferentes bases de dados fundiários, informações que passaram por diferentes etapas, como a limpeza e análise de sobreposições, reagrupamento de polígonos descaracterizados, agregação de base de dados de diferentes camadas fundiárias, entre outras, para se chegar ao produto final utilizado no presente estudo.

Sendo assim, essa base de dados contém dois níveis de classificação. Em um primeiro nível existem três classes de mapeamento: as terras públicas; as terras privadas; e as áreas urbanas, de corpos hídricos e/ou vias de transporte. Essas classes possuem um grande nível de generalidade, considerando que as mesmas agregam muitas características distintas em apenas três classes de informação. No segundo nível, a classe de terra privada possui cinco subclasses, a classe de terra pública possui dez subclasses e a classe de áreas urbanas, corpos hídricos e vias de transporte se limitam a apenas três subclasses, sendo uma subclasse para cada elemento do nome da classe

principal. Assim, tanto as classes como as subclasses da base de malha fundiária obtida do Imaflora apresentadas no Quadro 2 são utilizadas na análise.

Apesar da simplicidade do primeiro nível de informação da base de malha fundiária do Imaflora é possível identificar que as terras públicas ocupam 68% do território da unidade federativa estudada, com pouco mais de 800 mil km² de área. Ocupando uma área um pouco menor no território, em seguida, estão as terras privadas, que ocupam, aproximadamente, 330 mil km² e estão presentes em 28% da área do estado. E, por fim, a classe de áreas urbanas, corpos hídricos e vias de transporte, que representa a menor parte da área analisada, ocupando apenas 4% do Estado, com uma área de, aproximadamente, 47 mil km² de extensão.

Quadro 2: Classes e subclasses da base da malha fundiária do Pará.

Classes e subclasses	Área (Km ²)	% relativa	% absoluta
Terra privada	330921	100%	27,9%
CAR poor	93285	28,2%	7,9%
CAR premium	66537	20,1%	5,6%
SIGEF	128489	38,8%	10,8%
Terra Legal titulado	35787	10,8%	3,0%
Terra Quilombola	6822	2,1%	0,6%
Terra pública	808099	100%	68,1%
Área militar	21943	2,7%	1,9%
Assentamento rural	125403	15,5%	10,6%
Florestas Tipo B	2254	0,3%	0,2%
SIGEF SNCI público	2993	0,4%	0,3%
Terra Indígena homologada	305599	37,8%	25,8%
Terra Indígena não homologada	3	0,0%	0,0%
Terra Legal não titulado	51558	6,4%	4,3%
Território comunitário	7024	0,9%	0,6%
UC Proteção Integral	127410	15,8%	10,7%
UC Uso Sustentável	163913	20,3%	13,8%
Urbano, água e transporte	46950	100%	4,0%
Água	41926	89,3%	3,5%
Transporte	4003	8,5%	0,3%
Urbano	1022	2,2%	0,1%
Total	1185970	100%	100%

Fonte: Fonte: Elaboração própria, com base em BDQueimadas (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>) e Imaflora.

Além disso, também se nota que, dos 330 mil km² da área que as terras privadas ocupam no território, 48,3% são classificadas como áreas de Cadastro Ambiental Rural (CAR), com polígonos de maior e menor detalhamento (CAR *poor* e CAR *premium*, isto é, polígonos com mais de 5% de sobreposição com seus vizinhos e polígonos com menos de 5% de sobreposição com seus vizinhos, respectivamente); 38,8% são limites de imóveis rurais registrados no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF); 10,8% são propriedades privadas do Programa Terra Legal; e 2,1% são terras quilombolas.

Com mais subclasses e ocupando uma porção consideravelmente maior do território, as terras públicas se dividem nas seguintes subclasses: Terras Indígenas homologadas, que ocupam 37,8% das terras públicas; em outros 36,1% encontram-se as Unidades de Conservação (UCs), sendo 15,8% de Proteção Integral e 20,3% de Uso Sustentável; 15,5% de assentamentos rurais; 6,4% de terras não destinadas do Programa Terra Legal; 2,7% de área militar; e menos de 1% nas subclasses de Territórios Comunitários (que representa os assentamentos federais e estaduais das seguintes categorias: Projeto de Assentamento Agroextrativista (PAE), Projeto de Assentamento Florestal (PAF), Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS), Projeto Estadual de Assentamento Agroextrativista (PEAX), Projeto Estadual de Assentamento Sustentável (PEAS), Projeto de Assentamento Rural Estadual (PARE) e Seringal), imóveis públicos registrados nos sistemas SIGEF/SNCI do Incra, florestas públicas federais não destinadas e Terra Indígena não homologada. Por fim, em relação aos quase 47 mil km² da classe de áreas urbanas, corpos hídricos e vias de transporte: cerca de 89% é classificada como água, 8,5% como malha de transporte e apenas 2,2% de áreas urbanas.

Em relação ao número absoluto, os polígonos da base somam, no total, quase 1,2 milhão de km². Aproximadamente um quarto dessa área é formada por polígonos de Terras Indígenas homologadas, que ocupam 25,8% da área. Seguido das Unidades de Conservação de Uso Sustentável e de Proteção Integral, que representam 13,8% e 10,7% de toda a área, respectivamente; imóveis cadastrados no SIGEF e dos assentamentos rurais, com 10,8% e 10,6%, respectivamente; dos polígonos do Cadastro Ambiental Rural, que juntos somam 13,5%, entre outras subclasses menos expressivas no território.

Uma vez realizado o reconhecimento da tabela de atributos da base construída, o próximo passo foi utilizar mais uma vez junção espacial com os arquivos vetoriais tanto da malha fundiária como dos focos de calor de 2017 para que fosse possível agregar os registros de focos de calor nos polígonos da base construída. Isto permitiu quantificar quantos focos de calor ocorrem em cada subclasse da base da malha fundiária do Imaflora, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3: Quantitativo total de focos de calor nas classes e subclasses da base da malha fundiária do Imaflora.

Classes/Subclasses	Focos de calor	% relativo	% absoluto
Terra privada	22688		51,8%
CAR poor	7257	32,0%	16,6%
CAR premium	5119	22,6%	11,7%
SIGEF	6499	28,6%	14,8%
Terra Legal titulado	3438	15,2%	7,8%
Terra Quilombola	375	1,7%	0,9%
Terra pública	20635		47,1%
Área militar	289	1,4%	0,7%
Assentamento rural	10833	52,5%	24,7%
Florestas Tipo B	167	0,8%	0,4%
SIGEF SNCI público	165	0,8%	0,4%
Terra Indígena homologada	2593	12,6%	5,9%
Terra Legal não titulado	3543	17,2%	8,1%
Território comunitário	440	2,1%	1,0%
UC Proteção Integral	714	3,5%	1,6%
UC Uso Sustentável	1891	9,2%	4,3%
Urbano, água e transporte	517		1,2%
Água	124	24,0%	0,3%
Transporte	366	70,8%	0,8%
Urbano	27	5,2%	0,1%
Total Geral	43840		100%

Fonte: Elaboração própria, com base em BDQueimadas (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>)

Destarte, no Quadro 3 é evidenciado que mais da metade dos focos de calor no estado do Pará foram identificados em terras privadas, isto é, cerca de 52% do total. Segundo Araujo *et al.* (2020), o fogo tem sido o principal instrumento de desflorestamento devido seu emprego na conversão de vegetação em pastagens e agricultura, uma vez que aumenta a absorção de luz no solo e um volume maior do tráfego de veículos nas rodovias. Desta forma, verifica-se que a maioria dos focos de calor em 2017 ocorreu em imóveis registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR), representando 54,5% do quantitativo da classe. Dentro desta classe, a subclasse com maior número de focos correspondeu às áreas registradas no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), representando 15%. Isso comprova a necessidade de políticas públicas que visem à conscientização de agricultores familiares e a necessidade de assistência técnica a agricultores no estado do Pará. Já nas terras públicas ocorreram 20.635 focos de calor, o que representa 47,1% das ocorrências em todo o Estado. Dessas, mais da metade ocorreram em polígonos de assentamentos rurais, o que destoa muito quando se observa as outras subclasses desse grupo. Por fim, porém não menos importante, na classe de corpos hídricos, áreas urbanas e vias de

transporte ocorreram 1,2% do total de focos de calor registrados no Estado, com a maioria identificada em áreas relacionadas ao transporte.

Chama a atenção o fato de haver uma quantidade relevante de focos de calor identificados em polígonos da subclasse do mapeamento que representa a água. O que poderia justificar as ocorrências nessas áreas seria a proximidade dos focos de calor tanto com polígonos da subclasse água como com outros polígonos que representam outras classes, por exemplo, vias de transporte. Isso ocorre devido à resolução espacial de 1 km do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) do satélite AQUA, usado para a identificação das classes de vegetação (SETZER; SISMANOGLU; MARTINS, 2019). Vale lembrar que os polígonos de água representam 89,3% da classe de água, transporte e urbano, ocupando 42 mil km² no território, frente a 4 mil km² das vias de transporte e mil km² das áreas urbana. Todavia, os focos de calor foram, majoritariamente, identificados nas áreas com vias de transporte, o que indica que esse erro de focos de calor identificados em polígonos de água não é relevante.

Quanto ao número absoluto, isto é, o quanto os registros de focos de calor dentro das subclasses representam em relação ao todo, é possível observar que mais da metade dos focos no Estado ocorreram em áreas identificadas no Cadastro Ambiental Rural (terras privadas) e em áreas de assentamentos rurais (terras públicas), com 28,2% e 24,7%, respectivamente. Aproximadamente 15% do quantitativo total de registros de focos de calor encontram-se nos limites de imóveis rurais registrados no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF). Isso vai ao encontro do estudo de Sales *et al.* (2019), realizado no município de Paragominas, no qual foi constatado que boa parte dos incêndios ocorrem próximos aos assentamentos agrícolas, pressionando, assim, os remanescentes florestais.

Além dessas áreas, entre 5% e 10% dos focos, estão os polígonos de terras legais não tituladas, terras legais tituladas e Terras Indígenas homologadas. Entretanto, mesmo representando menos de 5% em relação ao número total de focos de calor, chama a atenção o fato de 4,3% terem ocorrido em Unidades de Conservação (UCs) de uso sustentável e outros 1,6% terem ocorrido em UCs de proteção integral, somando juntos pouco mais de 2.600 registros de calor nessas áreas, cerca de 5,9% do total do Estado. Este baixo percentual dos focos de calor nas subclasses de UCs e em florestas permite inferir que estas áreas desempenham sua função de preservação.

Por fim, avaliando a quantidade de ocorrências dentro das subclasses em relação à área das mesmas, obtém-se o Quadro 4, que possibilita observar alguns aspectos antes não identificados, como o fato das áreas do programa Terra Legal, que são porções do território em que já há a posse legítima da terra, terem tido a maior quantidade de focos por área, chegando a 0,096 registros por km². Os polígonos da malha de transporte também chamam a atenção ao ser a segunda subclasse com maior quantidade de focos por área, chegando a 0,091 focos de calor por km², fato que pode indicar uma relação clara com rodovias e ferrovias e a presença mais intensa do fogo, principalmente ao considerar que essa é uma das subclasses menos presentes no mapeamento, ocupando apenas 4 mil km² de área, mas, mesmo assim, obteve um número alto no indicador observado.

Quadro 4: Focos de calor em relação a área das subclasses da base da malha fundiária do Imaflora no Pará.

Classes	Subclasses	Focos de calor	Área (Km²)	Área (m²)	Focos/Km²
Terra privada	Terra Legal titulado	3438	35787	35787485155	0,096
Urbano, água e transporte	Transporte	366	4003	4002527703	0,091
Terra pública	Assentamento rural	10833	125403	125402516000	0,086
Terra privada	CAR poor	7257	93285	93284579140	0,078
Terra privada	CAR premium	5119	66537	66537448195	0,077
Terra pública	Florestas Tipo B	167	2254	2253808417	0,074
Terra pública	Terra Legal não titulado	3543	51558	51557793494	0,069
Terra pública	Território comunitário	440	7024	7023796368	0,063
Terra pública	SIGEF SNCI público	165	2993	2993099828	0,055
Terra privada	Terra Quilombola	375	6822	6822474506	0,055
Terra privada	SIGEF	6499	128489	128489103976	0,051
Urbano, água e transporte	Urbano	27	1022	1021962178	0,026
Terra pública	Área militar	289	21943	21942530910	0,013
Terra pública	UC Uso Sustentável	1891	163913	163913144054	0,012
Terra pública	Terra Indígena homologada	2593	305599	305599448097	0,008
Terra pública	UC Proteção Integral	714	127410	127409998273	0,006
Urbano, água e transporte	Água	124	41926	41925796929	0,003

Fonte: Elaboração própria, com base em BDQueimadas (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>) e Imaflora.

Outro ponto que chama a atenção são as áreas de assentamentos rurais, que apresentam maior quantidade de ocorrências de fogo e chega a 0,086 focos por km², terceiro maior valor da lista. Quando se observam os registros pela área, nota-se que a incidência desses focos foi ainda maior nas terras legais tituladas e nos polígonos de vias de transporte, ambos passando de 0,09 focos por km². Os polígonos cadastrados no Cadastro Ambiental Rural aparecem logo em seguida, na casa dos 0,07 focos por km², sendo mais uma porção de terra privada a ficar entre cinco subclasses com maior quantidade de registros de fogo por área.

Contudo, o que mais chama atenção é a classe das florestas tipo B aparecer, praticamente, com o mesmo resultado do indicador para a subclasse que representa os polígonos cadastrados no CAR, o que indica uma forte pressão antrópica dentro desses ambientes, principalmente ao se considerar o pouco espaço que essa classe ocupa no território, de apenas 2.254 km² frente a quase 160 mil km² das áreas cadastradas do CAR. As áreas arrecadadas pelo programa Terra Legal que ainda não foram tituladas, da subclasse “Terra Legal não titulada”, apareceram logo em seguida, também com uma quantidade relevante de focos por área, junto com os territórios comunitários, com 0,063 e 0,069 focos por km², respectivamente. Na casa dos 0,05 focos por km² aparecem as subclasses dos imóveis públicos registrados nos sistemas SIGEF/SNCI do Inra (terra pública), as terras quilombolas e os limites de imóveis rurais registrados no SIGEF (terra privada). Além desses, outros resultados menos expressivos também são observados, como os casos das UCs e Terras Indígenas homologadas, que apresentam um valor consideravelmente menor do que para outras subclasses das terras públicas.

CONCLUSÕES

Ao analisar os focos de calor de 2017, inicialmente foi identificado um padrão de agregação espacial e na distribuição temporal dos focos, que, em geral, respeita o período de chuvas da região, que se dá entre novembro e março, mas com maior incidência entre os meses de dezembro a fevereiro. De forma geral, a distribuição temporal dos focos de calor respeita essa lógica, pois ocorrem, preferencialmente, no período de estiagem no estado do Pará, que vai de agosto a setembro (LOPES *et al.*, 2017; SALES *et al.*, 2019). O ápice dos focos em 2017 ocorreu justamente no mês de setembro. Dentre os 10 municípios com maior número de focos, sete estão mais ao sul do Estado, enquanto outros três encontram-se na parte mais ao norte. É interessante destacar que deste conjunto, os sete municípios do sul paraense tiveram seu ápice de queimadas no mês de setembro, enquanto os outros três municípios mais ao norte tiveram seu ápice em novembro.

Ao realizar as sobreposições da base de malha fundiária do Imaflores com os focos de calor, foi visto que no estado do Pará, em geral, a maioria dos focos de calor ocorreram em terras privadas, sobretudo em polígonos cadastrados na base do CAR e do SIGEF, e em menor abrangência nas áreas tituladas do programa Terra Legal. Isso demonstra que as áreas em processo de antropização são aquelas mais suscetíveis à ocorrência de focos de queimadas.

Já sobre os registros dentro de terras públicas, se destacam, principalmente, as áreas de assentamentos rurais, onde ocorreram um pouco mais da metade de todos os focos das terras públicas, seguido das áreas não tituladas do programa Terra Legal. Estas áreas fazem parte do programa que visa regularizar terras públicas por meio de destinação de terras e da emissão de títulos para pequenos agricultores, com intuito de alcançar um melhor aprimoramento da governança das terras públicas da Amazônia, sejam elas federais ou estaduais. Contudo, ao verificar que foi justamente nessas terras em que ocorreu maior quantidade de focos de calor por km², entre todas as outras subclasses, identifica-se, então, a necessidade de governança desses territórios, que passa por maior monitoramento e controle por parte do poder público, mesmo sendo áreas privadas.

Outro ponto a ser destacado nesse sentido foram os polígonos de áreas relacionadas com transporte, que também tiveram um alto grau de registros de queimada por km², mesmo sendo uma das subclasses de menor expressão territorial. Tal fato pode indicar eventos de focos de calor relacionados ao tráfego de veículos nas rodovias. Os assentamentos rurais também se destacam por conta da presença de focos de calor por km², ocupando a 3^a colocação entre as classes. Esses polígonos ocupam, aproximadamente, 10,6% do território paraense e foi justamente nessas áreas que ocorreram mais da metade dos registros de queimadas das terras públicas, chegando a quase 11 mil focos de calor. As florestas do tipo B são pouco expressivas no território, contudo, apresentaram resultados bem próximos das áreas cadastradas no CAR em relação à quantidade de focos por km², sendo a 6^a subclasse com maior valor. Esse fato indica a falta de controle do poder público em relação às florestas arrecadadas, porém ainda não destinadas.

As Unidades de Conservação de Uso Sustentável e de Proteção Integral, que compreendem quase um quarto do território, apresentaram, aproximadamente, 6% dos focos de calor do Estado, cerca de 2.600 registros de queimadas. Entretanto, apesar de representar apenas uma pequena parte dos focos, trata-se de um número preocupante ao considerar que essas são áreas que deveriam ser, teoricamente, protegidas por parte do poder público, uma vez que desempenham sua

função de preservação e conservação da biodiversidade local. Logo, isso indica uma falha tanto no monitoramento como no controle dessas áreas.

Por fim, São Félix do Xingu e Altamira foram os dois municípios com maior quantidade de focos de calor no ano estudado. Porém, quando se analisou os dados a nível municipal, foi possível observar que a maioria dos focos de calor em Altamira ocorreram em terras públicas, sendo que 20% desse quantitativo foi identificado em áreas de UCs de Proteção Integral. Além disso, ao considerar no somatório os focos registrados tanto em UCs de Uso Sustentável como em Terras Indígenas homologadas, o percentual chega a 38% dos focos das terras públicas ocorrendo nessas áreas. São Félix do Xingu, o município com maior quantidade de focos no ano, apresentou uma dinâmica um pouco diferente, pois 70% dos registros de queimadas ocorreram em terras privadas, sobretudo em áreas de CAR e SIGEF. Entretanto, focos de calor dentro das terras públicas foram identificados, principalmente, em áreas de assentamentos rurais (45%) e Terras Indígenas homologadas (42%).

Dito isso, a superação dessa realidade de diversos focos de calor atingindo áreas públicas protegidas, além da grande quantidade de ocorrências mesmo em áreas privadas, passa pelo fortalecimento de órgãos de pesquisa capazes de monitorar em tempo real o território, pois é dessa forma que se geram insumos, isto é, dados e informações básicas para planejamento de ações e políticas públicas por parte do governo. Isso deve ser feito com corpo técnico qualificado, remuneração decente, repasse de verbas recorrente, mas, sobretudo, com vontade política para atuar com responsabilidade ambiental visando a justiça climática.

Devido à grande extensão do Pará, é difícil monitorar a ocorrência de focos de calor a nível estadual. Desta forma, deve-se investir na gestão municipal, de modo a intensificar políticas públicas em educação para prevenção e combate ao fogo, conscientizar agricultores familiares sobre o uso do fogo, bem como fomentar técnicas alternativas de manejo das culturas, garantir assistência técnica e implementar ações de fiscalização mais robusta.

Finalizando, cabe ressaltar que os dados de focos de calor e queimadas do Programa Queimadas e Incêndios Florestais, disseminados pelo INPE, são relevantes para a elaboração de estratégias de prevenção e combate aos incêndios no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Brasileiro**. 2020b. Disponível em: <https://dados.gov.br/dataset/anuario-mineral-brasileiro-amb>. Acesso em 10 de fevereiro de 2022.

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Arrecadação por UF a partir de 2004**, 2020a. Disponível em: https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem.aspx. Acesso em 08 de junho de 2021.

ARAÚJO, L. O.; CUNHA NETO, E. M.; MELO, M. R. S.; SANTOS, N. F. A.; BORGES, L. S. **Ação antrópica na incidência dos focos de calor na Microrregião de Paragominas, Estado do Pará, Norte do Brasil**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental Sustentável [online]. 2020, vol. 7, n. 17, p. 1153-1164. ISSN 2359-1412. DOI: 10.21438/rbgas(2020)071708

BAILEY, T.; GATRELL, A. **Interactive spatial data analysis**. Essex: Longman Scientific & Technical, 1995.

CARVALHO, C. **Brasil termina 2017 com número recorde de queimadas desde 1999**. O Globo, Brasil, 18 dez. 2017. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/brasil-termina-2017-com-numero-recorde-de-queimadas-desde-1999-22204556>. Acesso em: 06 de junho de 2021.

FAPESPA. **Anuário Estatístico do Pará 2021**. Disponível em: <https://www.fapespa.pa.gov.br/sistemas/anuario2021/>. Acesso em 10 de fevereiro de 2022.

FEARNSIDE, P. M. (ed.). **Destrução e Conservação da Floresta Amazônica**, Vol. 1. Editora do INPA, Manaus, 2020 (prova), 368 p. (no prelo).

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia**. Acta Amazônica [online]. 1998, v. 28, n. 2, pp. 101. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>. Acesso em 10 de fevereiro de 2022.

FREITAS, F. L. M.; GUIDOTTI, V.; SPAROVEK, G.; HAMAMURA, C. **Nota técnica: Malha fundiária do Brasil**, v.1812. In: Atlas - A Geografia da Agropecuária Brasileira, 2018. Disponível em: www.imaflora.org/atlasagropecuaria.

GABARDO, G.; SARZEDAS, C. G.; SILVA, H. L. **Queimadas na Amazônia brasileira: Brasil em chamas**. In: SALES, Reinaldo Eduardo da Silva (Org.). A Educação Ambiental em uma Perspectiva Interdisciplinar. Editora Científica. 2020.

GONCALVES, K. S.; CASTRO, H. A.; HACON, S. S. **As queimadas na região Amazônica e o adoecimento respiratório**. Ciência e Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1523-1532, junho, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/>. Acesso em 20 de dezembro de 2020.

INPE. **Banco de Dados de queimadas**. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em 09 de junho de 2021.

LEÃO, R. S.; FERREIRA, G. S.; STRAUCH, J. C. M. **Análise espaço-temporal dos focos de queimadas e incêndios em Mato Grosso, Brasil, no ano de 2016**. Raega - O Espaço Geográfico em Análise. Curitiba, Brasil. v.47, n.1. p. 99-119, 2020.

LOPES, A. C. L.; FREITAS, A. V. M.; COSTA, D. O. da; BELTRÃO, N. E. S.; TAVARES, P. A. **Análise da distribuição de focos de calor no município de Novo Progresso, Pará**. Revista Verde, v.12, n.2, p.298-303, 2017.

MEDEIROS, M. B., FIEDLER, N. C. **Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: Desafios para a conservação da biodiversidade**. Ciência Florestal; 14(2), p. 157-168, 2004.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. **Mudanças climáticas e Amazônia**. Ciência e Cultura. São Paulo, v. 59, n. 3, p. 22-27, set. 2007.

PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia**. Acta Amazônica. Manaus, v. 38, n. 1, p. 77-84, 2008.

SALES, G. M.; PEREIRA, J. L. G.; THALES, M. C.; POCCARD-CHAPUIS, R.; ALMEIDA, A. S. **Emprego dos focos de calor na avaliação das áreas queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais 14(1): 55-77, 2019.

SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A.; MARTINS, G. **Metodologia do cálculo do risco de fogo do programa queimados do INPE – versão 10, junho/2016.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Brasil. 2017. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/documentos/RiscoFogo_Sucinto_20171121.pdf. Acesso em 10 de fevereiro de 2022.

STEINBERGER, M. **Poluição Urbana do Ar por Queimadas na Amazônia Brasileira.** In: XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. 2002.