



Universidade Federal de Alagoas  
Instituto de Ciências Atmosféricas  
Curso de Bacharelado em Meteorologia



Carla Taciane Brasil dos Santos

Influência das condições ambientais na dinâmica dos focos de calor no Brasil

Maceió, AL  
Novembro, 2021

Carla Taciane Brasil dos Santos

Influência das condições ambientais na dinâmica dos focos de calor no Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Alagoas, como requisito para a obtenção  
do título de Bacharel em Meteorologia.  
Orientador: **Prof. Dr. José Francisco de  
Oliveira Júnior**

Maceió, AL  
Novembro, 2021

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S237i Santos, Carla Taciane Brasil dos.  
Influência das condições ambientais na dinâmica dos focos de calor no Brasil /  
Carla Taciane Brasil dos Santos. – 2021.  
38 f. : il.

Orientador: José Francisco de Oliveira Júnior.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Universidade  
Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 27-33.  
Apêndices: f. 34-38.

1. Incêndios florestais - Brasil. 2. Desmatamento. 3. Agricultura. 4. El Niño  
(Corrente oceânica). I. Título.

CDU: 551.52(81)



## ATA DE APRESENTAÇÃO PÚBLICA DO TCC

ALUNO: CARLA TACIANE BRASIL DOS SANTOS

ORIENTADOR: JOSE FRANCISCO DE OLIVEIRA JÚNIOR

TÍTULO DO TRABALHO: INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS NA DINÂMICA DOS FOCOS DE CALOR NO BRASIL

DATA: 12 / 11 / 2021 HORA: 14:00

LOCAL: Vídeo conferência – <https://meet.google.com/zhz-fcju-rbk>

### BANCA EXAMINADORA

PRESIDENTE: DR. JOSE FRANCISCO DE OLIVEIRA JÚNIOR (UFAL)

SEGUNDO COMPONENTE: DR. WASHINGTON LUIZ FÉLIX CORREIA FILHO (FURG)

TERCEIRO COMPONENTE: DOUTORANDO DIMAS DE BARROS SANTIAGO (UFCG)

QUARTO COMPONENTE: DR<sup>a</sup>. MARIA LUCIENE DIAS DE MELO (UFAL)

QUINTA COMPONENTE: DR. HELIOFÁBIO BARROS GOMES (UFAL)

### QUADRO DE AVALIAÇÃO

Banca Examinadora	Apresentação	Conteúdo	Domínio do Assunto	Média Parcial	Assinatura
Presidente	9,0	9,0	9,0	9,0	<i>Jose Francisco de O. Junior</i>
Segundo Componente	8,5	8,5	8,5	8,5	<i>Washington Luiz Felix Correia Filho</i>
Terceiro Componente	8,5	8,5	8,5	8,5	<i>Dimas de Barros Santiago</i>
Quarto Componente	9,0	9,0	9,0	9,0	<i>Maria Luciene Dias de Melo</i>
Quinto Componente	9,0	9,0	9,0	9,0	<i>Heliofabio Barros Gomes</i>

**MÉDIA FINAL: 8,8**

### COMPROVANTE DE ENTREGA DA VERSÃO FINAL DO TCC

O TCC obteve média final 8,8, conforme quadro de avaliação acima, homologado por esta coordenação.

Entregue na versão final no dia 16 de novembro de 2021.

Assinatura do(a) Coordenador (a):



Documento assinado digitalmente  
Glauber Lopes Mariano  
Data: 16/11/2021 07:37:05-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais  
e aos meus irmãos, pessoas essenciais  
na minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, dando-me força e coragem pra chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, Maria Gercilda e Humberto por todo incentivo ao longo do curso e por sempre estiverem ao meu lado nos momentos mais difíceis e felizes da minha vida.

Aos meus irmãos, Janaina, Cinthia e Humberto, pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

A minha sobrinha Luanna, que é uma das minhas maiores alegrias.

A todos da minha família, que direta e indiretamente estiveram comigo nessa caminhada.

Aos meus amigos de curso que foram essenciais para a realização deste trabalho, Bárbara, Douglas, Washington e Dimas.

Ao meu orientador, Dr. José Francisco de Oliveira Júnior pela dedicação, paciência e ensinamentos ao longo do curso.

A todos os professores do ICAT/UFAL, pelos ensinamentos.

E a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero obrigado.

## RESUMO

Os incêndios florestais podem ser de origem antrópica ou natural, com isso causam prejuízos ambiental e socioeconômico. Os Focos de Calor (FC) é uma medida para estimar atividades de fogo, são áreas com temperaturas acima de 47°C. Desta maneira, o objetivo deste estudo foi analisar a influência das condições ambientais no início e na propagação de focos de calor no Brasil. Os dados de FC foram obtidos do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas) do CPTEC/INPE no período de 1999-2020. Para a manipulação e o processamento dos dados, utilizou-se o software de ambiente R versão 3.4-1. Com base nos dados, foram calculados os totais, médias anuais e mensais espacialmente e a composição dos anos mais significativos de FC, neste caso, os anos de 2012, 2015 e 2020, a seleção dos anos foi configurada através dos dados de anomalia de precipitação anual. Os resultados obtidos apontaram que os maiores acumulados totais e médios anuais variaram entre 10-50 mil FC e 0,5-1,5 mil FC, sendo concentrado na região Centro-Norte do Brasil, destaque para os estados do Maranhão, Pará e Tocantins. Este padrão espacial identificado de FC nessas regiões está relacionado ao desmatamento e expansão agrícola. Em escala mensal, os maiores registros de FC ocorrem entre os meses de agosto e novembro, com valores de 200-450 FC, devido ao período de estiagem provocado pela atuação de massa de ar seco no país. Verificou-se também que nos últimos anos, o modo de variabilidade El Niño-Oscilação Sul (ENOS), neste caso, a sua fase quente (El Niño) influenciou a dinâmica dos FC por meio da persistência de longos períodos de estiagem e ocorrência de secas severas, que ocasionaram escassez de chuvas e grandes incêndios, por exemplo, no ano de 2020 no bioma Pantanal.

Palavras-chaves: Incêndios Florestais; Desmatamento; Agricultura; El niño.

## ABSTRACT

The emergence of forest fires may be of anthropic or natural origin, both of which cause significant socio-economic and environmental damage, and in the good part of these occurrences are resulting from. Fire Foci (FF) is a measure to estimate fire activities, are areas with temperatures above 47 °C. In this way, the objective of the present study was to diagnose the spatiotemporal FF behavior in Brazil between 1999 à 2020, based on the BDQueimadas data of the CPTEC/INPE. The handling and processing of the data used the R version 3.4-1 environment software. After the data storage, it calculated the total, annual, and monthly records. And the composition of the most significant years, in this case, the years 2015, 2017, 2019, and 2020. The results pointed out that the most significant total and average annual accumulations ranged between 10-50 thousand FF and 500-1500 FF, respectively, concentrated in the central-northern region of Brazil, mainly in Maranhão, Pará, and the Tocantins. This pattern of high FC records is related to deforestation and agricultural expansion in these regions. On a monthly scale, the most significant occurrences of FF occur between August and November, with 0,2- 0,45 thousand FF, due to starvation. In recent years, the El Niño-Southern Oscillation influenced the annual FF performance through the persistence of long stretches of styling, which resulted in a shortage of rainfall and large fires verified in 2020 in the Pantanal biome.

Keywords: Forest Fires; Deforestation; Agriculture; El Niño.



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Geral.....	12
2.2 Específicos.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 – Condições climáticas que desencadeiam os grandes incêndios.....	13
3.2 – Ferramentas de avaliação e previsão dos grandes incêndios.....	13
3.3 – Implicações ambientais e socioeconômicas na ocorrência de grandes incêndios florestais.....	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1 – Área de Estudo.....	16
4.2 – Regiões do Brasil.....	17
4.3 – Dados.....	17
4.3.1 - Focos de Calor.....	18
4.3.1 Produto CHIRPS.....	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5.1 – Distribuição Espacial dos Focos de Calor no Brasil.....	19
5.2 – Focos de Calor Anual no Brasil.....	21
5.3 – Focos de Calor Mensal no Brasil.....	24
6. CONCLUSÕES.....	25
7. RECOMENDAÇÕES.....	26
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1</b> – Delimitação do Brasil a partir da elevação (metros).....	16
<b>Figura 2</b> – Distribuição espacial de FC no Brasil entre os anos de 1999 e 2020, relativos ao total (a), médio anual (b), respectivamente.....	20
<b>Figura 3</b> – Distribuição da Anomalia de Precipitação no Brasil nos anos de 2012, 2015 e 2020, respectivamente.....	22
<b>Figura 4</b> – Total anual de FC no Brasil nos anos de maior ocorrência: 2012, 2015 e 2020, respectivamente.....	23
<b>Figura 5</b> – Distribuição mensal dos FC no Brasil, durante o período de 1999 e 2020, respectivamente.....	25

## 1. INTRODUÇÃO

O uso do fogo é comum na sociedade e traz consigo diversos prejuízos para as atividades socioeconômicas e ambientais, tais como, a redução da biodiversidade, empobrecimento e erosão do solo e diminuição da fauna e flora (Alencar et al., 2004; Vasconcelos et al. 2015; Caúla et al., 2015; Oliveira-Júnior et al., 2020). No Brasil, o fogo se popularizou, em virtude de ser uma prática de baixo custo e rápida, sendo indispensável por agricultores na limpeza do solo, renovação das pastagens e para diminuição e controle das pragas (Cochrame, 2009; Marinho et al., 2021).

Em consequência a esta prática, o surgimento dos incêndios florestais nas últimas décadas no Brasil é ocasionado pelo desmatamento, atividades agrícolas, pecuária e pelas mudanças do uso e ocupação da terra (Alencar et al., 2004; Oliveira-Júnior et al., 2020).

O processo de desmatamento no Brasil foi estimulado a partir da década de 1970, principalmente na Amazônia Legal, devido a migração populacional para região com apoio do Governo Federal, seguido do comércio de madeiras e expansão de atividade agropecuária (Arraes et al., 2012; INPE, 2021) e, assim intensificou as queimadas e, conseqüentemente os incêndios florestais na região (INPE, 2021).

A partir disso, a detecção e monitoramento dos incêndios florestais e queimadas são fundamentais no planejamento, no controle e nos efeitos produzidos pelo fogo na região atingida (Costa et al., 2017) e de forma remota (Caúla et al., 2015; Marinho et al., 2021). Tais impactos necessitam de rapidez e eficiência na sua detecção e, portanto, surgiu o conceito de focos de calor (FC), fundamental no monitoramento, controle e prevenção dos incêndios, principalmente em áreas cobertas por vegetação (INPE, 2014; Chuvieco et al., 2020). Os FC podem ser influenciados por secas severas, estiagens prolongadas, velocidade do vento, relevo, altas temperaturas e baixa umidade do ar, que ocasionam efeitos devastadores no início e propagação do fogo (Cunha et al., 2007; Xiong et al., 2020).

Em 1997, foi implantado o sistema de monitoramento de queimadas e incêndios detectados por satélites ambientais, com base no cálculo de previsão do risco de fogo da vegetação, denominado Bando de Dados de Queimadas (BDQueimadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

(INPE) - (CPTEC, 2020). O BDQueimadas monitorar e minimização os impactos ambientais provocados pelos incêndios, principalmente em Áreas de Preservação Ambiental (APA), Reservas Legais (RL), Territórios Indígenas (TI) e em Unidades de Conservação (UC) existentes no país (Caúla et al., 2013; Clemente et al., 2017).

O Brasil é um dos países da América do Sul (AS) que lidera com os maiores registros de FC, principalmente nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste (Caúla et al., 2015). Nessas regiões os maiores registros de FC ocorrem devido a longos períodos de estiagem, principalmente em anos da atuação das fases do modo da variabilidade climática El Niño–Oscilação Sul (ENOS) - (Mendoza, 2002; Caúla et al., 2015). Destaque para o período seco, com maiores registros de incêndios, que por sua vez afeta a vegetação nativa e causa vários danos ao meio ambiente (Oliveira, 2002; Assis et al., 2021).

Anteriormente, Caúla et al. (2015) e, recentemente Santos et al. (2021) avaliaram a dinâmica de FC no Brasil. Porém, para avaliar as condições ambientais que antecedem a dinâmica dos FC no Brasil, seguido dos principais fatores que contribuem para ocorrência e sua variabilidade, perdas ambientais e seus impactos socioeconômicos são fundamentais para futuras políticas públicas e tomada de decisões por parte dos gestores públicos e novas legislações ambientais.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

- **ANALISAR** a influência das condições ambientais no início e na propagação de focos de calor no Brasil.

### 2.2 Específicos

- **VERIFICAR** os maiores registros de focos de calor, os estados e as regiões do Brasil.
- **IDENTIFICAR** as principais causas na atuação, no início, propagação e término dos focos de calor no Brasil.
- **MOSTRAR** os efeitos, os impactos e as perdas ambientais e socioeconômicas causadas pelos focos de calor no Brasil.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Condições climáticas que desencadeiam os grandes incêndios**

Os incêndios florestais podem ser ocasionados por ação antrópica ou natural, ocasionando perdas no ciclo hidrológico, na biodiversidade e alterações climáticas causadas pelo ENOS (Silva et al., 2003). Os incêndios de origem natural sofrem grandes influências das condições meteorológicas (estiagem prolongada, secas severas, temperaturas altas e baixa umidade do ar) - (Swetnam; Anderson, 2008; Armenteras-Pascuala, 2011; Lourenço; Bernardino, 2013; Gois et al., 2016). Tais condições meteorológicas combinadas podem contribuir na ignição do desenvolvimento dos incêndios. Nas últimas décadas, as mudanças climáticas vêm afetando diretamente na frequência, na severidade e na distribuição dos incêndios florestais que se tornam mais intensos e frequentes ao redor do mundo (IPCC, 2021).

As concentrações das variáveis ambientais (clima, relevo e combustível) estão literalmente associadas nas frequências dos incêndios (Hammill et al., 2016). Porém, alguns estudos comprovaram a importância das variáveis ambientais sobre o comportamento do fogo, tais como, a velocidade, altura das chamas e intensidade (McKenzie, 2014; Fang et al., 2015).

#### **3.2 Ferramentas de avaliação e previsão dos grandes incêndios**

A parte crítica da prevenção dos incêndios traz consequências na avaliação dos riscos dos incêndios florestais. O combate a esses incêndios utiliza ferramentas fundamentais no monitoramento de um incêndio, principalmente em relação a sua ocorrência (Chuvieco et al., 2010). No Brasil houve grandes perdas das áreas protegidas (Áreas de Proteção Ambiental, Reservas Legais, Terras Indígenas e Unidades de Conservação) em consequência do descontrole do uso do fogo (Caúla et al., 2013; Clemente et al., 2017). Às leis ambientais do país em relação a prevenção e o combate a incêndios florestais não apresentam uma política concreta, o que ocasiona perdas naturais (Tetto et al., 2012) e, ainda dão margem para uso constante de queimadas e desmatamento, principalmente por ações do Governo Federal (Tetto et al., 2012).

Os índices de risco de incêndios (IRI) são ferramentas necessárias na prevenção de incêndios florestais. Eles identificam a correlação elevada na ocorrência de incêndios, e são eficazes para as previsões (Macedo e Sardinha, 1985). O monitoramento por meio do IRI associados com as variáveis meteorológicas apresenta excelência nas descrições das regiões que apresenta características nos episódios de incêndios (Deppe et al., 2004). Esses riscos são avaliados por variáveis do âmbito de fogo (combustíveis, condições meteorológicas e topografia) que definem a capacidade da queima, a taxa de propagação, o efeito dos incêndios e o confronto no controle (Vadrevu et al., 2010).

Uma forma de prevenir os incêndios florestais consiste no conhecimento do grau de perigo, que reflete a possibilidade de ocorrência de incêndio, sendo avaliado por fatores ambientais, geralmente relacionados às condições meteorológicas e pode ser estimado via IRI (Viegas et al., 2004). Ainda segundo Viegas et al. (2004), o conhecimento do grau de perigo de incêndios em uma determinada região se configura como uma forma de prevenção, pois tais índices refletem a possibilidade de ocorrência de um incêndio ser deflagrado, de acordo com as condições meteorológicas da área.

### **3.3 Implicações ambientais e socioeconômicas da ocorrência de grandes incêndios**

Os incêndios florestais são provocados pelos impactos ambientais, associados pelos aspectos do próprio fogo, acompanhado por conglomerados de elementos. Os efeitos ambientais consecutivos também ocasionam efeitos decorrentes ao fogo (Lourenço, 1990). Pelo conceito ambiental, a destruição originada pelos incêndios florestais, está relacionada com perda da biodiversidade, danos nos ecossistemas, erosão, empobrecimento dos solos e ocasionado mudanças no ciclo de carbono (Clemente, 2006).

O site Ambiente Brasil (2008) apontou que os incêndios florestais, sendo de origem antrópica ou natural, são responsáveis pelos danos no meio ambiente e nas atividades econômicas. No Brasil, entre os anos de 1983 a 1988, cerca de 201.262 hectares foi destruído de reflorestação, sendo ocasionados por

grandes incêndios na área, tendo um prejuízo de aproximadamente 154 milhões de dólares.

Os incêndios florestais e as queimadas trazem consequências negativas, cujas inter-relações são imprevisíveis. Evidenciam-se, principalmente por:

- Aumento dos atendimentos hospitalares e gastos excessivos com a saúde;
- Interrupções no fornecimento de energia elétrica com danos gerais;
- Problemas no abastecimento de água;
- Queda da produtividade agrícola devido à desidratação do solo (ressecamento) e perda de nutrientes;
- Elevação dos preços dos alimentos;
- Comprometimento da segurança e do funcionamento do transporte aéreo e rodoviário devido à redução da visibilidade;
- Suspensão de atividades educacionais e de lazer;
- Contribuição para as mudanças climáticas (aumento das secas, inundações, tempestades, ciclones, desertificação e outros).

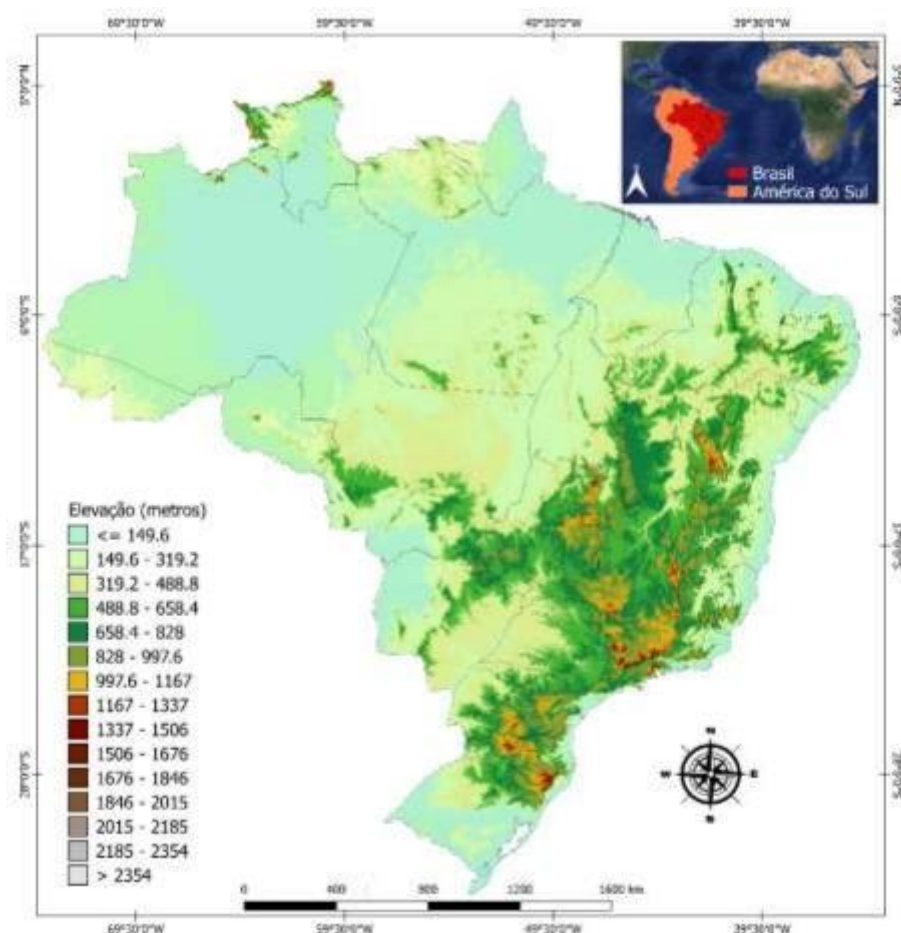
O fator socioeconômico sofre com as consequências do fogo, pela diminuição de áreas de recreação e por danos associados pela destruição de ambientes florestais. O incêndio causa a perda do solo e deixa uma cor enegrecida ao ambiente (Guimarães et al., 2014).



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1 - Área de Estudo

O Brasil está localizado no centro-oriental da AS, com uma área equivalente a 8,515 milhões km<sup>2</sup>, com cerca de 47% da AS. O Brasil é banhado pelo Oceano Atlântico. Atualmente, o Brasil está geopoliticamente dividido em 26 estados e um Distrito Federal; sendo cinco regiões: Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-oeste (IBGE 2020). Segundo a classificação climática de Köppen caracterizado por Alvares et al. (2013), o Brasil apresenta clima tropical (81%), clima subtropical úmido (14%) e seco (5%), com uma estação chuvosa (verão) e outra seca (inverno).



**Figura 1** - Delimitação do Brasil a partir da elevação (m). **Fonte:** Autor (2021)

O relevo brasileiro é definido por baixas e médias altitudes, com predominância de planaltos e depressões. O Brasil tem seis tipos de biomas: i)

Floresta Amazônia, ii) Mata Atlântica, iii) Cerrado, iv) Caatinga, v) Pantanal e vi) Pampa - (Landau e Moura, 2020).

## 4.2 - Regiões do Brasil

A Região Norte é a maior em extensão territorial, com uma área total de 3,85 milhões de km<sup>2</sup> e uma população de 18,4 milhões de habitantes, sendo 4,14 milhões de habitantes na Amazônia. É composta por sete estados: Amazonas (AM), Pará (PA), Acre (AC), Rondônia (RO), Roraima (RR), Amapá (AP) e Tocantins (TO). Apesar de possuir a maior área do Brasil, a Região Norte não é muito populosa – (IBGE, 2020).

A Região Centro-Oeste cobre 22,24% do território nacional, é constituída pelos seguintes estados: Goiás (GO), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS) e pelo Distrito Federal (DF). Com uma área e população de aproximadamente 1,61 milhões de km<sup>2</sup> e 16,1 milhões de habitantes, o Centro-Oeste é a 2ª maior região do Brasil em superfície territorial, superada apenas pela Região Norte (IBGE, 2020).

A Região Nordeste é composta por nove estados: Maranhão (MA), Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA). Esta região possui uma área de aproximadamente de 1,56 milhões de km<sup>2</sup> e uma população de aproximadamente 57,1 milhões habitantes, equivalentes a 18% do território nacional e possui a maior costa litorânea do País – (IBGE, 2020).

A Região Sudeste é uma das menores do Brasil, com uma extensão de aproximadamente 924,62 mil km<sup>2</sup>, ocupando 10,85% do território brasileiro. O Sudeste é a região mais populosa do país com aproximadamente 85 milhões de habitantes, formada pelos estados de São Paulo (SP), Minas Gerais (MG), Rio de Janeiro (RJ) e Espírito Santo (ES) – (IBGE, 2020).

A Região Sul é formada por três estados: Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), em uma área de 576,8 mil km<sup>2</sup>, apenas 6,76% de todo o território nacional – (IBGE, 2020). A menor região do País e a única fora da zona intertropical banhada pelo Oceano Atlântico e possui cerca de 30 milhões de habitantes.

## 4.3 – Dados

### 4.3.1 – Focos de Calor

Os registros de FC foram provenientes do BDQueimadas disponibilizado pelo CPTEC/INPE (CPTEC/INPE, 2020). Tais registros são obtidos de imagens dos seguintes sensores orbitais: i) AVHRR/3 (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) dos satélites NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19 e METOP-B; ii) MODIS das plataformas orbitais TERRA e AQUA; iii) VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) dos satélites NPP da versão SUOMI; e iv) imagens de satélites GOES das versões 13 e 16 e a terceira geração do MSG.

Atualmente, o monitoramento a partir dos satélites ambientais (Órbita Polar e Geoestacionário) na AS é realizado pelo CPTEC/INPE, de maneira contínua (Santos et al., 2021). Todos os registros foram contabilizados como *pixels* (4 km x 4 km), e posteriormente armazenados para a composição dos mapas anuais de FC (Apêndice A1). Após a conversão e armazenamento destes *pixels*, os mesmos foram redimensionados para uma grade de resolução de 0,25° x 0,25° (aproximadamente 28 km x 28 km), processados a partir do software de ambiente R versão 3.6-1 (R Core Team Development, 2019).

### 4.3.2 – Produto CHIRPS

De maneira complementar para detecção dos períodos de maior incidência de Focos de Calor, utilizou-se a versão 2.1 do produto de precipitação *Climate Hazard Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS) - (Funk et al., 2015a; Correia Filho et al., 2021). Estes dados possuem resolução espacial de 0.05° x 0.05°, disponível no seguinte endereço: <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0>. Este produto tem sido amplamente utilizado, pois apresenta uma boa consistência em regiões com alta densidade de estações, sendo verificadas por Funk et al. (2015b), Costa et al. (2020), inclusive sendo usado como referência em regiões remotas ou de

cobertura de pluviômetros deficiente ou ausente (Costa et al., 2019; Oliveira-Júnior et al., 2021; Correia Filho et al., 2021).

Neste presente trabalho, criou-se inicialmente a climatologia da precipitação sobre o Brasil, com base nos acumulados mensais e anuais de precipitação obtidos do período de 1991-2020. Em seguida, calculou-se as anomalias de precipitação anual (Apêndice A2), porém restrita ao período de FC analisado, entre os anos de 1999-2020. Após a identificação dos anos mais destacados de precipitação, buscou-se correlacionar a incidência de FC aos anos mais anômalos de precipitação, constatado pelo histograma com as anomalias anuais de precipitação (Apêndice A3).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

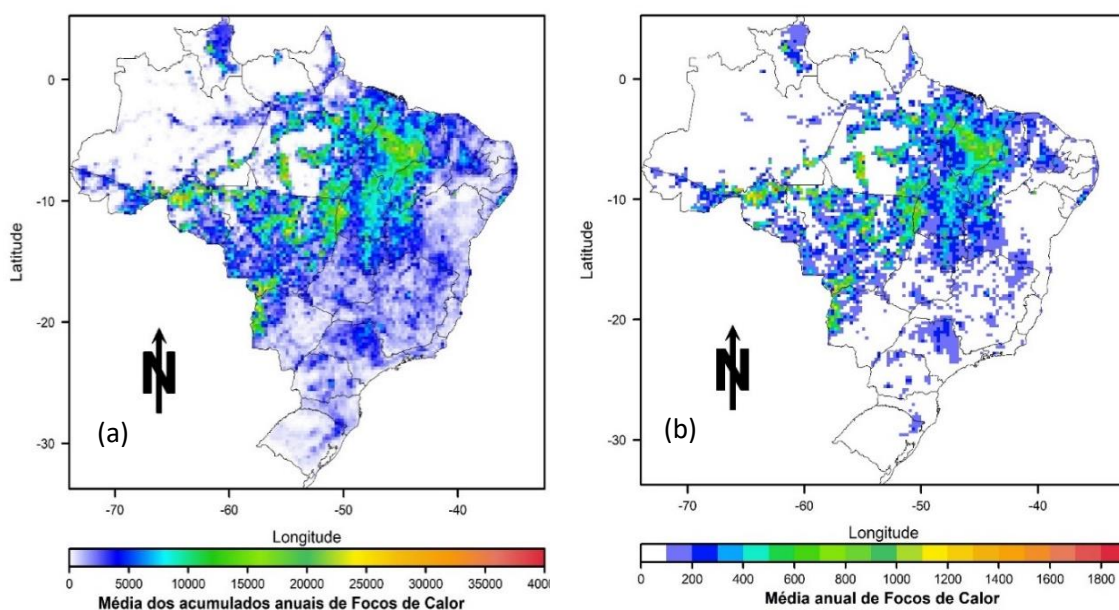
Parte dos resultados apresentados a seguir estão publicados na revista *Research, Society and Development*, v. 10, n. 7, e3731071612, no ano de 2021.

### **5.1– Distribuição Espacial dos Focos de Calor no Brasil**

O total e a média anual dos FC no Brasil são apresentados na Figura 2 (Apêndice A1). A distribuição espacial dos totais de FC apresentam variabilidade ao longo do período, os resultados obtidos corroboram com o estudo realizado anteriormente por Caúla et al. (2015). A alta variabilidade dos FC nos estados brasileiros, estão relacionados com o aumento do desmatamento, o avanço da expansão agrícola e das mudanças no clima (Oliveira et al., 2021).

Nos últimos anos, ações desenvolvidas pelo Governo Federal (atividade agropecuária e desmatamento) contribuíram para a variabilidade dos FC, sendo relacionada à expansão agrícola no país (IBGE, 2012). Além disso, as práticas na limpeza dos pastos, queimadas criminosas, desmatamento e a variabilidade dos sistemas meteorológicos ajudam na dinâmica dos FC no Brasil (Bontempo et al. 2011; Caúla et al. 2015; Clemente et al., 2017).

Os maiores registros de FC estão localizadas na região Centro-Norte do Brasil, nas proximidades das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, destaque para os estados do Mato Grosso, Tocantins, Piauí, Maranhão, Pará e Bahia. Esse aumento está diretamente relacionado com o processo de desmatamento e o avanço da expansão agrícola. Os menores registros foram identificados no estado do Rio Grande do Sul (RS) e Amazonas (< 0,5 mil FC). Essa menor incidência dos FC no RS pode estar associada a passagens de Sistemas Frontais (SF), associados com baixas temperaturas, que ocasiona chuvas e ressecamento do material vegetal, diminuindo a ocorrência de FC na região (Tassi, 2008; EMBRAPA, 2020). Já em relação ao Amazonas, essa diminuição no FC está associada com intenso monitoramento do corpo de Bombeiros na região que identificam as áreas queimadas de forma irregular para punir os responsáveis (INPE, 2020).



**Figura 2** - Distribuição espacial de FC no Brasil entre os anos de 1999 e 2020, relativos ao total (a), médio anual (b), respectivamente. **Fonte:** Autor (2021).

Os totais de FC detectados (Figura 2a) estão distribuídos entre a parte central do Maranhão e sul do Tocantins, com variação entre 5- 27 mil FC. Destaque para o estado de Alagoas com registros de 5-25 mil FC, ao contrário, dos estados do Mato Grosso do Sul e Rondônia com valores superiores (>25 mil FC). O aumento de FC no estado de Alagoas estão associados com a colheita intensa da cana-de-açúcar conforme verificado por Oliveira-Júnior et al.

(2020b). Entretanto, nos estados de Mato Grosso do Sul, esse aumento está relacionado com o avanço da expansão agrícola extensiva (Oliveira-Júnior et al., 2020a).

A distribuição anual média dos FC (Figura 2b) mostrou similaridade com o total dos FC e, ainda confirma que os estados do Mato Grosso e Maranhão, com os maiores valores médios de FC, entre 750 a 1.500 FC. Vale destacar que os estados do Mato Grosso do Sul, Rondônia e Pará com registros médios entre 500 a 1.500 FC.

Vale ressaltar que o desmatamento no Brasil ocorre em todos os biomas existentes, ou seja, desde Mata Atlântica até o Pantanal (Landau e Moura, 2020), e tem sido associado com a expansão de consórcios agrícolas, por exemplo, MATOPIBA (acrônimo formado pelos estados do MA, TO, PI e BA) - (Assis et al., 2021), porém, maior destaque é dado ao processo de desmatamento na Amazônia, sendo resultante da exploração ilegal de madeira, mineração, além da expansão agrícola conforme identificado anteriormente por Caúla et al. (2015) e, recentemente por Oliveira et al. (2021), sendo principal vetor de aumento dos FC no (Morissette et al. 2005; Oliveira-Júnior et al., 2020a).

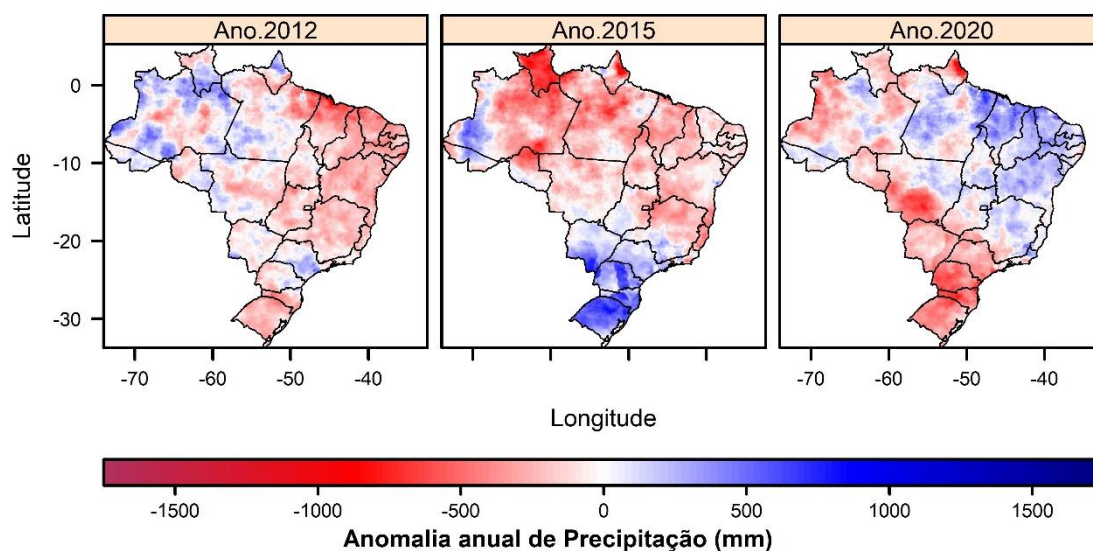
Já a região Centro-Oeste obteve um crescimento significativo nas últimas décadas, principalmente nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, que utiliza a pecuária extensiva, além da produção de milho, soja e leite - *commodities* (Caúla et al. 2015; Oliveira-Júnior et al., 2020a). A queimada no Brasil é uma prática rápida e barata, sendo utilizado com frequência pelos agricultores, na limpeza do solo e renovação de pastagens, principalmente na região Centro-Oeste (França e Setzer, 2001; Chuvisco et al. 2008; IBGE 2012).

Outro fator importante no aumento e na variabilidade dos FC é as mudanças no uso e ocupação do solo, que por sua vez são intensificados pelo desmatamento que ajuda na exposição da vegetação (Correia Filho et al., 2018), seguido da perda da biomassa e aumento dos stress hídrico (Marengo et al., 2016).

A variabilidade climática juntamente com o processo antrópico, neste caso, a expansão agrícola ocasionara em secas em alguns biomas brasileiros (Apêndice A1), sua frequência e intensidade variaram de região para região (Marengo et al., 2009; Clemente et al., 2017).

## 5.2 – Focos de Calor Anual no Brasil

Após a análise dos acumulados e médias anuais de FC, criou-se os mapas anuais de FC (Apêndice A1) com a finalidade de selecionar os três anos de maior ocorrência de FC. Para auxiliar nesta escolha, utilizou-se as anomalias anuais de precipitação espaciais (Apêndice A2) e tabulados (com as classes entre -2000 e -1000, -1000 e -500, -500 e 0, 0 e 500, 500 e 1000, 1000 e 2000 mm/ano, inclusos no apêndice A3) do produto CHIRPS. Desta maneira, os anos selecionados foram 2012, 2015 e 2020, para os quais estão dispostos o comportamento da anomalia de precipitação (Figura 3) e a o acumulado anual de FC (Figura 4), dos respectivos anos.



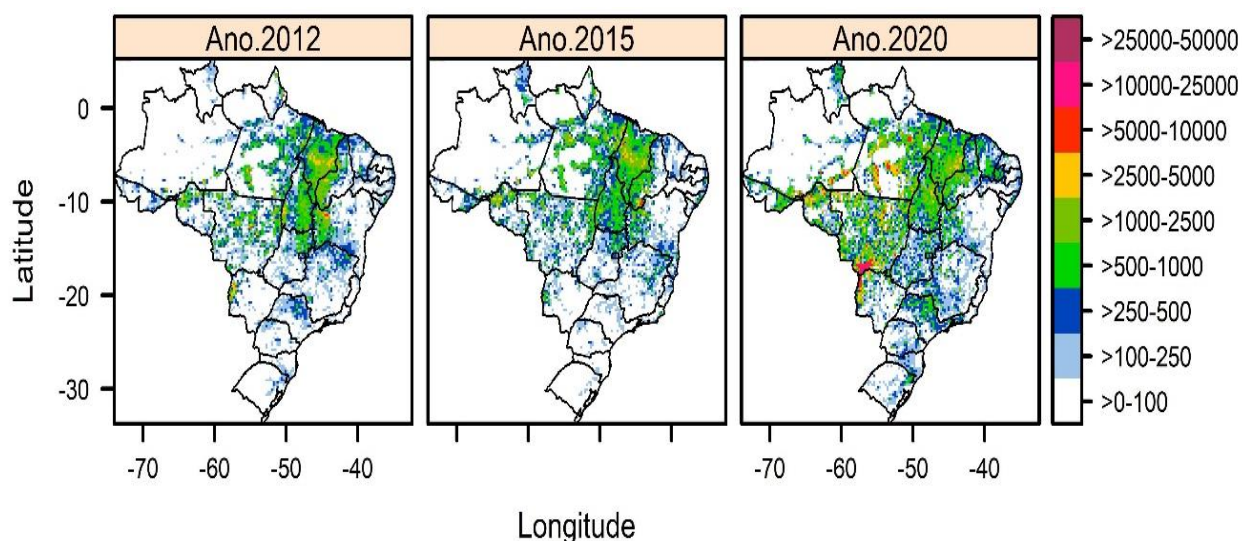
**Figura 3** - Distribuição da Anomalia de Precipitação no Brasil nos anos de 2012, 2015 e 2020, respectivamente. **Fonte:** Autor (2021).

Analisando e comparando as Figuras 3 e 4, as anomalias de precipitação apresentou relação com os episódios de El Niño. Em períodos de ocorrência de El Niño a anomalia foi negativa, com cerca de -500 mm/ano, ou seja, ocasionou maiores concentrações de FC foram os estados do Mato Grosso, Tocantins, Maranhão, Piauí e Bahia, onde a escassez de chuvas teve uma contribuição importante, principalmente nos anos de 2012 e 2015.

A atuação do El Niño trouxe diversos prejuízos para diversas regiões do Brasil, por exemplo, com períodos de estiagem e secas severas, que resultou em incêndios na região da Amazônia (Diniz et al., 2019) e no bioma Pantanal

(Lacerda et al., 2019). As mudanças na dinâmica das chuvas estão relacionadas com os episódios de secas, resultando em altas concentração de FC no Brasil (Pereira e Silva, 2016; Santos et al., 2021).

Houve compatibilidade nas regiões com altas concentrações FC em decorrer dos anos, com um crescimento no ano de 2015 e 2020, devido ao longo período de estiagem, ocasionado pela atuação do El Niño forte (Clemente et al., 2017), que contribui para intensificação dos FC na região (Marengo et al., 2021). Os eventos de El Niño e La Niña estão relacionados com os anos de maiores concentrações de FC (Santos et al., 2021).



**Figura 4** - Total anual de FC no Brasil nos anos de maior ocorrência: 2012, 2015 e 2020, respectivamente. **Fonte:** Autor (2021).

Entre esses três anos, o ano de 2012 teve as menores concentrações de FC, sendo registrados 2,5-5 mil FC, principalmente nos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, a ocorrência desses FC está associada com a escassez de chuvas, provocando episódios de secas nas regiões (IMESC, 2017).

Em 2015, os registros de FC foram equivalentes a 5-10 mil FC, com maiores registros nos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, devido a atuação do El Niño (Silva Junior et al., 2019) e longo período de estiagem nas regiões (Marengo et al., 2021), que por sua vez contribuiu de forma significativa para os registros de FC no período. Não se descarta a influência do consórcio agrícola MATOPIBA, no aumento dos FC, visto que ambos os estados fazem parte (Assis et al., 2021).

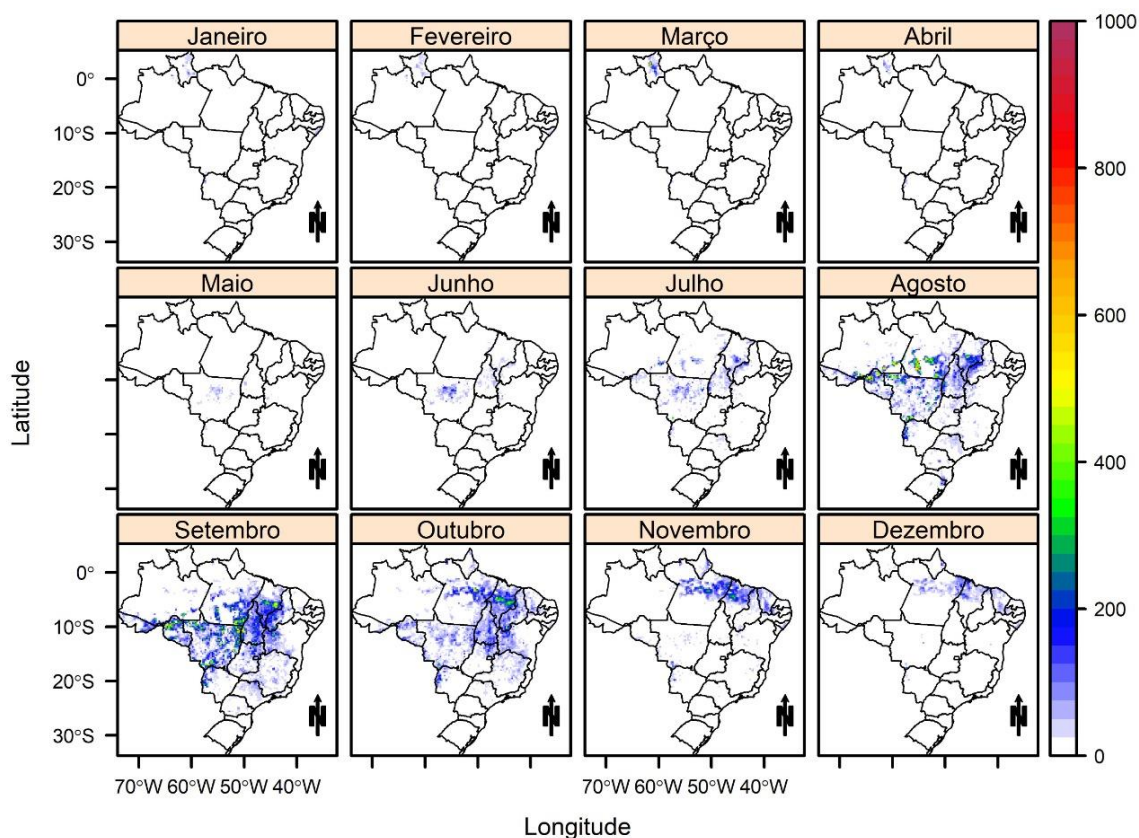


Os anos identificados com os maiores registros de FC (Figura 3) mostraram que os estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Tocantins, Pará e Maranhão novamente com as ocorrências de FC, entre 2,5 a 25 mil FC. Tais registros se devem as ações antrópicas existentes nestes estados, principalmente o uso extensivo da Agricultura e processo desmatamento (Assis et al., 2021).

Em relação ao ano de 2020, obteve as maiores concentração dos FC na região, sendo 10-25 mil registros de FC no período. Com maiores concentrações nos estados Mato Grosso do Sul, Rondônia e Roraima, resultado do desmatamento nas regiões (Assis et al., 2021).

### **5.3 – Focos de Calor Mensal no Brasil**

Os maiores registros mensais de FC ocorreram nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste (Figura 5). No período de agosto e dezembro ocorreu entre 200 a 400 FC. De acordo com Santos et al. (2014) o clima seco associado com aglomerado de biomassa e ventos fortes, contribuem para a ocorrência desses FC. Os resultados obtidos anteriormente por Caúla et al. (2015) e, recentemente Santos et al. (2021) avaliaram que a relação entre o período seco e chuvoso, associados com a baixa umidade ajudam na ocorrência dos FC, relacionado com o uso e ocupação do solo e o desmatamento.



**Figura 5** - Distribuição mensal dos FC no Brasil, durante o período de 1999 e 2020, respectivamente. **Fonte:** Autor (2021).

Os maiores registros dos FC foram de 5 – 47 mil ocorrências de FC, nas regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste, nos estados do Pará, Maranhão, Mato Grosso, Bahia, Piauí e Tocantins (Figura 5). O aumento significativo das áreas desmatadas, associado com as queimadas cresceu equivalente a 41% no ano de 2019 (INPE, 2020). Os resultados obtidos no estudo corroboraram com os dados oriundos do MAPBIOMAS ALERTA (2020) que por sua vez mostrou que os valores de desmatamento no ano de 2020 foram equivalentes a 1.385,3 mil ha de área desmatada, cerca 14% da área total. No bioma da Amazônia, foi desmatada uma área de 843 mil ha (60,9% da área total), seguido do Cerrado 432 mil ha, da Caatinga 61,4 mil ha, do Pantanal com 23,7 mil ha, da Mata Atlântica com 23,9 mil ha e o Pampa com 1,3 mil ha.

## **6 – CONCLUSÕES**

O estudo aponta que os maiores registros de FC ocorreram nos estados do Mato Grosso, Tocantins, Piauí, Maranhão, Pará e Bahia motivados pelo desmatamento desenfreado, expansão agrícola e as mudanças no clima. No mapeamento das regiões com maiores registros de FC no Brasil, a região Centro-Oeste lidera, associado pelo aumento dos consórcios agrícolas, MATOPIBA.

Os anos com maiores números de FC tem relação com o desmatamento, associado a atuação das fases do ENOS, sendo constatados pelas anomalias negativas de precipitação, ocasionado escassez de chuvas, altas temperaturas, baixa umidade do ar e episódios de seca, que resulta em altas concentrações de FC seguindo de grandes incêndios no bioma Pantanal e no estado do Mato Grosso do Sul.

Os meses de agosto a setembro são os meses mais favoráveis para a ocorrência de FC no Brasil, associados com períodos secos, ventos fortes e baixa umidade do ar. Com base no diagnóstico dos FC, os incêndios florestais e quase queimadas são um dos maiores problemas de impactos ambientais e socioeconômicos no Brasil. Por meio deles há danos no ecossistema, empobrecimento dos solos e perda da biodiversidade. Portanto, é extremamente importante a identificação e monitoramento via FC, visto que ele pode ser usado na prevenção e no combate dos incêndios no Brasil.

## **7 – RECOMENDAÇÕES**

Avaliar a interação dos sistemas meteorológicos, neste caso, sistemas de mesoescala e escala sinótica para detectar padrões dos focos de calor no Brasil, e constatar a influência desses na ocorrência de grandes incêndios.

Relacionar as mudanças de uso e ocupação do solo em decorrência do aumento dos focos de calor no processo inicial da origem dos focos de calor e possíveis incêndios

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, T. O., ESCADA, M. I. S., AMARAL, S. **Effects of Deforestation over the Cerrado Landscape: A Study in the Bahia Frontier**. Land, 10 (4), 352, 2021.

BATISTA, A.C.; BEUTLING, A.; PEREIRA, J.F. **Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de Pinus elliottii**. *Árvore*, v. 37, n. 5, p. 779- 787, 2013.

CANSLER, C.A.; MCKENZIE, D. **Climate, fire size, and biophysical setting control fire severity and spatial pattern in the northern Cascade Range, USA**. *Ecological Applications*, v. 24, n. 5, p. 1037-1056, 2014.

CARRERO, Gabriel Cardoso; ALVES, C. S. **Queimadas e incêndios na Amazônia: impactos ambientais e socioeconômicos, prevenção e combate**. IBAM, Rio de Janeiro, p. 11, 2016.

CAÚLA, R. H. et al. **Focos de Incêndio no Estado do Rio de Janeiro no Período de 2000-2012 por meio de Satélites Meteorológicos**. In: VIII Workshop de Micrometeorologia, Santa Maria-RS. Resumos. Santa Maria, UFSM. p.122, 2013.

CAÚLA, RH, OLIVEIRA-JÚNIOR, JF, LYRA, GB, DELGADO, RC, HEILBRON FILHO, PFL. **Visão geral das causas e locais dos focos de incêndio no Brasil com base em dados de satélites meteorológicos de 1998 a 2011**. *Environmental Earth Sciences*, 74 (2), 1497-1508, 2015.

CHUVIECO, E., AGUADO, I., YEBRA, M., NIETO, H., SALAS, J., MARTÍN, MP. et al. **Desenvolvimento de um framework para avaliação de risco de incêndio usando tecnologias de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica**. *Ecological Modeling* 221 (1), 46-58, 2010.

CLEMENTE, S. S., OLIVEIRA JÚNIOR, J. F., LOUZADA, M. A. P. **Focos de Calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32, 669-677, 2017.

CLIMANÁLISE. (2021). **Boletins Mensais Climatológicos**. Disponível:<  
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>

CORREIA FILHO, W. L. F., DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., DA SILVA JUNIOR, C. A., SANTIAGO, D. D. B. **Influence of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and the Synoptic Systems on the Rainfall Variability over the Brazilian Cerrado via CHIRPS Data**. International Journal of Climatology, 2021.

CORREIA FILHO, WLF, DE OLIVEIRA-JÚNIOR, JF, DE BARROS SANTIAGO, D., DE BODAS TERASSI, PM, TEODORO, PE. et al. **Variabilidade das chuvas nos biomas do nordeste brasileiro e suas interações com sistemas meteorológicos e ENSO via produto CHELSA**. Big Earth Data, 3 (4), 315-337, 2019.

COSTA, G. A., FIRMINO, C. T., PIROVANI, D. B. **Análise da aplicação do sensoriamento remoto na detecção de focos de calor**. Anais do Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica. São José dos Campos: UNIVAP, 2017.

COSTA, J. C.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; SILVA CARDOZO, F.; SILVA, V. V. **Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, 24 (15): 229-243, 2019.

CPTEC/INPE – **Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. BDQUEIMADAS. Disponível em: < <http://www.cptec.inpe.br/queimadas/>. Acesso em: agosto, 2020.

FANG, L., YANG, J., ZU, J., LI, G., ZHANG, J. **Quantifying influences and relative importance of fire weather, topography, and vegetation on fire size and fire severity in a Chinese boreal forest landscape**. Forest Ecology and Management, 356, 2-12, 2015.

FENG, X., MEROW, C., LIU, Z. et al. **Como a desregulamentação, a seca e o aumento do fogo impactam a biodiversidade amazônica**. Nature 597, 516-521, 2021.

FERNANDES, T., HACON, S., NOVAIS, J. W., SOUSA, I., FERNANDES, T. **Deteção e análise de focos de calor no município de Parauapebas-PA, Brasil por meio da aplicação de geotecnologia.** Enciclopédia Biosfera, 15(28), 2018.

FERREIRA FILHO, JOÃO EUFRÁSIO; ARAÚJO, ALEXANDRE COSTA. **Análise de Ocorrências de Incêndios Florestais na área do Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza, CE.** Revista Brasileira de Meteorologia, 2021.

FLORES, B. M., DE SA DECHOUM, M., SCHMIDT, I. B., HIROTA, M., ABRAHÃO, A., VERONA, L. et al. **Tropical riparian forests in danger from large savanna wildfires.** Journal of Applied Ecology, 58(2), 419-430, 2021.

FONSECA, M. G., ALVES, L. M., AGUIAR, A. P. D., ARAI, E., ANDERSON, L. O., ROSAN, T. M. et al. **Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon.** Global change biology, 25(9), 2931-2946, 2019.

FONSECA, M. G., ANDERSON, L. O., ARAI, E., SHIMABUKURO, Y. E., XAUD, H. A. et al. **Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015–2016 El Niño event.** Ecological applications, 27(8), 2514-2527, 2017.

FUNK, C., VERDIN, A., MICHAELSEN, J., PETERSON, P., PEDREROS, D., HUSAK, G. A. **The climate hazards infrared precipitation with record for monitoring extremes.** Scientific Data, 2(1): 10-66, 2015a.

FUNK, C., VERDIN, A., MICHAELSEN, J., PETERSON, P., PEDREROS, D., HUSAK, G. A. **Global satellite-assisted precipitation climatology.** Earth System Science Data, 7(2): 275-287, 2015b.

GARCÍA-ORTEGA, E., TROBAJO, M. T., LÓPEZ, L., SÁNCHEZ, J. L. **Synoptic patterns associated with wildfires caused by lightning in Castile and Leon, Spain.** Natural Hazards and Earth System Sciences, 11(3), 851-863, 2011.

GIRARDI, E. P. **Agronegócio sucro energético e desenvolvimento no Brasil. Confins.** Revista Franco-Brasileira de Geografia, 40, 2019.

GITAS, I., MITRI, G. VERAVERBEKE, S., POLYCHRONAKI, A. **Advances in Remote Sensing of Post-Fire Vegetation Recovery Monitoring – A Review.** Remote Sensing of Biomass - Principles and Applications, Ed. In Tech Europe, p. 322, 2012.

GUERRA, A., DE OLIVEIRA, P. T. S., DE OLIVEIRA ROQUE, F., ROSA, I. M., OCHOA-QUINTERO, J. M. et al. **The importance of Legal Reserves for protecting the Pantanal biome and preventing agricultural losses.** Journal of environmental management, 260, 110128, 2020.

GUIMARÃES, P., SOUZA, S., FIEDLER, N. C., SILVA, A. **Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal.** Agrarian Academy, 1(01), 2014.

HAMMIL, K.; PENMAN, T.; BRADSTOCK, R. **Responses of resilience traits to gradients of temperature, rainfall and fire frequency in fire-prone, Australian forests: potential consequences of climate change.** Plant Ecology, v. 217, n. 6, p. 403-412., 2016.

HANTSON, S.; PUEYO, S.; CHUVIECO, E. **Global fire size distribution: From power law to log-normal.** International Journal of Wildland Fire, v. 25, n. 4, p. 403-412, 2016.

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021).

**INPE** - Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais. **Dados pontuais de focos ativos de calor – Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real – DETER**, 2021.

**IPCC** – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, 2021

LACERDA, I. B. S., AMARAL, M., OLIVEIRA, L., RIVERA-LOMBARDI, R. **Estudo preliminar sobre a incidência de incêndios florestais em Unidades**

**de Conservação pertencentes ao projeto GEF Terrestre.** Biodiversidade Brasileira-BioBrasil, (1), 250-250, 2019.

LANDAU, E. C., MOURA, L. **Configuração territorial do Brasil: divisão política, biomas, características demográficas e socioeconômicas.** Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico, 2020.

LOPES, A. C. L., FREITAS, A. V. M., DA COSTA, D. O., BELTRÃO, N. E. S., TAVARES, P. A. **Análise da distribuição de focos de calor no município de Novo Progresso, Pará.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 12(2), 298-303, 2017.

MACHADO, N. G., DA SILVA, F. C. P., BIUDES, M. S. **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, 2014.

MARENGO, J. A., TORRES, R. R., ALVES, L. M. **Drought in Northeast Brazil – past, present, and future.** Theoretical and Applied Climatology, p. 1-12, 2016.

MARINHO, A. A. R., DE GOIS, G., DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., CORREIA FILHO, W. L. F., DE BARROS SANTIAGO, D. et al. **Temporal record and spatial distribution of fire foci in State of Minas Gerais, Brazil.** Journal of Environmental Management, 280, 111707, 2021.

MATAVELI, G. A. V., SILVA, M. E. S., PEREIRA, G., KAWAKUBO, F. S., BERTANI, G. et al. **Análise das queimadas e da precipitação em áreas de Cerrado do Maranhão a partir de dados do sensor MODIS e do satélite TRMM para o período 2002-2015.** Boletim Paulista de Geografia, (96), 11-30, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado.** Brasília: MMA, p. 200, 2011.

OLIVEIRA, B. C. C., DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., PEREIRA, C. R., SOBRAL, B. S., DE GOIS, G. et al. **Spatiotemporal variation of dry spells in the State**



**of Rio de Janeiro: Geospatialization and multivariate analysis.** Atmospheric Research, 257, 105612, 2021.

OLIVEIRA, U., SOARES-FILHO, B., DE SOUZA COSTA, W. L., GOMES, L., BUSTAMANTE, M. et al. **Modeling fuel loads dynamics and fire spread probability in the Brazilian Cerrado.** Forest Ecology and Management, 482, 118889, 2021.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., CORREIA FILHO, W. L. F., ALVES, L. E. R., LYRA, G. B., DE GOIS, G. et al. **Fire foci dynamics and their relationship with socioenvironmental factors and meteorological systems in the state of Alagoas, Northeast Brazil.** Environmental Monitoring and Assessment, 192(10), 1-26, 2020b.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., DA SILVA JUNIOR, C. A., TEODORO, P. E., ROSSI, F. S., BLANCO, C. J. C. et al. **Confronting CHIRPS dataset and in situ stations in the detection of wet and drought conditions in the Brazilian Midwest.** International Journal of Climatology, 2021.

OLIVEIRA-JUNIOR, J. F., TEODORO, P. E., DA SILVA JUNIOR, C. A., BAIO, F. H. R., GAVA, R., CAPRISTO-SILVA et al. **Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil.** Agricultural and Forest Meteorology, 282, 107861, 2020a.

PARKS, S. A., PARISIEN, M. A., MILLER, C., DOBROWSKI, S. Z. **Fire activity and severity in the western US vary along proxy gradients representing fuel amount and fuel moisture.** PLoS One, 9(6), e99699, 2014.

PEREIRA, J.A.V., SILVA, J. B. **Detecção de Focos de Calor no Estado da Paraíba: Um Estudo Sobre As Queimadas.** Revista Geográfica Acadêmica, 10 (1), 5-16, 2016.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. (2019). **R: A language and environment for statistical computing version 3.6-1.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.r-project.org>, ISBN 3-900051-07-0

ROCHA, G. F., FERREIRA, L. G., FERREIRA, N. C., FERREIRA, M. E. **Detecção de desmatamentos no bioma Cerrado entre 2002 e 2009:**

**padrões, tendências e impactos.** Revista Brasileira de Cartografia, 63(3), 2011.

RUFFAULT, J., MORON, V., TRIGO, R. M., CURT, T. **Daily synoptic conditions associated with large fire occurrence in Mediterranean France: evidence for a wind-driven fire regime.** International Journal of Climatology, 37(1), 524-533, 2017.

SANTOS, C. T., CORREIA FILHO, W. L. F., DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F., DE BARROS SANTIAGO, D., BATISTA, B. A. **Diagnóstico espaço-temporal dos focos de calor no Brasil.** Research, Society and Development, 10(7), e3731071612-e3731071612, 2021.

SILVA JÚNIOR, L. A. S., DELGADO, R. C., PEREIRA, M. G., TEODORO, P. E., DA SILVA JUNIOR, C. A. **Fire dynamics in extreme climatic events in western amazon.** Environmental Development, 32, 100450, 2019.

SILVA, J. C. D., FIEDLER, N. C., RIBEIRO, G. A., SILVA JÚNIOR, M. C. D. **Avaliação de brigadas de incêndios florestais em unidades de conservação.** Revista Árvore, 27, 95-101, 2003.

TEBALDI, A. L. C., FIEDLER, N. C., SANT'ANNA, C. M., MINETTE, L. J. **Controle de Incêndios Florestais: Contribuições para o Corredor Central da Mata Atlântica.** Cariacica: IEMA, 2012.

TETTO, A. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; WENDLING, W. T. **Eficiência do combate aos incêndios florestais, no período de 1965 a 2009, na Fazenda Monte Alegre, Paraná.** Scientia Forestalis, v. 40, n. 96, p. 483 – 489, 2012.

TONINI, M., PEREIRA, M. G., PARENTE, J., OROZCO, C. V. **Evolution of forest fires in Portugal: from spatio-temporal point events to smoothed density maps.** Natural Hazards, 85(3), 1489-1510, 2017.

URRUTIA-JALABERT, R., GONZÁLEZ, M. E., GONZÁLEZ-REYES, Á., LARA, A., GARREAUD, R. **Climate variability and forest fires in central and south-central Chile.** Ecosphere, 9(4), e02171, 2018.

VADREVU, K.-P.; EATURU, A.; BADARINATH, K. V. S. **Fire risk evaluation using multicriteria analysis: a case study.** Environmental Monitoring Assessment, n. 166, p. 223-229, 2010.

VASCONCELOS, S. S. D., FEARNside, P. M., GRAÇA, P. M. L. D. A., SILVA, P. R. T. D., DIAS, D. V. **Suscetibilidade da vegetação ao fogo no sul do Amazonas sob condições meteorológicas atípicas durante a seca de 2005.** Revista brasileira de meteorologia, 30, 134-144, 2015.

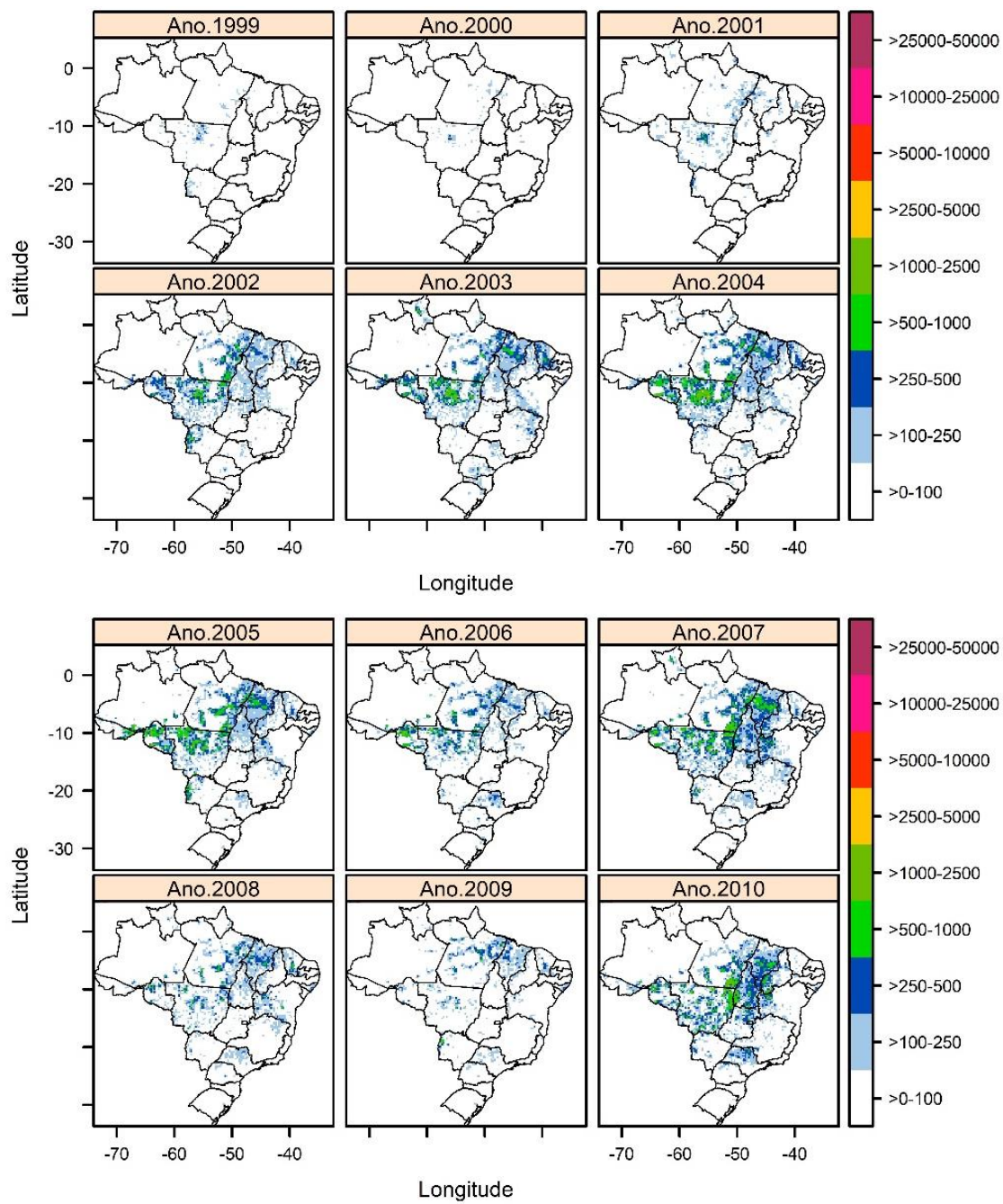
VIEGAS, D. X., REIS, R. M., CRUZ, M. G., VIEGAS, M. T. **Calibração do sistema canadiano de perigo de incêndio para aplicação em Portugal.** Silva Lusitana, 12(1), 77-93, 2004.

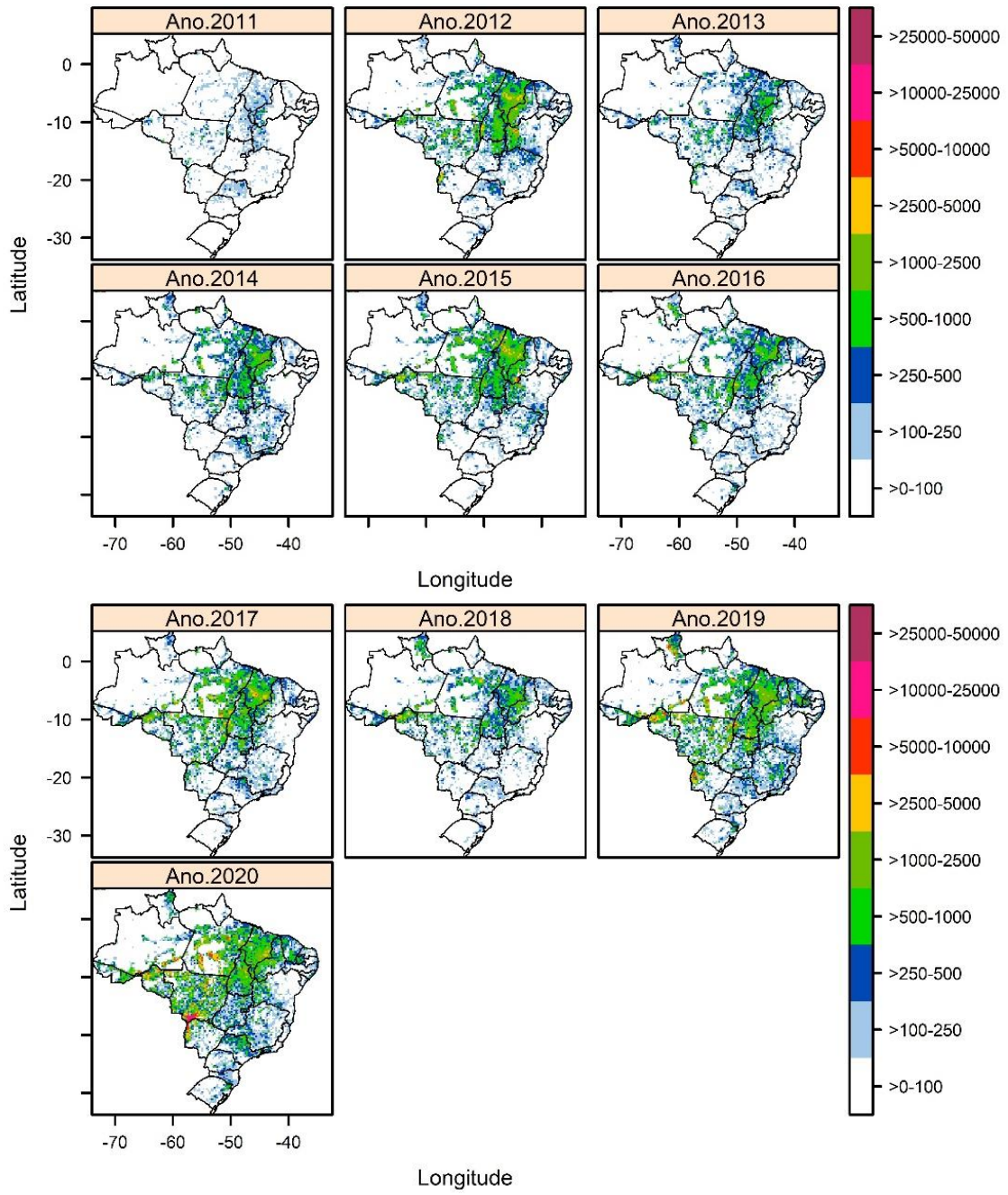
XIONG, Q., LUO, X., LIANG, P., XIAO, Y., XIAO, Q., SUN, H., PANG, X. **Fire from policy, human interventions, or biophysical factors**Temporal–spatial patterns of forest fire in southwestern China. Forest Ecology and Management, 474, 118381, 2020.

ZHANG, J. H., YAO, F. M., LIU, C., YANG, L. M., BOKEN, V. K. **Detection, emission estimation and risk prediction of forest fires in China using satellite sensors and simulation models in the past three decades—An overview.** International journal of environmental research and public health, 8(8), 3156-3178, 2011.

## Apêndice A1

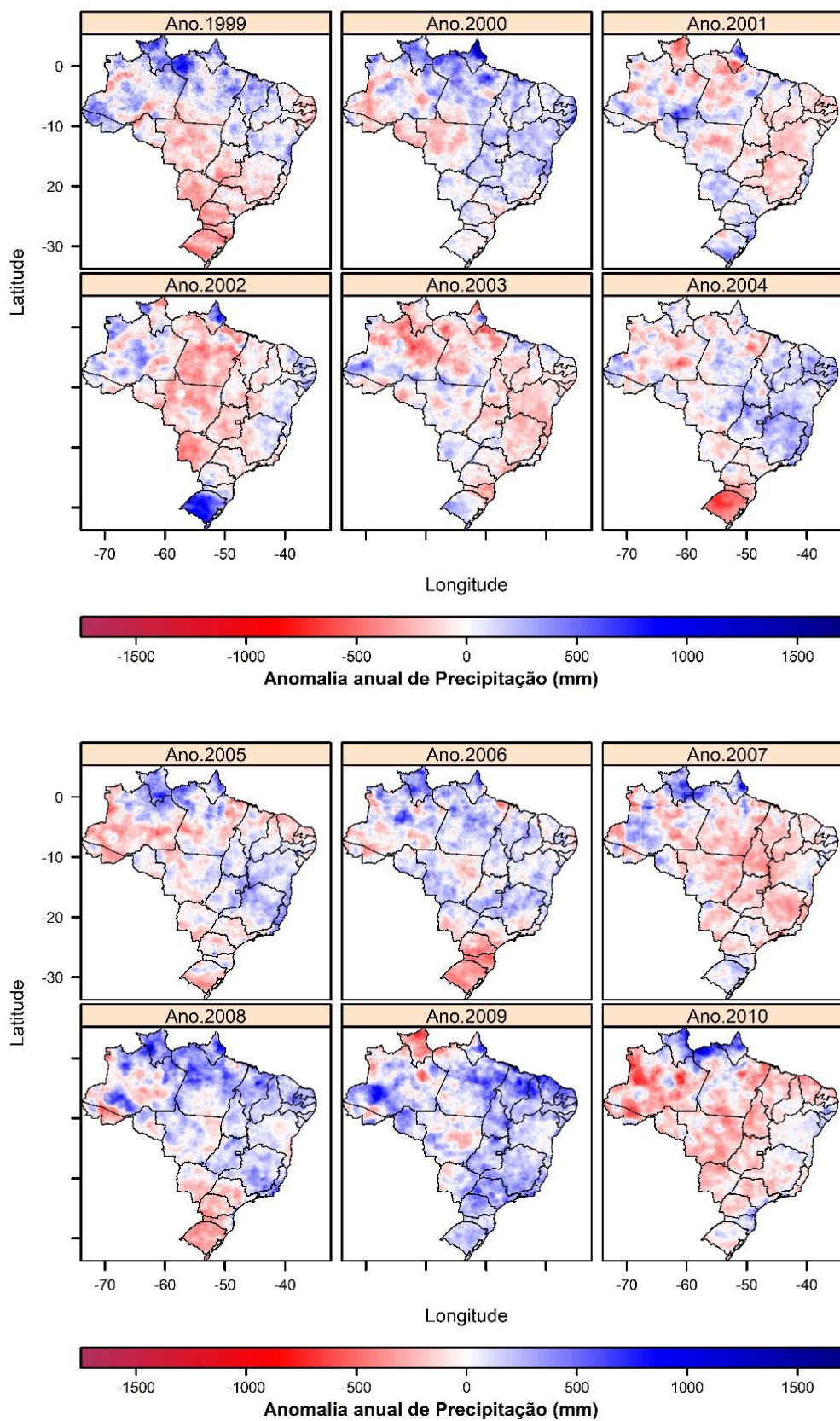
Acumulados anuais de Focos de Calor no Brasil durante o período de 1999-2020.

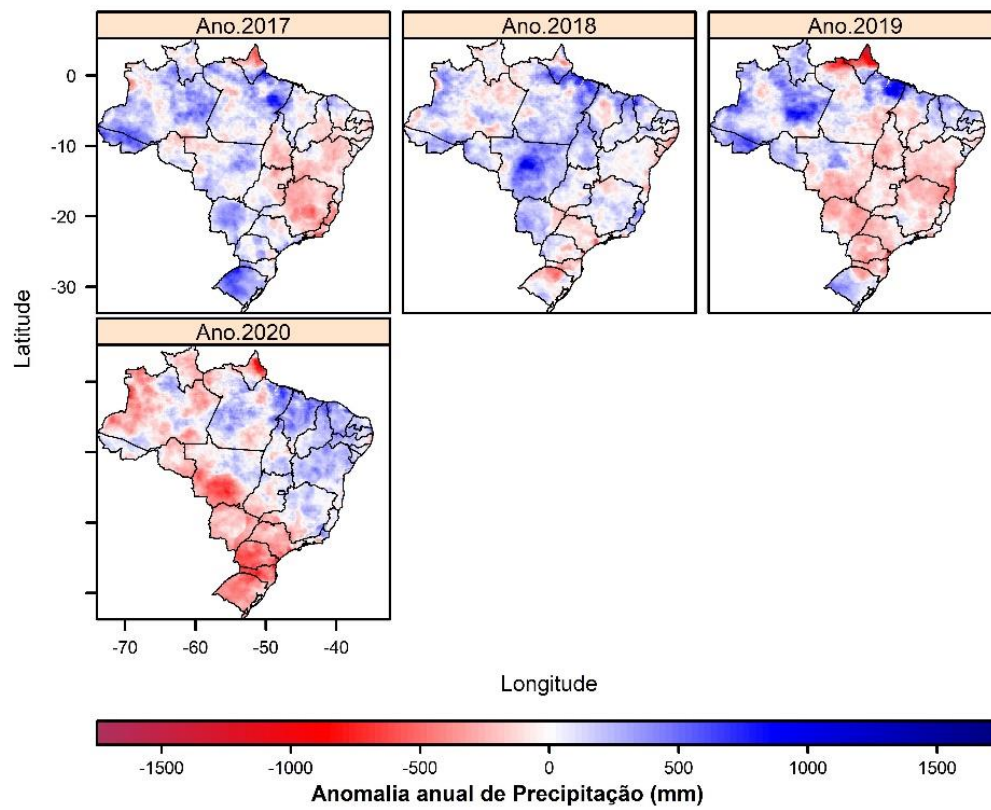
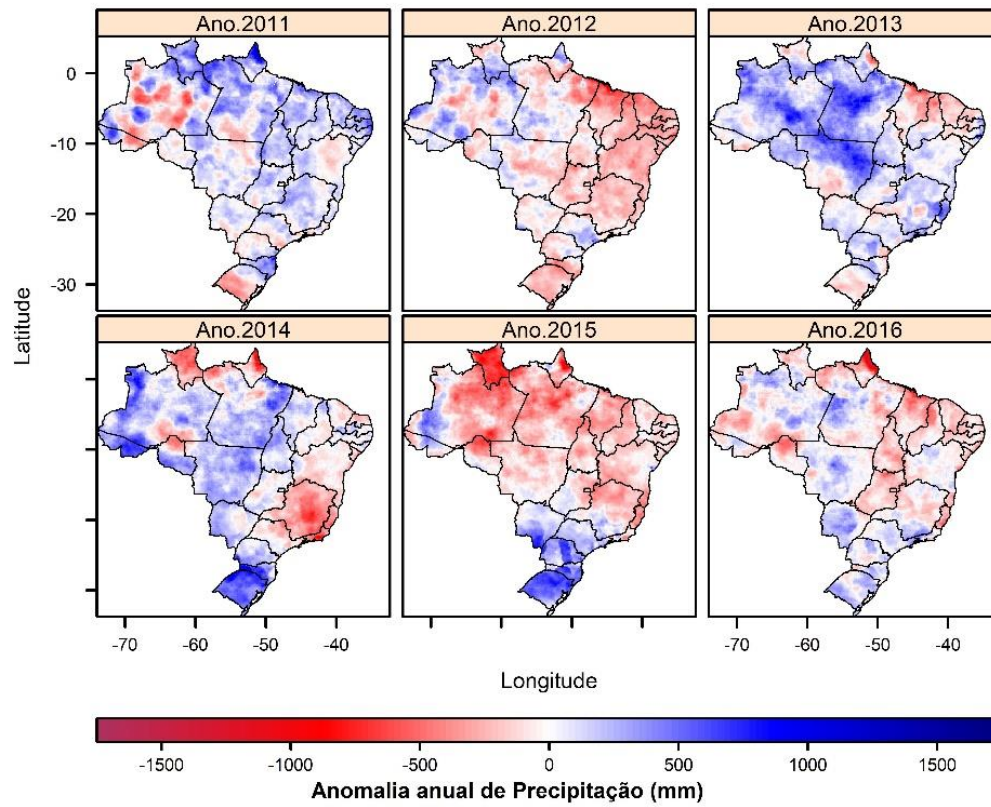




## Apêndice A2

Anomalias anuais de precipitação baseadas no produto CHIRPS, durante o período de 1999-2020, com base climatológica entre 1991-2020.





### Apêndice A3

Histograma com anomalias anuais de precipitação do Produto CHIRPS sobre o Brasil, durante o período de 1999-2020, e a média climatológica baseada no período de 1991-2020. Os percentuais correspondem aos intervalos das classes de anomalias entre: -2000 e -1000 mm/ano, -1000 e -500 mm/ano, -500 e 0 mm/ano, 0 e 500 mm/ano, 500 e 1000 mm/ano, e 1000-2000 mm/ano.

<b>Intervalos das anomalias de precipitação</b>
-2000 = -2000   -1000
-1000 = -1000   -500
-500 = -500   0
500 = 0   500
1000 = 500   1000
2000 = 1000   2000

<b>Intervalos</b>						
<b>Anos</b>	<b>-2000</b>	<b>-1000</b>	<b>-500</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>
<b>1999</b>	0.00	0.29	52.26	44.91	2.52	0.02
<b>2000</b>	0.00	0.00	31.55	65.84	2.17	0.44
<b>2001</b>	0.00	0.32	57.20	41.66	0.83	0.00
<b>2002</b>	0.00	0.15	63.34	33.23	3.28	0.00
<b>2003</b>	0.00	0.66	66.25	32.86	0.22	0.00
<b>2004</b>	0.00	1.67	39.36	58.80	0.17	0.00
<b>2005</b>	0.00	0.14	48.24	50.45	1.18	0.00
<b>2006</b>	0.00	0.24	35.01	63.38	1.36	0.00
<b>2007</b>	0.00	0.10	66.09	31.84	1.37	0.00
<b>2008</b>	0.00	0.17	30.58	64.57	4.67	0.00
<b>2009</b>	0.00	0.58	17.96	75.11	6.32	0.04
<b>2010</b>	0.00	2.17	69.65	26.15	1.90	0.13
<b>2011</b>	0.00	0.81	29.77	66.06	3.19	0.16
<b>2012</b>	0.03	1.75	67.70	30.20	0.32	0.00
<b>2013</b>	0.00	0.32	26.61	65.54	7.50	0.03
<b>2014</b>	0.01	2.56	34.23	56.65	6.51	0.03
<b>2015</b>	0.01	6.53	67.03	22.30	4.12	0.00
<b>2016</b>	0.30	0.89	56.40	42.21	0.20	0.00
<b>2017</b>	0.00	0.36	39.17	57.71	2.76	0.00
<b>2018</b>	0.00	0.09	30.69	66.63	2.50	0.09
<b>2019</b>	0.23	1.22	51.97	43.08	3.37	0.13
<b>2020</b>	0.01	4.26	49.48	45.47	0.78	0.00



Parte dos resultados apresentados foram publicados na revista *Research, Society and Development*, v. 10, n. 7, e3731071612, no ano de 2021.

Research, Society and Development, v. 10, n. 7, e3731071612, 2021  
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16612>

## Diagnóstico espaço-temporal dos focos de calor no Brasil

Diagnosis spatiotemporal of fire foci in Brazil

Análisis espacio-temporal de focus de calor em Brasil

Recebido: 28/05/2021 | Revisado: 06/06/2021 | Aceito: 11/06/2021 | Publicado: 25/06/2021

### Carla Taciane dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6426-9346>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [carlataciane01@gmail.com](mailto:carlataciane01@gmail.com)

### Washington Luiz Félix Correia Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4029-4491>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [wlfefin@gmail.com](mailto:wlfefin@gmail.com)

### José Francisco de Oliveira Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6131-7605>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [jose.junior@icat.ufal.br](mailto:jose.junior@icat.ufal.br)

### Dimas de Barros Santiago

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7118-8467>  
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
E-mail: [dimas.barros91@gmail.com](mailto:dimas.barros91@gmail.com)

### Bárbara Alves Batista

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0034-0991>  
Universidade Federal de Alagoas, Brasil  
E-mail: [barbara.alba18@gmail.com](mailto:barbara.alba18@gmail.com)

### Resumo

O surgimento de incêndios florestais pode ser de origem antrópica ou natural, ambas causam grandes prejuízos socioeconômico e ambiental, e em boa parte dessas ocorrências são resultantes da ocorrência de Focos de Calor (FC). Nos últimos anos, o Brasil tem sofrido com o aumento significativo de FC, ao qual resultaram em grandes incêndios. Desta maneira, o objetivo do presente estudo foi diagnosticar o comportamento espaço-temporal dos FC no Brasil entre 1999 e 2020, baseados nos dados de dados BDQueimadas do CPTEC/INPE. Para a manipulação e o processamento dos dados, utilizou-se o software de ambiente R versão 3.4-1. Após o armazenamento dos dados, calculou-se os registros totais, médias anual e mensal, e a composição dos anos mais significativos, neste caso, os anos de 2015, 2017, 2019 e 2020. Os resultados apontaram que os maiores acumulados totais e médios anuais variaram entre 10-50 mil FC e 0,5-1,5 mil FC, concentrados na região centro-norte do Brasil, principalmente nos estados do Maranhão, Pará e Tocantins. Este padrão de alto registros de FC está relacionado ao desmatamento e expansão agrícola nessas regiões. Em escala mensal, as maiores ocorrências de FC ocorrem entre os meses de agosto e novembro, com valores de 0,20-0,45 mil FC, devido ao período de estiagem. Verificou-se que nos últimos anos, o El Niño-Oscilação Sul influenciou a incidência dos FC através da persistência de longos períodos de estiagem, que resultaram em escassez de chuvas e grandes incêndios verificados em 2020 no bioma Pantanal.

**Palavras-chave:** Focos de calor; Desmatamento; Agricultura; MATOPIBA.

### Abstract

The emergence of forest fires may be of anthropic or natural origin, both of which cause significant socio-economic and environmental damage, and in the good part of these occurrences are resulting from Fire Foci (FF) occurrence. In recent years, Brazil has suffered from a significant increase in FF, resulting in large fires. In this way, the objective of the present study was to diagnose the spatiotemporal FF behavior in Brazil between 1999 to 2020, based on the BDQueimadas data of the CPTEC/INPE. The handling and processing of the data used the R version 3.4-1 environment software. After the data storage, it calculated the total, annual, and monthly records. And the composition of the most significant years, in this case, the years 2015, 2017, 2019, and 2020. The results pointed out that the most significant total and average annual accumulations ranged between 10-50 thousand FF and 0.5-1.5 thousand FF, respectively, concentrated in the central-northern region of Brazil, mainly in Maranhão, Pará, and the Tocantins. This pattern of high FC records is related to deforestation and agricultural expansion in these regions. On a monthly scale, the most significant occurrences of FF occur between August and November, with 0.2-0.45 thousand FF, due to starvation. In recent years, the El Niño-Southern Oscillation influenced the annual FF performance through the persistence of long stretches of styling, which resulted in a shortage of rainfall and large fires verified in 2020 in the Pantanal biome.