

Análise temporal dos focos de calor nos municípios de Macaé-RJ e Campos dos Goytacazes-RJ no período de 2014 a 2018

Temporal analysis of hotspots in the municipalities of Macae-RJ and Campos dos Goytacazes-RJ during the period 2014-18

Análisis temporal de hotspots en los municipios de Macaé-RJ y Campos dos Goytacazes-RJ de 2014 a 2018

Recebido: 18/10/2022 | Revisado: 31/10/2022 | Aceitado: 01/11/2022 | Publicado: 09/11/2022

José Ricardo Siqueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4659-1403>

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

E-mail: jricardo@uenf.br

Beatriz Muniz de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2396-8471>

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

E-mail: beatrizmunizc@gmail.com

Resumo

Neste estudo foi realizada uma análise temporal dos focos de calor durante o período de 2014 a 2018 nos municípios de Campos dos Goytacazes e Macaé, no norte fluminense. Os dados referentes aos números de focos foram obtidos por satélites ambientais, e os mesmos foram disponibilizados pelo Banco de Queimadas (BDQ) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Também foram utilizados dados pluviométricos para os dois municípios, que foram fornecidos pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) e pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). As distribuições temporais dos focos de calor foram analisadas calculando as médias e as frequências anuais, sazonais e mensais. Como resultado do trabalho, foram contabilizados 5.167 focos de calor no período de 2014 a 2018. O município de Campos apresentou as maiores frequências de focos durante o período total e especialmente no ano de 2015, em que foram registrados os maiores números de focos, sendo três vezes maiores que em 2018. A distribuição sazonal foi bem distinta entre os municípios; porém, o inverno se destacou com a maior frequência de focos. Nesta época do ano, a umidade relativa do ar é baixa e os índices pluviométricos também são reduzidos, o que beneficia a formação e a propagação de incêndios naturais. Em contrapartida, no verão e no outono foram observados os menores registros. Isto foi favorecido pela alta umidade do ar e pela abundância de chuvas no período de novembro a maio, que desfavorecem os incêndios na região estudada.

Palavras-chave: Focos de calor; Sensoriamento remoto; Precipitação.

Abstract

The objective of this work was to analyse the time frequencies of hot spots in Campos dos Goytacazes and Macae, in the northern region of Rio de Janeiro state, during the period 2014-18. The hot spots data were obtained from environmental satellites, and they were extracted from Banco de Queimadas (BDQ) of the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Rainfall data from Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) and Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) were also used. The time frequencies of the hot spots were analysed by calculating the averages and frequencies (annual, seasonal, and monthly). As a result, 5,167 hot spots were found between 2014 and 2018. The Campos city had the highest hot spot frequencies over the whole period and especially in 2015 year, which exhibited the highest number of hot spots (three times larger than in 2018 year). The seasonal distributions were distinct between the two studied cities, but the highest frequency of hot spots was found in austral winter. This last result was probably due to the smaller relative humidity and rainfall in austral winter, what favours the formation and propagation of natural fires. The smallest frequencies of hot spots were found in austral summer and fall, and they may be explained by abundant rainfall and large relative humidities between November and May, which tend to inhibit the natural fires over the studied region.

Keywords: Hot spots; Remote sensing; Rainfall.

Resumen

En este estudio, se realizó un análisis temporal de hotspots durante el período de 2014 a 2018 en los municipios de Campos dos Goytacazes y Macaé, en el norte de Río de Janeiro. Los datos referentes al número de brotes fueron obtenidos por satélites ambientales, y fueron puestos a disposición por el Banco de Queimadas (BDQ) del Instituto

Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE). También se utilizaron datos de lluvia para los dos municipios, que fueron proporcionados por la Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) y la Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Para la distribución temporal de los hotspots se calcularon promedios y frecuencias anuales, estacionales y mensuales. Como resultado del trabajo se contabilizaron 5.167 hotspots en el periodo de 2014 a 2018. El municipio de Campos presentó las mayores frecuencias de hotspots durante el total del periodo y especialmente en 2015, en el que se registró el mayor número de hotspots, siendo tres veces mayor que en 2018. La distribución estacional fue muy diferente entre los municipios; sin embargo, el invierno se destacó con la mayor frecuencia de brotes. En esta época del año la humedad relativa es baja y las precipitaciones también son escasas, lo que favorece la formación y propagación de incendios naturales. En cambio, en verano y otoño se observaron los registros más bajos. Esto fue favorecido por la alta humedad del aire y por la abundancia de lluvias de noviembre a mayo, que no favorecen los incendios en la región de estudio.

Palabras clave: Hotspots; Teledetección; Precipitación.

1. Introdução

Nas últimas décadas, o número de áreas de queimadas no Brasil tem aumentado de forma alarmante devido às mudanças climáticas e à ação antrópica, causando impactos sobre o clima e a biodiversidade (Latorre et al, 2017). As queimadas provocam a perda da fertilidade do solo, destruição de vegetação, redução na biodiversidade, poluição e alterações químicas dos gases atmosféricos, aumentando a ocorrência de doenças respiratórias (Granemann & Carneiro, 2009).

O fogo é um dos agentes de perturbação mais importantes de ecossistemas terrestres em escala global, podendo ter origem natural, acidental ou criminosa (Clemente et al, 2017). Os incêndios naturais ocorrem em função de condições meteorológicas propícias, tais como: escassez de chuva, altas temperaturas e baixa umidade do ar (Justino et al, 2002). Já as queimadas criminosas caracterizam-se pelo uso intencional do fogo, e as mesmas são uma prática primitiva na agricultura destinada principalmente à preparação e à limpeza do terreno para a colheita e cultivo de plantações, além de formação de pastos (Machado et al, 2014). O intenso uso do fogo na agricultura brasileira e a dimensão atingida pela prática das queimadas têm sido objetos de preocupação em nível nacional e internacional (Miranda et al., 2001).

O estado do Rio de Janeiro (RJ) tem sofrido grandes perdas por decorrência das queimadas (principalmente no interior) devido à sua vinculação à economia canavieira tradicional. Ressalta-se que os municípios de Campos dos Goytacazes e Macaé, localizados na região norte fluminense, são reconhecidos expressivamente em termos de economia agroindustrial, nas práticas de produção do açúcar, álcool e petróleo. Isto faz com que a região norte fluminense seja economicamente considerada uma das principais do estado do RJ (Cruz et al, 2014). A intensificação da cultura de queimadas para fins econômicos tem ocasionado redução de grande parte da área vegetal do estado do RJ, restando menos de 11% da sua área original. Na região norte fluminense, o município de Macaé é o que possui um dos maiores remanescentes florestais do estado do RJ. Entretanto, a facilidade de acesso às regiões de baixa declividade permitiu uma rápida e desordenada ocupação humana, levando esta região a sofrer acelerada perda de suas áreas florestadas.

Coura et al. (2011) realizaram um estudo de caracterização da susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do RJ utilizando mapeamentos de uso e cobertura do solo, modelos digitais de elevação, combustibilidade, radiação solar e balanço hídrico, e dados de temperatura e precipitação. Foi observado que o município de Campos dos Goytacazes apresentou a maior proporção de focos de calor do estado do RJ. Este alto índice foi explicado pela forte presença do cultivo de agricultura canavieira, que utiliza o uso do fogo para sua colheita. Com o mesmo enfoque, Fernandes et al. (2012) comprovaram que o norte fluminense é a região do estado do RJ com maior abrangência territorial suscetível a incêndios. Os autores observaram que nestes locais predominavam as áreas de pastagem e encostas com alta incidência de radiação solar, além de ares secos que caracterizam as áreas de maior susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado.

O estudo realizado por Clemente et al. (2017) para os remanescentes da Mata Atlântica no estado do RJ utilizando dados de focos de calor e análises estatísticas mostrou que os meses de Agosto, Setembro e Outubro são os mais suscetíveis à ocorrência de focos. Além disto, os anos com os maiores números de registros de focos coincidiram com os anos de El Niño e

La Niña. No entanto, além da influência destes fenômenos, o aumento do clima seco e as mudanças no regime de chuvas, temperatura e umidade influenciaram as altas frequências de focos de calor no estado do RJ.

Com os avanços tecnológicos recentes, tem sido possível utilizar imagens obtidas a partir de sensores remotos a bordo de satélites para detectar focos de calor com ampla resolução espacial e temporal. O uso de sensores remotos tem sido de extrema importância para estas aplicações, pois estes possibilitam estudar o ambiente terrestre por meio de interações entre a radiação eletromagnética e o planeta Terra (Miranda et al., 2001). Quando combinados com os sistemas de informações geográficas, os sensores remotos também têm sido eficazes para identificar queimadas em larga escala, possibilitando elaborar mapas de riscos de incêndios, preservar e controlar incêndios em grandes áreas em parceria com os órgãos públicos (Granemann & Carneiro, 2009).

No Brasil, há tecnologias que permitem o monitoramento e o controle dos focos de calor a partir de importantes plataformas de dados gerados por sensores remotos a bordo de satélites, tal como o Banco de Queimadas (BDQ), que foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em convênio com a National Aeronautics and Space Administration (NASA). Esta plataforma tem sido de grande auxílio na prevenção e na minimização dos impactos ambientais gerados pelas queimadas e pelos incêndios florestais, bem como na realização de importantes pesquisas (Justino et al., 2002; Miranda et al., 2001; Caúla et al., 2015; Rodrigues et al., 2018; Martins et al., 2020; Pinheiro, 2020; Silveira et al., 2020; Silva et al., 2020; Libonati et al., 2021; Setzer et al., 2021; Wooster et al., 2021; Santos et al., 2021; Cordeiro et al., 2022; e outros).

Miranda et al. (2001) identificaram cerca de 300.000 focos de calor por ano em todo o Brasil. Estes autores associaram a maioria dos focos de calor com as queimadas realizadas em regiões agrícolas objetivando o controle de pragas, a limpeza de áreas para plantio, a renovação de pastagens e a colheita da cana-de-açúcar. Caúla et al. (2015) avaliaram as distribuições, porcentagens e regiões homogêneas de focos de calor no Brasil durante o período de 1998 a 2011 e observaram que a variabilidade dos sistemas meteorológicos afetava consideravelmente o aumento de focos durante o período do estudo. O período que demonstrou maiores incidências foi durante a primavera e o inverno, enquanto no outono e no verão os valores foram mais baixos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a frequência temporal dos focos de calor nos principais municípios do norte fluminense, isto é, os municípios de Campos dos Goytacazes e Macaé, durante o período de 2014 a 2018, além de correlacionar com as características meteorológicas em eventos extremos.

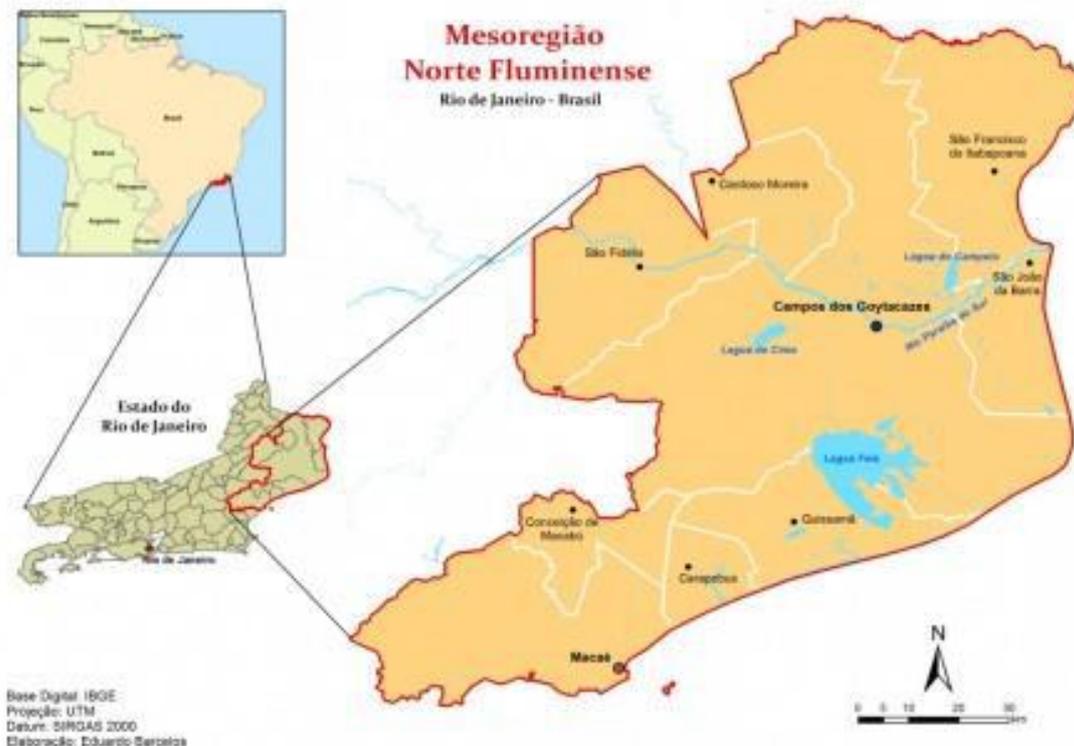
2. Metodologia

O presente estudo é caracterizado por uma pesquisa mista e de natureza quantitativa no que se refere ao tratamento dos dados utilizados. O mesmo possui objetivos de pesquisa exploratória, seguindo a metodologia descrita por Pereira et al. (2018).

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

Na Figura 1 é mostrada a localização dos municípios de Macaé e Campos dos Goytacazes. O município de Macaé abrange uma área de aproximadamente 1.217 km² e está localizado a uma latitude de 22°22'33" S e uma longitude de 41°46'30" O. Este município faz divisa com os municípios de Carapebus, Conceição de Macabu (ao Norte), Rio das Ostras e Casimiro de Abreu (ao Sul), Trajano de Moraes e Nova Friburgo (a Oeste), e com o Oceano Atlântico (a Leste). Já o município de Campos dos Goytacazes abrange uma área de aproximadamente 4.026 km² e está localizado a uma latitude de 21°45'14" S e uma longitude de 41°19'26" O. Este município faz divisa com os municípios de São Francisco de Itabapoana, Bom Jesus do Itabapoana e Mimoso do Sul (ao Norte), Conceição de Macabu e Quissamã (ao Sul), Santa Maria Madalena, São Fidélis, Cardoso Moreira e Italva (a Oeste), e São João da Barra e Oceano Atlântico (a Leste).

Figura 1 - Mapa da região norte fluminense com os municípios de Macaé e Campos dos Goytacazes.



Fonte: Autores (2022).

2.2 Dados

Neste trabalho foram utilizados dados de focos de calor obtidos pelo BDQ do INPE (INPE, 2020) para o período de 2014 a 2018, para os municípios de Macaé e Campos dos Goytacazes. A identificação dos focos de calor foi realizada por meio do Sensoriamento Remoto a bordo do satélite AQUA. Este satélite leva a bordo seis sensores: Atmospheric Infrared Sounder (AIRS), Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU-A), Humidity Sounder for Brazil (HSB), Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR-E), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) e Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES).

O satélite AQUA registra quatro imagens por dia e atua em órbita polar com uma duração de 98,8 minutos, a uma altitude de cerca de 700 km. A área imageada pelo AQUA é de 2.330 km x 5.000 km e apresenta uma resolução espacial entre 500 e 1000 metros. Este satélite opera em uma faixa espectral entre 0,4 e 15,4 μm . Segundo o INPE (INPE, 2020), a relação entre foco de calor, foco de incêndio e queimadas não é direta. O foco de calor é qualquer superfície com temperatura registrada acima de 47°C. Deste modo, não é necessariamente um foco de fogo ou incêndio (fogo sem controle).

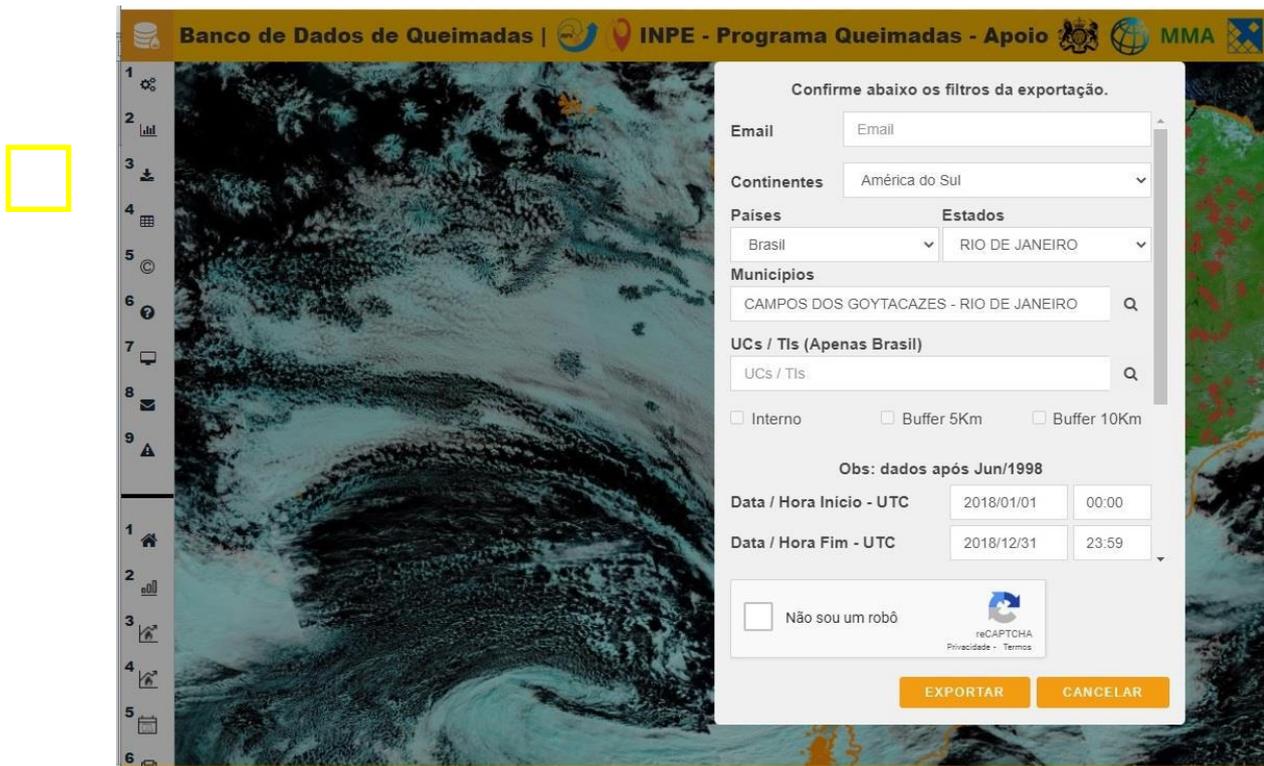
Também foram utilizados dados meteorológicos de precipitação, temperatura e umidade relativa medidas por duas estações de superfície instaladas nos campi da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) para os dois municípios estudados durante a ocorrência dos focos de calor. A resolução temporal dos dados é de 10 minutos.

2.3 Procedimentos metodológicos

O presente trabalho foi analisado em três etapas. Na primeira etapa, os dados de focos de calor foram extraídos, organizados e separados por municípios. Para tanto, foi utilizada a plataforma do BDQ disponibilizada no site do INPE, que é mostrada na Figura 2. A extração dos dados é realizada na tela inicial pelo ícone correspondente (3) localizado no canto superior esquerdo, conforme destacado em amarelo. Após o preenchimento dos campos de interesse (e-mail, país, estado,

município, data, formato), o site enviou um link por e-mail, possibilitando efetuar o download dos dados de acordo com o período e o formato selecionado. Os arquivos foram selecionados no formato CSV, e os mesmos foram manipulados pelo software Microsoft Office Excel 2010. Nas planilhas Excel, os focos são mostrados por linhas (fora de ordem cronológica) e contêm as informações pertinentes a eles (local, data, hora, satélite, bioma, coordenadas, e outras). A partir disto, foi possível organizar os dados cronologicamente para a realização das análises.

Figura 2 - Plataforma online do BDQ do INPE para extração de dados de focos de calor.



Fonte: Autores – Base de dados do INPE (2020).

Na segunda etapa foram estimadas e plotadas as distribuições temporais dos focos de calor para os dois municípios estudados considerando três escalas temporais: mensal, sazonal e anual. Para cada escala temporal, foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos para os focos de calor: número total, média temporal, frequência e densidade. O número total de focos de calor é dado pela soma do número de focos que ocorreu dentro de cada período estabelecido. Já a média temporal do número de focos de calor é dada pela aritmética dos números totais de focos para um período sazonal estabelecido. A frequência do número de focos é dada pela razão entre o número de focos e o número total de focos para um período sazonal estabelecido, enquanto a densidade do número de focos é dada pela razão entre o número de focos e a área de cada município estudado para um período estabelecido.

Na terceira etapa foram extraídos e plotados os campos de precipitação para os dois municípios estudados. A partir disto, foi possível correlacionar os eventos de focos de calor nos dois municípios às condições meteorológicas da região.

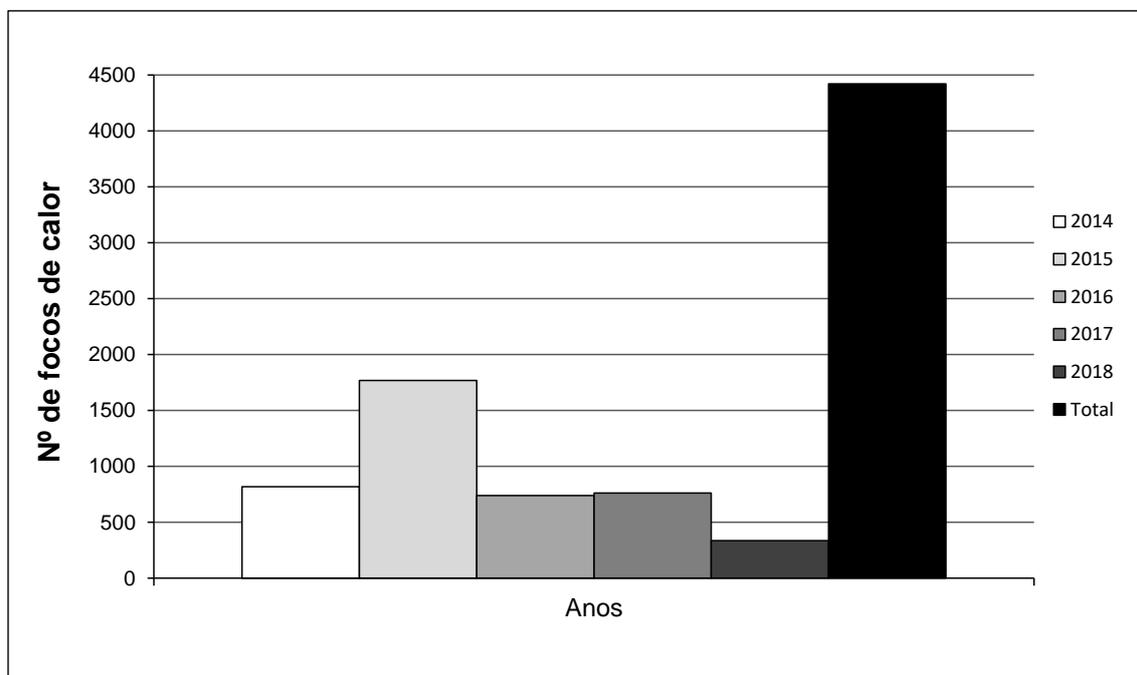
3. Resultados e Discussão

3.1 Distribuições temporais do número de focos de calor no município de Campos dos Goytacazes

Na Figura 3 são mostradas as distribuições anual e total do número de focos de calor para o período de 2014 a 2018 no município de Campos dos Goytacazes. Observa-se um total de 4.445 focos ao longo dos anos estudados, com uma média de

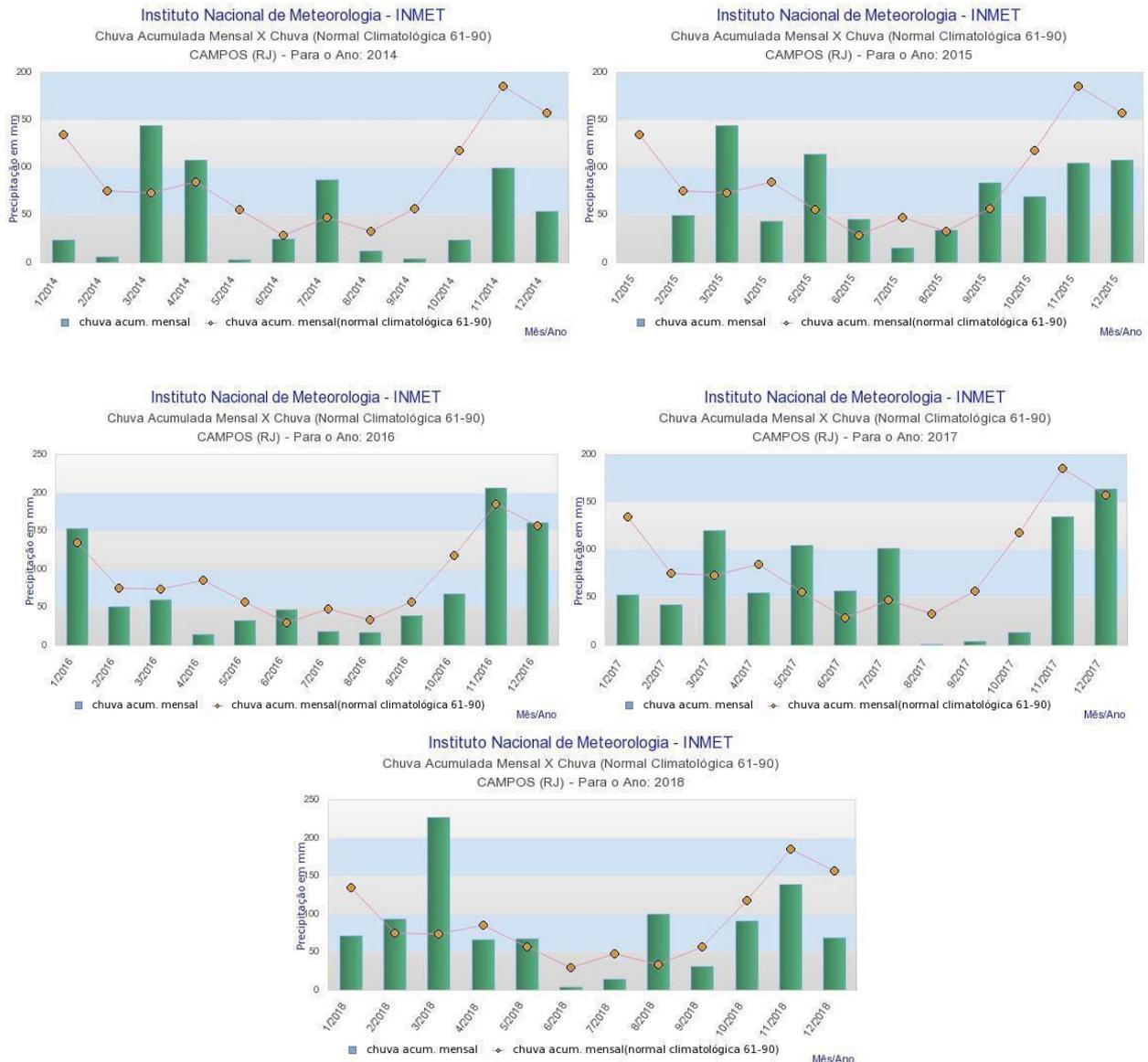
1482 focos por ano. Considerando a área do município, este total representa uma densidade de 1,1 focos de calor a cada 1.000 hectare (ha). O ano de 2015 (40%) foi o de maior frequência, seguido pelo ano de 2014 (18%). Analisando as distribuições mensais dos acumulados de precipitação e a normal climatológica no município de Campos dos Goytacazes para cada ano do estudo (Figura 4), notam-se para os anos de 2014 e 2015 os menores acumulados de precipitação anuais (558,4 e 725,6 mm, respectivamente). Este resultado foi consistente com os altos números de focos de calor que foram favorecidos pela estiagem. Nos demais anos, nota-se pouca variação na frequência interanual do número de focos de calor, com exceção do ano de 2018, sendo que 2016 e 2017 tiveram frequências muito próximas (cerca de 17% do total de focos). Já para o ano de 2018 foram registrados os menores números de focos, com uma frequência de 8%. Entretanto, este último ano foi caracterizado pelo maior acumulado de chuva observado no estudo (1.197,2 mm).

Figura 3 - Distribuições anuais e o total dos números de focos de calor no município de Campos dos Goytacazes para o período de 2014 a 2018.



Fonte: Autores (2022).

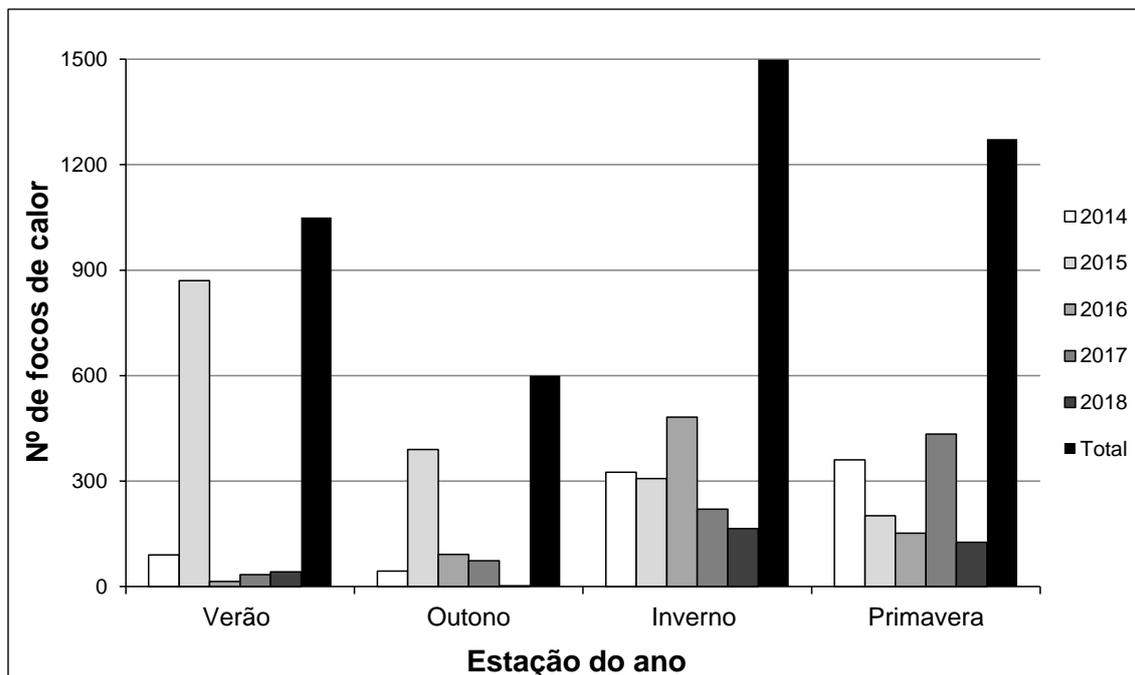
Figura 4 – Precipitação acumulada mensal x normal climatológica de chuva no município de Campos dos Goytacazes para o período de 2014 a 2018.



Fonte: INMET (2020)

As distribuições sazonais dos focos de calor em Campos dos Goytacazes são ilustradas na Figura 5. Nota-se uma variação sazonal substancial no número de focos, com um número mais acentuado no inverno (34% do total), seguido da primavera (30% do total). Já o outono propiciou uma menor frequência do número de focos (14% do total). Os anos de 2014 e 2018 apresentaram os menores números de focos no outono e no verão. Entretanto, as maiores frequências do número de focos foram observadas na primavera do ano de 2014 e no inverno do ano de 2018. O ano de 2015 destacou-se como o ano mais atípico, apresentando menores (maiores) números de focos na primavera (no verão). Este último resultado foi favorecido pelo período de estiagem na região no início daquele ano (Figura 4). Para os anos de 2016 e 2017, o verão indicou a menor frequência do número de focos, ao contrário do inverno. Isto foi consistente com a climatologia da região norte fluminense, que é caracterizada por baixos índices pluviométricos e por uma menor umidade relativa do ar durante estas estações do ano.

Figura 5 - Distribuições sazonal e total dos focos de calor no município de Campos dos Goytacazes para o período de 2014 a 2018.

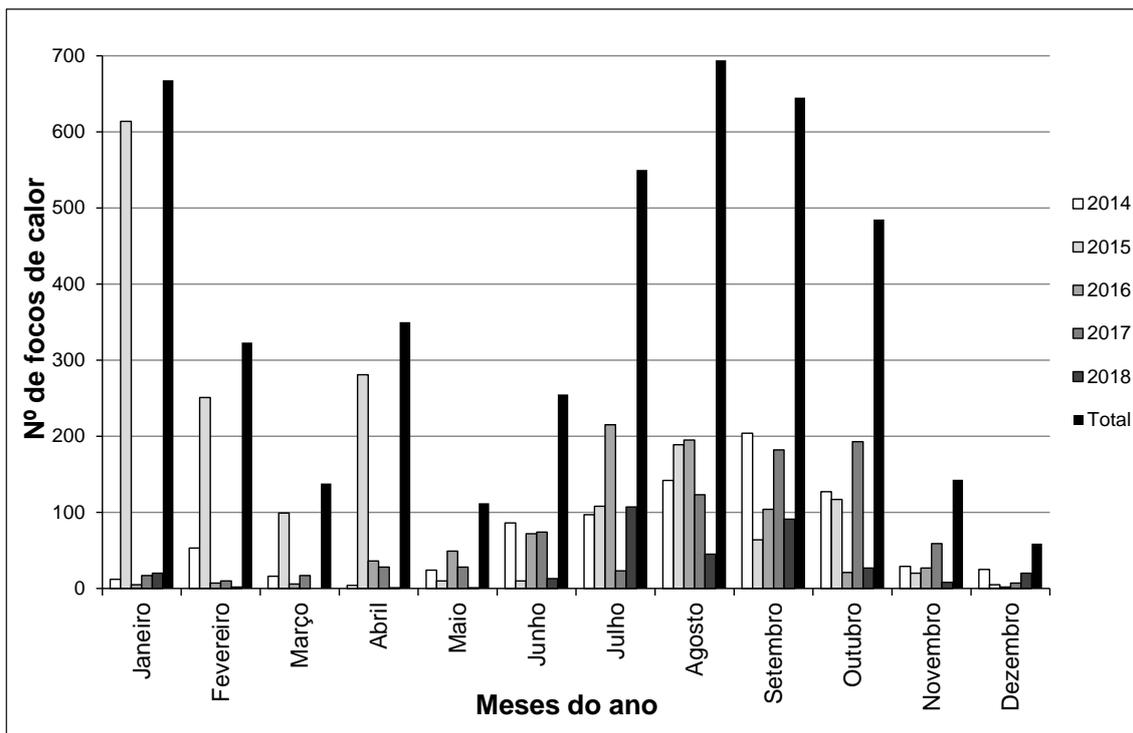


Fonte: Autores (2022).

As distribuições mensais do número de focos de calor em Campos dos Goytacazes são mostradas na Figura 6. Observa-se que os focos de calor foram mais frequentes entre os meses de Julho e Outubro (com exceção de Janeiro), sendo os números de focos neste período aproximadamente 53% do total. Nota-se um maior número de focos no mês de Agosto (15% do total), enquanto no mês de Dezembro verifica-se um menor número de focos (1% do total). Atualmente, o município de Campos dos Goytacazes possui o maior número de indústrias da região, sendo que uma grande parte de sua economia está relacionada ao plantio da cana-de-açúcar. O cultivo desta planta utiliza as queimadas como prática comum para a pré-colheita, que ocorre em períodos sazonais entre os meses de Maio e Novembro. Portanto, fatores como a estiagem e queimadas, que são mais frequentes neste período, podem influenciar no aumento do número de focos durante esta época do ano.

Analisando a variabilidade mensal do número de focos de calor no município dentro de cada ano e a precipitação na região (Figuras 6 e 4, respectivamente), nota-se que os meses com os maiores números de focos no ano de 2014 apresentaram os menores acumulados de chuva, destacando-se os meses de Fevereiro, Maio, Junho, Agosto, Setembro e Outubro. Os meses de Abril e Julho apresentaram precipitação muito acima da média, justificando as segundas menores frequências de focos durante os mesmos no período estudado. No ano de 2015 registrou-se um período atípico de seca e não houve precipitação em Janeiro no município, resultando em um alto número de focos (34% do total). Observou-se também que nos meses onde a precipitação foi acima da média (Maio, Junho e Setembro), o número de focos foi bem menor, mesmo quando comparado aos outros anos. Os anos de 2017 (17%), 2016 (16,5%) e 2018 (7,5%) apresentaram as menores frequências de focos de calor em Campos. Com exceção do ano de 2018, o período entre os meses de Maio e Outubro acumulou os maiores números de focos. Estes valores podem estar associados ao período de queimadas para a colheita de cana-de-açúcar e à estiagem característica desta época do ano. O ano de 2018 registrou a menor frequência de focos durante o período de estudo, sofrendo uma queda de aproximadamente 50% em relação ao ano anterior provavelmente devido ao maior acumulado anual de precipitação registrado desde o ano de 2013 (não mostrado), reduzindo o número de focos.

Figura 6 - Distribuições mensal e total dos focos de calor no município de Campos dos Goytacazes para o período de 2014 a 2018.

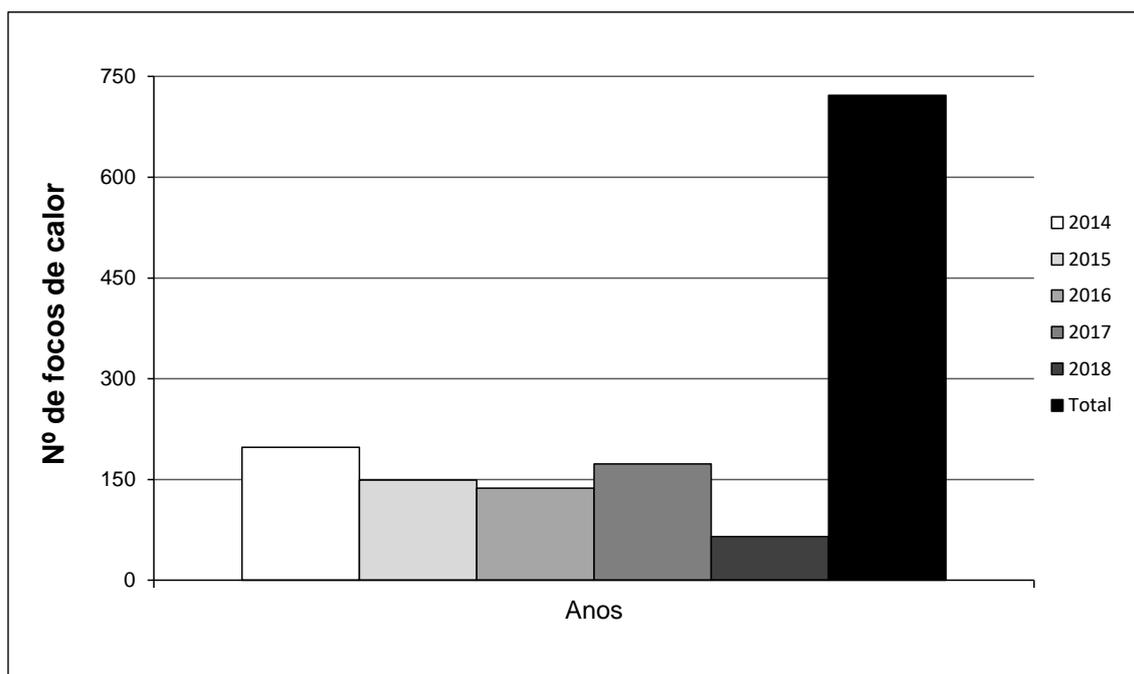


Fonte: Autores (2022).

3.2 Distribuições temporais do número de focos de calor no município de Macaé

A Figura 7 mostra as distribuições anual e total do número de focos de calor no município de Macaé durante o período de 2014 a 2018. Observa-se um total de 722 focos neste município, com uma média anual de 144 focos e uma densidade de 0,58 focos a cada 1000 ha. Observa-se também uma forte variabilidade interanual do número de focos de calor, sendo os anos de 2014 e 2017 responsáveis pelo maior número de focos (frequências de 27% e 24% do total, respectivamente). Analisando as distribuições mensais da precipitação no município para cada ano do estudo (Figura 8), notam-se para os anos de 2014 e 2017 os menores índices pluviométricos, com aproximadamente 605 e 770 mm, respectivamente. O ano de 2018 apresentou o terceiro maior acumulado anual de precipitação, podendo estar relacionado à queda no número de focos de calor no município neste período.

Figura 7 - Distribuições anual e total dos focos de calor no município de Macaé para o período de 2014 a 2018.

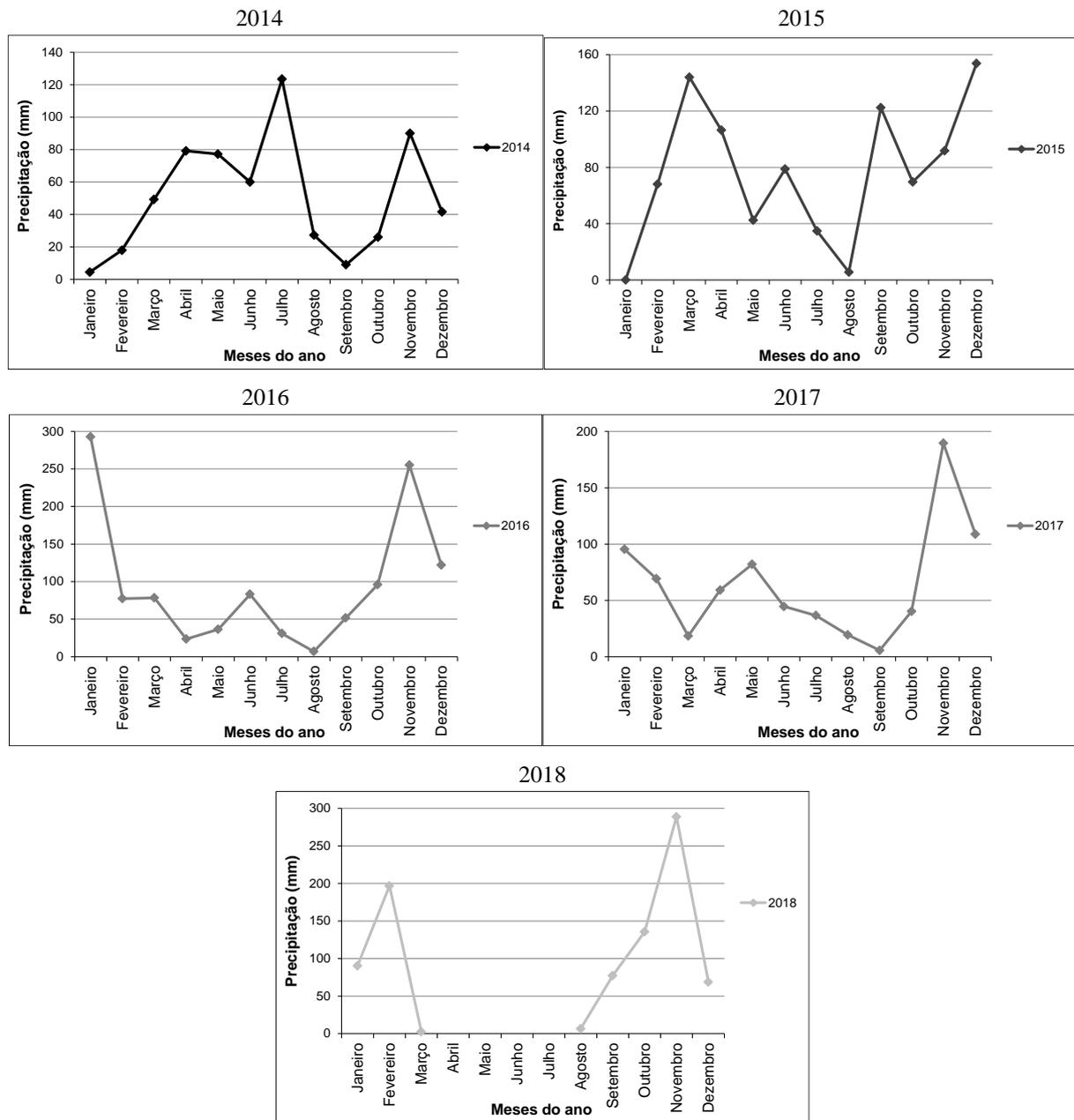


Fonte: Autores (2022).

As distribuições sazonais do número de focos de calor em Macaé são mostradas na Figura 9. Nota-se que não há diferença significativa entre o número de focos registrados na primavera (30% do total) e no outono (29% do total). No verão foram identificados menos focos de calor (18% do total), seguido do inverno (23%). Para o verão este resultado já era o esperado, pois esta estação é caracterizada pela abundância de chuvas de acordo com a climatologia regional, reduzindo a frequência de focos. Já para o inverno, o resultado foi diferente do esperado por se tratar de uma estação seca e favorável à ocorrência de uma maior frequência de focos, o que aparentemente é indicativo de fatores antropogênicos para a ocorrência destes focos.

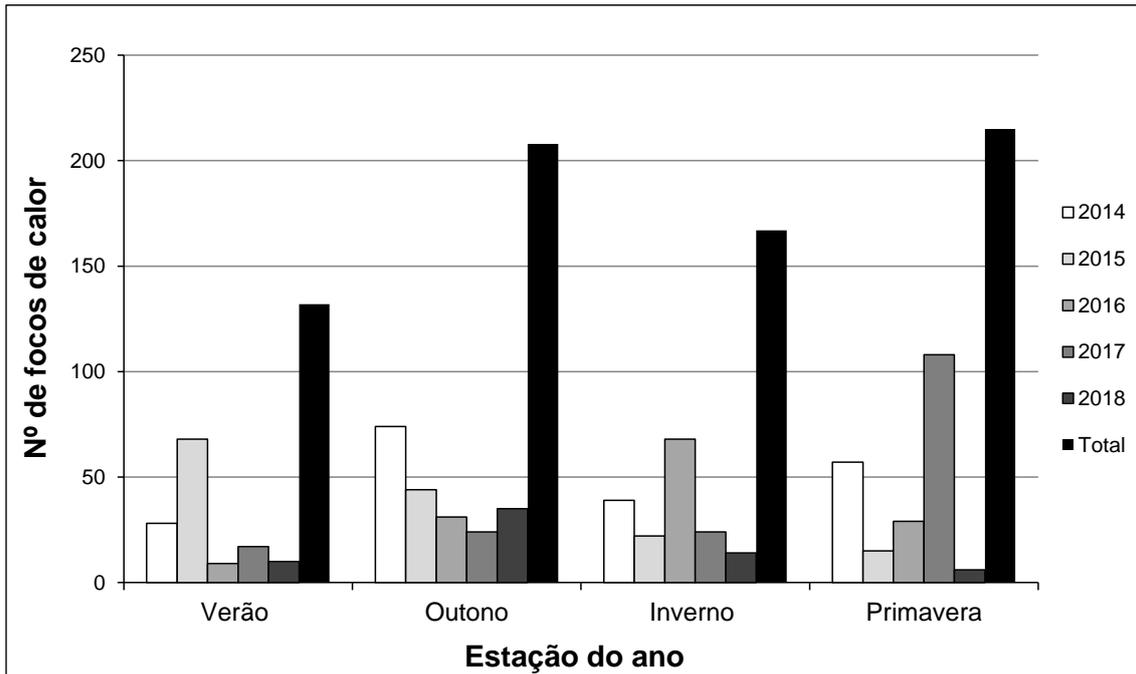
Analisando a distribuição sazonal do número de focos de calor para cada ano do estudo, nota-se uma maior frequência de focos de calor para 2014 e 2018 durante o outono (Figura 9). Entretanto, o outono de 2014 apresentou o maior acumulado de chuva do ano (Figura 8). O ano de 2015 foi o único que apresentou o verão como a estação com uma maior frequência de focos, sendo consistente com os acumulados mensais de precipitação muito baixos verificados para o ano de 2015. Já os anos de 2016 e 2017 apresentaram maiores números de focos no inverno e na primavera, respectivamente. A maior frequência de focos durante o inverno de 2016 corrobora com o menor acumulado de precipitação encontrado neste período.

Figura 8 - Distribuições mensais da precipitação acumulada no município de Macaé para os anos de 2014 a 2018.



Fonte: Autores (2022).

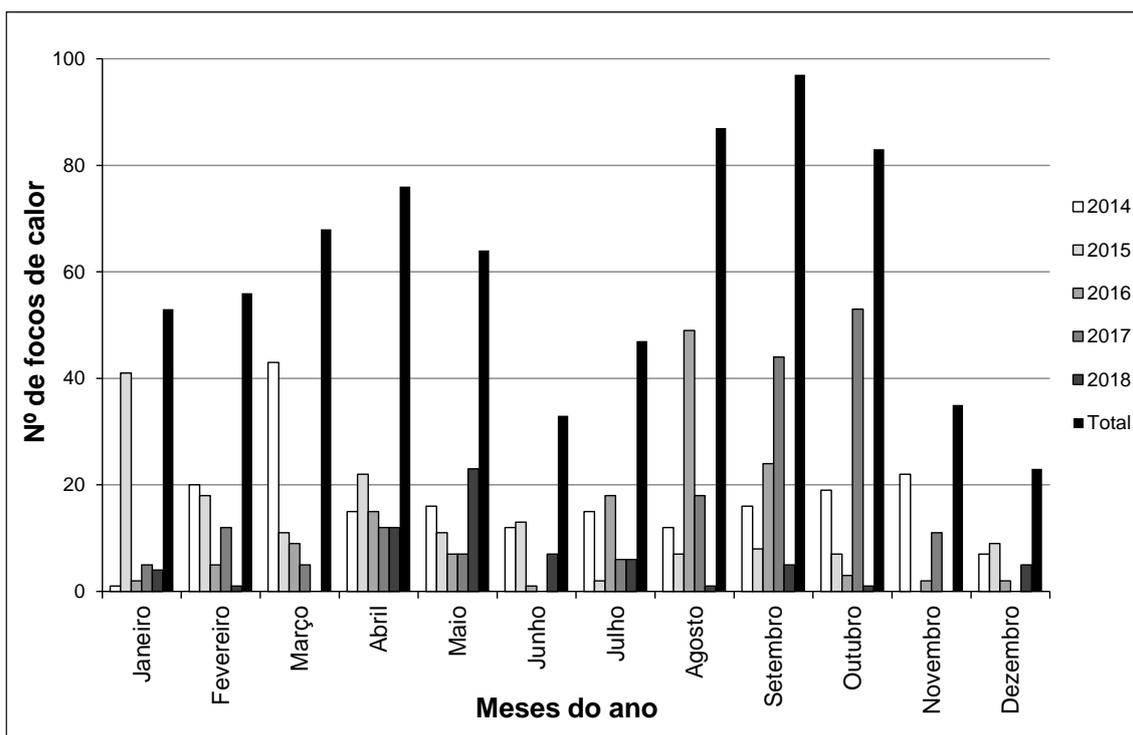
Figura 9 - Distribuições sazonais dos focos de calor no município de Macaé para o período de 2014 a 2018.



Fonte: Autores (2022).

As distribuições mensais do número de focos de calor em Macaé são apresentadas na Figura 10. Observa-se que os números mensais de focos foram significativos quando se considera o período completo. Destacam-se os meses de Março a Maio e de Agosto a Outubro (com exceção do mês de Junho), que apresentaram os maiores números de focos. Já os meses de Novembro e Dezembro apresentaram menos focos. Este último resultado é consistente com a climatologia do município, que é relativamente semelhante à de Campos. O ano de 2014 apresentou a menor precipitação acumulada no período do estudo (Figura 8), aparentemente favorecendo os maiores focos de calor devido à estiagem na região (Figura 10). Durante o ano de 2015, ocorreu novamente um período seco sem registros de precipitação para o mês de Janeiro, o que favoreceu a ocorrência de focos de calor em quase todos os meses deste ano. Para o ano de 2017, o número de focos de calor também foi elevado em quase todos os meses (especialmente de Setembro a Outubro), sendo consistente com os menores acumulados de precipitação neste período (Figura 8). Já os anos de 2016 e 2018 apresentaram os maiores acumulados mensais de precipitação no município de Macaé, desfavorecendo a ocorrência dos focos.

Figura 10 - Distribuições mensais dos focos de calor no município de Macaé para o período de 2014 a 2018.



Fonte: Autores (2022).

3.3 Variabilidade dos focos de calor entre os dois municípios estudados

Analisando a variabilidade do número de focos de calor entre os dois municípios estudados com base no total de focos que foi apresentado anteriormente (5.167), observou-se um número muito maior de focos para o município de Campos dos Goytacazes (frequência de 86% do total de focos, versus 14% de Macaé). O Quadro 1 mostra as distribuições anual e total da densidade do número de focos de calor para os dois municípios. Para o período total, notam-se densidades bem maiores para o município de Campos dos Goytacazes. Apesar do município de Campos dos Goytacazes ser bem maior que o de Macaé, o mesmo conta com uma economia amplamente baseada no cultivo da cana-de-açúcar. Portanto, o grande número de focos pode ser em decorrência das queimadas realizadas neste município, que são uma prática muito comum antes da colheita. Para o período anual, observa-se que os anos com as maiores densidades (2014 e 2015) e com as menores densidades (2018) também produziram forte variabilidade na densidade entre os dois municípios, corroborando com o estudo de Clemente et al. (2017).

Quadro 1 – Distribuições anual e total da densidade do número de focos de calor nos municípios de Campos dos Goytacazes e Macaé para o período de 2014 a 2018.

Densidade (focos / 1000 ha)						
Município	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Campos dos Goytacazes	0,21	0,44	0,18	0,19	0,08	1,1
Macaé	0,16	0,12	0,11	0,14	0,05	0,58

Fonte: Autores (2022).

O Quadro 2 mostra a distribuição sazonal da densidade do número de focos de calor para os dois municípios estudados. Notam-se densidades maiores para o município de Campos dos Goytacazes durante o inverno e a primavera (especialmente entre os meses de julho e outubro). Este resultado pode ser decorrente das atividades da indústria canavieira, que utiliza as queimadas neste município entre os meses de maio e novembro. Para o município de Macaé, notam-se densidades maiores na primavera e no outono (especialmente entre os meses de fevereiro e outubro), caracterizando-se por uma maior distribuição dos focos no decorrer de cada ano.

Quadro 2 – Distribuição sazonal do número de focos de calor nos municípios de Campos dos Goytacazes e Macaé para o período de 2014 a 2018.

Densidade (focos / ha)				
Município	verão	outono	inverno	primavera
Campos dos Goytacazes	0,26	0,15	0,37	0,31
Macaé	0,11	0,17	0,14	0,26

Fonte: Autores (2022).

4. Conclusão

Neste trabalho foram estimadas e analisadas as frequências temporais dos focos de calor nos municípios de Campos dos Goytacazes e Macaé durante o período de 2014 a 2018 utilizando dados do BDQ do INPE e análises estatísticas básicas. Foram contabilizados 5.167 focos de calor distribuídos ao longo dos cinco anos nos municípios de Campos dos Goytacazes e Macaé. Os anos que apresentaram as maiores frequências de focos foram 2014 (em Macaé) e 2015 (em Campos), enquanto 2018 foi o ano com menor número de focos em ambos os municípios.

Analisando a variabilidade sazonal dos focos de calor nos dois municípios estudados, notou-se que as estações de inverno (em Campos dos Goytacazes) e primavera (em Macaé) apresentaram as maiores frequências de focos. Foram observados em Campos dos Goytacazes os maiores números de focos entre os meses de Julho e Outubro (inverno/primavera). Já em Macaé, os valores foram semelhantes durante o ano todo, com exceção de alguns meses mais chuvosos.

O município de Campos dos Goytacazes apresentou os maiores números e densidades de focos. Estes eventos estão associados não somente ao clima da região (períodos de estiagem e de baixa umidade relativa do ar, por exemplo), mas possivelmente também a práticas de queimadas durante a pré-colheita da cana de açúcar neste município, de modo a facilitar o seu corte manual.

Como sugestões para trabalhos futuros, destaca-se a importância de se estudar, com um maior nível de aprofundamento, os focos de calor sobre o município de Campos dos Goytacazes produzidos por ações antrópicas associadas aos padrões locais de uso e conversão da vegetação, além de tecnologias agrícolas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (CCT/UENF) pelo suporte financeiro, e ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) pela disponibilidade dos dados.

Referências

- Caúla, R. H., Oliveira-Júnior, J. F., Lyra, G. B., Delgado, R. C., & Heilbron Filho, P. F. L. (2015). Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environmental Earth Sciences*, 74(2), 1497-1508.
- Clemente, S. D., Oliveira Júnior, J. F. D., & Passos Louzada, M. A. (2017). Focos de calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(4), 669-677.
- Cordeiro, L. C., & Co-autores. (2022). Análise temporal da ocorrência de focos de calor e uso e cobertura do solo no município de Marabá, Pará, Brasil. *Research, Society and Development*, 11(1), 1-9.
- Coura, P. H. F., de Sousa, G. M., do Couto Fernandes, M., & de Souza Avelar, A. (2011). O uso de variáveis geomorfológicas no estudo da suscetibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro. *Revista de Geografia (Recife)*, 27(2), 210-221.
- Cruz, A. R., Silva, K. C., & Nunes-Freitas, A. F. (2014). Estrutura e florística de comunidade arbórea em duas áreas de Floresta Ombrófila Densa em Macaé, RJ. *Rodriguésia-Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro*, 64(4), 791-805.
- Fernandes, M. D. C., Coura, P. H. F., Sousa, G. M. D., & Avelar, A. D. S. (2012). Avaliação geocológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Floresta e Ambiente*, 18(3), 299-309.
- Granemann, D. C., & Carneiro, G. L. (2009). Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. *Revista de engenharia e tecnologia*, 1(1), 55-62.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. (2020). Análise do tempo e do clima. <http://inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2020). Programa Queimadas. <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>.
- Justino, F. B. (2002). Relação entre focos de calor e condições meteorológicas no Brasil. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Foz de Iguaçu-PR. Anais... Foz de Iguaçu: SBMET, 2086- 2093.
- Latorre, N. S., Oliveira, L. E., de Aragão, C., & Anderson, L. O. (2017). Impactos de queimadas sobre diferentes tipos de cobertura da terra no leste da Amazônia legal brasileira. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(1), 179-192.
- Libonati, R., Pereira, A. A., Santos, F. L. M., Rodrigues, J. A., Rosa, A. S., Melchiori, A. E., Morelli, F., & Setzer, A.W. (2021). Sensoriamento remoto de áreas queimadas no Brasil: progressos, incertezas, desafios, e perspectivas futuras. Cap. 02, Queimadas e Incêndios Florestais: Mediante Monitoramento Orbital. Editora Oficina de Textos.
- Machado, N. G., da Silva, F. C. P., & Biudes, M. S. (2014). 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*, 36(3), 459-469.
- Martins, G., Rosa, A. S., Setzer, A. W., Rosa, W., Morelli, F., & Bassanelli, A. (2020). Dinâmica Espaço-Temporal das Queimadas no Brasil no Período de 2003 a 2018. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(4), 1558-1569.
- Miranda, E. E., Caputi, E., Dorado, A. J., & Paniago, C. F. A. (2001). Balanço do monitoramento orbital das queimadas no Brasil em 2001. Embrapa Monitoramento por Satélite (Comunicado Técnico, 6).
- Pereira, A. S.; Shitsuka, D. M.; Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed.UAB/NTE/UFSM.
- Pinheiro, L. (2020). Pantanal tem maior número mensal de focos de incêndios na história. <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2020/09/24/pantanal-tem-maior-numero-mensal-de-focos-de-incendios-na-historia.ghtml>.
- Rodrigues, J. A., Libonati, R., Peres, L. F., & Setzer, A. (2018). Mapeamento de Áreas Queimadas em Unidades de Conservação da Região Serrana do Rio de Janeiro Utilizando o Satélite Landsat-8 Durante a Seca de 2014. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 41(1), 318-327.
- Santos, C. T., & Co-autores. (2021). Diagnóstico espaço-temporal dos focos de calor no Brasil. *Research, Society and Development*, 10(7), 1-10.
- Setzer, A. W., Ferreira, N. J., & Morelli, F. (2021). O Programa Queimadas do INPE. Cap. 01, Queimadas e Incêndios Florestais: Mediante Monitoramento Orbital. Editora Oficina de Textos.
- Silva, A. S., Justino, F., Setzer, A.W., & Avila-Diaz, A. (2020). Vegetation fire activity and the Potential Fire Index (PFIv2) performance in the last two decades (2001-2016). *International Journal of Climatology*, 41(1), 78-92.
- Silveira, M. V. F., & Co-autores. (2020). Drivers of Fire Anomalies in the Brazilian Amazon: Lessons Learned from the 2019 Fire Crisis. *Land*, 9(12), 1-24.
- Wooster, M. J., & Co-autores. (2021). Satellite remote sensing of active fires: History and current status, applications and future requirements. *Remote Sensing of Environment*, 267(1), 1-20.