



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

GEOVANE BARBOSA

**FOCOS DE CALOR E CICATRIZES DE INCÊNDIOS NO PARQUE
ESTADUAL ENCONTRO DAS ÁGUAS, MATO GROSSO, BRASIL**

Prof. Dr. Bruno Araújo Furtado de Mendonça

Orientador

SEROPÉDICA, RJ
ABRIL – 2022



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

GEOVANE BARBOSA

**FOCOS DE CALOR E CICATRIZES DE INCÊNDIOS NO PARQUE
ESTADUAL ENCONTRO DAS ÁGUAS, MATO GROSSO, BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. Bruno Araújo Furtado de Mendonça
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
ABRIL – 2022

**FOCOS DE CALOR E CICATRIZES DE INCÊNDIOS NO PARQUE
ESTADUAL ENCONTRO DAS ÁGUAS, MATO GROSSO, BRASIL**

GEOVANE BARBOSA

APROVADA EM:

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Bruno Araújo Furtado de Mendonça – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Henderson Silva Wanderley – UFRRJ
Membro

Prof. Dr. Marcel Carvalho de Abreu – UFRRJ
Membro

Dedico este trabalho à Deus
e toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus, por sempre estar presente em minha vida

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por ter me proporcionado esses anos de graduação de qualidade, Lugar onde pude adquirir grande aprendizado e amadurecer pessoalmente e profissionalmente.

Ao meu orientador, professor Bruno Araújo Furtado de Mendonça, pela paciência, atenção e comprometimento em me ajudar na elaboração deste trabalho.

Aos membros da banca Henderson Silva Wanderley e Marcel Carvalho de Abreu pela disponibilidade em me avaliar.

Aos professores que passaram pela minha vida acadêmica, em especial aos professores do Instituto de Florestas, que são profissionais acolhedores, que lecionam com dedicação.

A Brás e Sandra, pais, meus pais por ter me apoiado e me dado todo suporte, incentivo e por priorizarem a minha educação desde sempre.

Aos meus tios, primos e avós que contribuíram de alguma forma para que esse momento chegasse.

Agradeço também aos amigos que me acompanharam durante esses anos de graduação, em especial a Paloma, Rodrigo, Natália, Iara e Rayane.

RESUMO

Atualmente as queimadas no Brasil vêm se intensificando cada vez mais e o uso de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são de grande importância para o mapeamento dos incêndios florestais. O objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise dos focos de calor no período de 2012 a 2020 e das cicatrizes provocada pelos incêndios florestais no período de 2018 a 2020 do Parque Estadual do Encontro das Águas (PEEA), Mato Grosso, Brasil. As análises dos focos de calor foram elaboradas usando o software QGIS 3.16.14. Foi aplicada a exclusão dos focos de calor redundantes captados por diferentes satélites e obtidos na mesma data. Para a análise das cicatrizes foi calculado um índice de queimadas (NBR - *Normalized Burn Ratio*) dos três últimos anos, obtidos de imagens do satélite Sentinel 2 onde todo o processamento foi realizado com o complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP). Foram utilizados também dados de precipitação, os quais foram correlacionados com as variáveis dos focos de calor, com base no coeficiente de Pearson. Após a exclusão dos dados durante os nove anos estudados, foi contabilizada por 884 focos de calor, sendo que os anos de 2015, 2019 e 2020 obtiveram 92% dos focos de calor. A análise estatística da relação dos focos de calor com a precipitação total obteve um coeficiente de correlação fraco (-0,56). Além disso, foram elaborados mapas da distribuição dos focos de calor dos respectivos anos em estudos para melhor visualização, e obtidas às médias do NBR para os limites do PEEA as quais obtiveram valores bem representativos, onde em 2018 a média foi 0,60124, em 2019 foi de 0,38230 e em 2020 foi de -0,18396. Conclui-se que, o uso do geoprocessamento e o sensoriamento remoto foi de extrema importância para a análise dos focos de calor, o método da exclusão mostrou-se eficiente para a redundância dos focos de calor, o quantitativo de focos de calor apresentou uma correlação significativa com relação a precipitação total anual, a análise de NBR para os três últimos anos mostrou-se importante para a visualização das cicatrizes provocadas pelos incêndios florestais. Os satélites NOAA 20 e NPP-375 obtiveram uma enorme importância nessa análise, ambos com a menor resolução espacial.

Palavra-chave: Sensoriamento remoto. Incêndios florestais. Geoprocessamento.

ABSTRACT

Currently, fires in Brazil have been intensifying more and more and the use of geoprocessing and remote sensing tools are of great importance for the mapping of forest fires. The objective of the present work was to carry out an analysis of hotspots in the period from 2012 to 2020 and the scars caused by forest fires in the period from 2018 to 2020 in the Parque Estadual do Encontro das Águas (PEEA), Mato Grosso, Brazil. The analyzes of hotspots were performed using the software QGIS 3.16.14. The exclusion of redundant hotspots captured by different satellites and obtained on the same date was applied. For the analysis of the scars, a burn index (NBR - Normalized Burn Ratio) of the last three years was calculated, obtained from Sentinel 2 satellite images, where all processing was performed with the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) complement. Precipitation data were also used, which were correlated with the variables of hotspots, based on Pearson's coefficient. After excluding the data during the nine years studied, it was accounted for by 884 hotspots, with the years 2015, 2019 and 2020 having 92% of hotspots. The statistical analysis of the relationship between hotspots and total precipitation showed a weak correlation coefficient (-0.56). In addition, maps of the distribution of hotspots of the respective years were prepared in studies for better visualization, and the NBR averages for the PEEA limits were obtained, which obtained very representative values, where in 2018 the average was 0.60124, in 2019 was 0.38230 and in 2020 it was -0.18396. It is concluded that the use of geoprocessing and remote sensing was extremely important for the analysis of hotspots, the exclusion method proved to be efficient for the redundancy of hotspots, the quantity of hotspots showed a correlation significant in relation to the total annual precipitation, the analysis of NBR for the last three years proved to be important for the visualization of scars caused by forest fires. The NOAA 20 and NPP-375 satellites were of enormous importance in this analysis, both with the lowest spatial resolution.

Keywords: Remote sensing. Forest fires. Geoprocessing.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE TABELAS..... | viii |
| LISTA DE FIGURAS..... | ix |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 2 |
| 2.1 Parque Estadual Encontro das Águas..... | 2 |
| 2.2 Queimadas e Incêndios Florestais..... | 3 |
| 2.3 Monitoramento e detecção dos focos de calor..... | 3 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 5 |
| 3.1 Área de Estudo..... | 5 |
| 3.2 Focos de Calor..... | 5 |
| 3.3 Processamento das Imagens..... | 7 |
| 3.4 Dados meteorológicos..... | 8 |
| 3.5 Análise estatística..... | 8 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 9 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 15 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 15 |

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - SATÉLITES COM RESPECTIVOS SENSORES E SUAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS. 6

TABELA 2 - TABELA QUE RESSALTA A QUANTIDADE DE FOCOS DE CALOR, DE SATÉLITES, QUAIS SATÉLITES E A PRECIPITAÇÃO EM RELAÇÃO A CADA ANO. 10

TABELA 3 – TABELA COM RELAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR DEPOIS DA EXCLUSÃO E COM SUAS PORCENTAGENS E NÚMEROS DE SATÉLITES 12

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 5 |
| FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE EXCLUSÃO DOS FOCOS DE CALOR REDUNDANTE..... | 7 |
| FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO PROCESSAMENTO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO..... | 8 |
| FIGURA 4 - RELAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR FILTRADOS COM A PRECIPITAÇÃO TOTAL. | 9 |
| FIGURA 5 - RELAÇÃO FOCOS DE CALOR X PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL..... | 11 |
| FIGURA 6 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DA RELAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR X PRECIPITAÇÃO TOTAL..... | 12 |
| FIGURA 7 - MAPA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FOCOS DE CALOR. | 13 |
| FIGURA 8 - MAPA DE NBR..... | 14 |

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a relação da conservação ambiental e florestal com os incêndios florestais é preocupante, pois os mesmos afetam as florestas ao redor do mundo (SILVA, 1998). Os incêndios podem provocar grandes danos ambientais, afetando a fauna, flora, pessoas e além dos danos econômicos (FIEDLER et al., 2006). O fogo sempre teve uma relação com a história na presença da vida humana e da sua perpetuação e desenvolvimento da sociedade, em que apresentam fatores positivo e negativos no âmbito ambiental, econômico e sociais.

O fogo sempre foi utilizado em larga escala no Brasil para limpeza de área e modificação no uso da terra, sendo, portanto, um dos principais motivos por perdas de áreas naturais (DA SILVA JUNIOR, C.A., TEODORO, P.E., DELGADO, R.C. et al., 2020). As maiores perdas em áreas protegidas ocorrem devido à expansão da fronteira agrícola. Um fator agravante é a escassez de política que consolidam a prevenção e controle aos incêndios florestais (DE ARAÚJO FÉLIX et al., 2018). Portanto, práticas de combate e prevenção de incêndio são necessárias e, segundo o IBAMA (2009), elas terão maior sucesso com a participação de distintos setores da sociedade.

Santos et al., (2015) dispôs que o fogo é particularmente danoso às áreas reservadas, sejam elas, em Unidades de Conservação (UCs), áreas de preservação ou que abrigam uma gama de espécies da fauna e flora e mesmo em áreas de monocultura. Esses mesmos autores alertam para o fato de que, as Unidades de Conservação brasileiras são vulneráveis, apresentando uma ou mais destas características. Segundo Medeiros (2006), as áreas protegidas são espaços territorialmente demarcados legalmente pela legislação, cuja principal função é a conservação e a preservação de recursos naturais e culturais, a elas ligadas. O Brasil possui 1.545.425 UCs em área continental, somente 6.985 no bioma Pantanal (MMA, 2020).

De acordo com Silva et al., (1998), o bioma Pantanal está localizado dentro da bacia do Alto Paraguai no Brasil, ocupando uma área de aproximadamente 151.313 km² e seu perímetro é de 3380 km. Por ser um dos biomas que detém riquezas sócio-ambientais, deve-se aguçar uma preocupação sobre os recursos hidrológicos, onde haverá grande influência na flora e fauna e conseqüentemente no clima (DINIZ et al., 2008). Segundo o INPE (2022), o número de incêndios no Pantanal aumentou 210% até agosto de 2020, em relação a agosto de 2019. De acordo com Alho et al. (2019), na região pantaneira ocorre mais espécies por hectare em relação a outros biomas que estão ao seu redor.

O Parque Estadual do Encontro das Águas (PEEA) é uma UC de Proteção Integral de grande diversidade localizada no Pantanal, considerada prioritária em termos de importância para a conservação de espécies da fauna e flora, sendo permitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais e tem como objetivo preservar seus ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica (MMA, 2021).

Nesse sentido, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem avaliar a possibilidade de ocorrência de um incêndio florestal e focos de calor, assim inferindo seus possíveis danos (TORRES et al., 2017b). Como o uso do mapeamento para analisar todos os estágios temporais de danos dos incêndios e suas cicatrizes em grandes escalas (VERAVERBEKE *et al.*, 2018).

Entretanto, as práticas de SIG para o dimensionamento da extensão dos focos e/ou áreas queimadas bem como determinar a severidade da queimada e o processo de regeneração florestal (ROY *et al.*, 2005; ROTETA *et al.*, 2019), ainda são incipiente no Brasil e em especial, no Pantanal. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise dos focos de calor no período de 2012 a 2020 e das cicatrizes provocada pelos incêndios florestais no período de 2018 a 2020 do Parque Estadual do Encontro das Águas, Mato Grosso, Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Parque Estadual Encontro das Águas

O Parque Estadual Encontro das Águas (PEEA) fica localizado entre os municípios de Poconé e Barão de Melgaço, no Mato Grosso, pertencente ao bioma Pantanal. Criado em 2004 pelo decreto 4.881 de 22 de dezembro, pelo Governo Estadual do Mato Grosso, o Parque é definido em termos legais como unidade de proteção integral, permitindo apenas atividades de pesquisa científica e turismo ecológico. Aproximadamente com 101.131 hectares, um perímetro aproximado de 300 quilômetros, o PEEA encontra-se dividido entre os municípios de Poconé e Barão de Melgaço, onde sua área está dividida, respectivamente, em 43,3% e 56,7% da área total para cada município respectivamente, (INSTITUTO SOCIO AMBIENTAL, c2020).

A criação do Parque Estadual Encontro das Águas como uma Unidade de Conservação de proteção integral em 2004, visa a conservação e preservação da biodiversidade, onde proporciona um imenso serviço ecossistêmico, podendo assim relatar um Patrimônio Natural da União, onde áreas são categorizadas e denominadas de Sítio do Patrimônio Mundial Natural e Reserva da Biosfera Mundial desde 2000, possuindo também o título de Sítio Ramsar desde 1993 (MOURÃO, 2010)

Durante criação da Unidade de Conservação, muitos moradores locais tiveram que deixar de realizar atividade que lhes proporcionavam algum tipo de renda, uma delas foi a pesca no rio Piquiri, assim, com o ato de deixar de praticar as mesmas, foi classificado de desterritorialização por Medeiros (2007).

Ainda segundo Medeiros (2007), vem ressaltar que, com a interrupção das atividades pesqueiras que proporcionavam um incremento econômico aos moradores, levou os mesmos a uma possível territorialização de novas áreas. Medeiros (1999) mostra que as características da política das atividades pesqueiras no estado de Mato Grosso, vem resultando num gradativo decréscimo da pesca profissional, e consequentemente disponibilizam os rios locais para a pesca amadora.

2.2. Queimadas e Incêndios florestais

Há várias definições de incêndios florestas, assim segundo Silva (1998), os incêndios florestais podem ser caracterizados como todo fogo de livre propagação, onde seja ele ocorre sem controle, também podendo ser definido por uma queimada sem controle atingindo diferentes fisionomias vegetais (VASCONCELOS *et al.*, 2012).

Segundo Meirelles (1990), os incêndios florestais vêm ocasionando diversas mudanças, seja elas diretas ou indiretas na paisagem, algumas dessas mudanças na temperatura superficial do solo, no teor de umidade, na disponibilidade de água e de nutrientes tanto para as plantas quanto aos animais e nos microrganismos de solo.

De acordo com a Portaria n. 94 (IBAMA, 1998), as queimas controladas são permitidas com as devidas autorizações legais, sendo um dos fatores no controle na produção e manejo em áreas de atividades agrícolas, pastoris, florestais e também para corroboração em determinados fins de pesquisas científicas e tecnológicas.

É possível considerar os benefícios do fogo e a forma como usá-lo de modo racional como uma ação que vise a prevenção, ou seja, uma queima controlada ou de forma prescrita e ainda como uma ferramenta de combate, seja, práticas contrafogo ou áreas de corta fogo, sem enfrentar diretamente sua linha de frente, mas apenas administrá-la (DELGADO et al., 2009).

O emprego da queima prescrita é o caminho mais promissor pra comprovar os benefícios em diversas frentes, sejam econômicas, sociais ou ambientais (MOLINA et al. 2009).

Segundo Rheinheimer et al. (2003), em determinados tipos de vegetação como, pastagens e dentre outras, a prática da queima vem a levar um fator benéfico, assim enaltecendo a liberação de nutrientes e superação de dormência de diversas espécies.

Assim é importante os devidos programas de proteção florestal obter uma postura e posicionamento a fatores que envolve as queimadas descontroladas e os incêndios florestais, assim, antecedendo a determinadas situações e com tomadas de decisões específicas sobre a área e o material de combustibilidade, afim de manter a conservação dos ambientes (LINN *et al.*, 2012).

2.3. Monitoramento e detecção dos focos de calor.

Segundo Ferreira et al., (2005), os programas de análise dos focos de calor com as ferramentas de SIG têm a capacidade de atribuir a referência espacial dos mesmos.

Fernandes et al., (2011) relatam que o uso do sensoriamento remoto contribui como uma alternativa para o desenvolvimento de estudos e na ajuda da construção de política públicas, obtendo assim uma espacialização dos riscos de incêndios e mensuração das cicatrizes e impactos.

França et al., (2007) indica que os satélites de referência com relação a análise dos focos de calor e as cicatrizes dos incêndios florestais possuem um grande poder na detecção, observando os focos no momento de ocorrência e as cicatrizes

De acordo com Batista (2004), a partir do ano de 1998 o Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais - INPE passou a fazer o monitoramento dos focos de calor junto ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, assim proporcionando um maior fortalecimento do acervo que está disponível de forma gratuita a toda a sociedade pelo site do INPE.

Os focos de calor incorporado nos bancos de dados apresentam várias repetições para o mesmo evento em função da resolução espacial de cada sensor acoplado no

devido satélite (INPE, 2010a; RIBEIRO et al. 2020; BARROS et al., 2021). De acordo com Razafimpanilo et al (1995), relatam que, a eficiência da análise dos mesmos por satélites, depende de informações prévias do ambiente, tais como: características do material combustível, informações sobre regeneração natural, fenologia da vegetação e das condições climáticas.

Para devidos estudos em função dos incêndios florestais, é necessário que haja análises com maior uso e eficiência dos satélites, onde levado à exploração de índices espectrais da vegetação com maior acurácia, sendo calculados a partir de valores de reflectância espectral da radiação eletromagnética obtida pelos sensores que vão abordo dos satélites, onde inúmeras bandas são utilizadas para determinada análise e que as mesmas vão desde a faixa do espectro do visível, infravermelho e do invisível (FLORENZANO, 2011). Dentre os índices de vegetação, possuem o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), o EVI, o SAVI e dentre outros.

Segundo Key e Benson (2006), o índice de vegetação mais adequado para a mensuração da severidade dos incêndios é o *Normalized Burn Ratio* (NBR), elaborado, através da aplicação das bandas de infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho médio (*Mid-Wavelength Infrared* – MWIR).

A escala de valores do NBR é compreendida entre o intervalo de -1 a +1, onde os valores negativos representam a cobertura vegetal com alta severidade e os valores positivos representam a vegetação com alto índice de regeneração após o incêndio (KEY; BENSON, 2006).

A aplicabilidade dos índices de vegetação, como o NBR realizado por Silva, Peres e Gurgel (2017) teve como intuito indicar as áreas de incêndios no município de Alto Paraíso de Goiás (a nordeste do Estado de Goiás).

Hoje em dia, as análises dos focos de calor associados outras as imagens com índices multiespectrais, permitem avaliar se determinado remanescente florestal obteve algum tipo de perturbação ou distúrbio, desde então, podendo levar uma visão das mudanças do ecossistema, climáticas e no uso e ocupação do solo (VILANOVA, 2014).

Segundo Batista (2004), a prática de monitoramento da vegetação por satélite, vem corroborar uma visão muito ampla para tomada de decisão de devidas atividades, levando na busca de indicativos com maiores uso e eficiência e com menores custos.

Santos (2012) ressalta que, ao analisar os focos de calor capturados por apenas um satélite pode haver subestimação na informação, devido a sua resolução temporal quando se trata-se dos satélites em órbita polar ou delimitação de pequenas áreas queimadas causada pela baixa resolução espacial quando se trata de satélites em órbita geostacionária.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

O Parque Estadual do Encontro das Águas (Figura 1) foi criado em 2004 e fica localizado nos municípios de Barão de Melgaço (43,2% da área) e Poconé (56,8%) – MT, sendo Unidade de Conservação de Proteção Integral com área aproximada de 101.131 hectares (ISA, 2020).

O parque está totalmente inserido no bioma do Pantanal, que apresenta clima tropical típico, Aw na classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, o inverno seco e verão chuvoso (GARCIA, 1984).

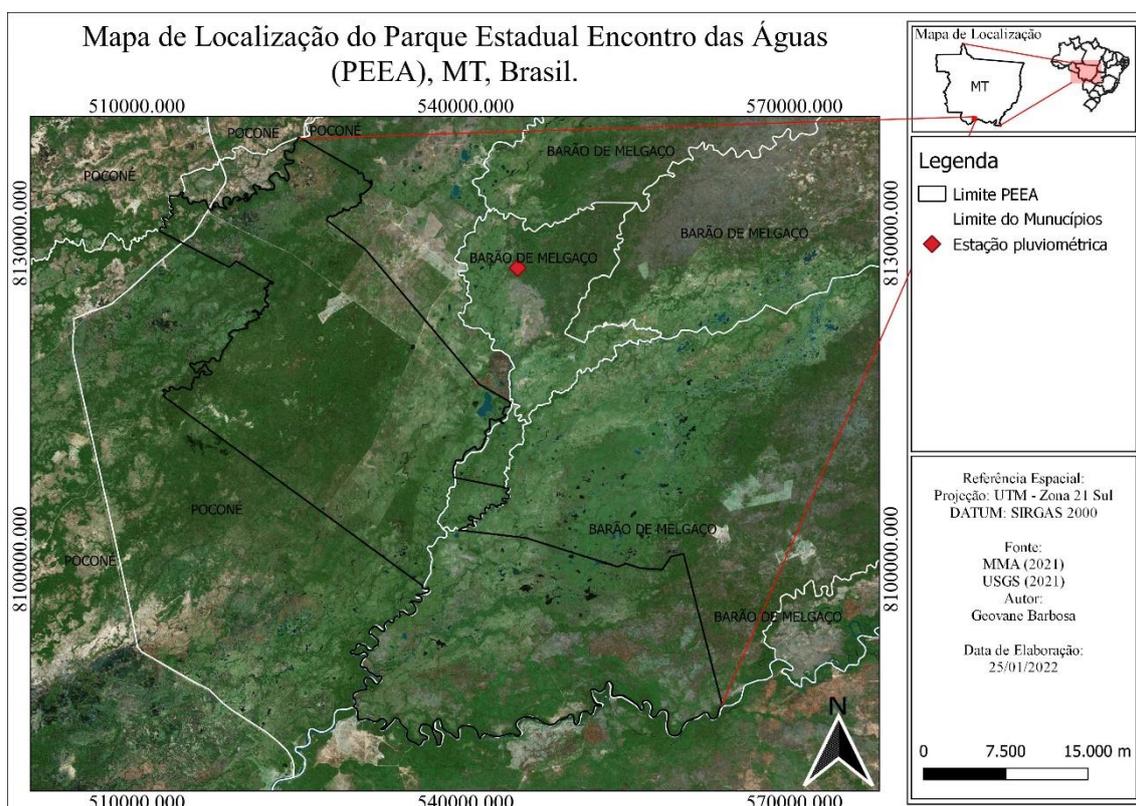


Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo.

3.2. Focos de Calor

Foi realizado o download em formato shapefile de uma série temporal de um período de 9 anos, de 2012 a 2020 dos focos de calor de todos os satélites do BD Queimadas, no site (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>) do instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Nessa série temporal foram contabilizados os registro de um total de 22 satélites, sendo eles: AQUA_M-M, AQUA_M-T, GOES-12, GOES-13, GOES-16, METOP-B, METOP-C, MSG-02, MSG-03, NOAA-15, NOAA-16, NOAA-16D, NOAA-18, NOAA-18D, NOAA-19, NOAA-19D, NOAA-20, NPP-375, TERRA_M-T, TERRA_M-M, TRMM.

Tabela 1 - Satélites com respectivos sensores e suas características básicas.

| Satélite | Sensor | Resolução Espacial (km) | Resolução Temporal |
|-----------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|
| AQUA_M-M | MODIS | 1,0 | 1-2 dias |
| AQUA_M-T | MODIS | 1,0 | 1-2 dias |
| GOES-12 | I-M | 5,0 | 30 min |
| GOES-13 | I-M | 6,0 | 30 min |
| GOES-16 | I-M | 2,0 | 10 min |
| METOP-B | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| METOP-C | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| MSG-02 | SEVIRI | 3 | 15 min |
| MSG-03 | SEVIRI | 3 | 15 min |
| NOAA-15 | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| NOAA-15D | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| NOAA-16 | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| NOAA-16N | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| NOAA-18 | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| NOAA-18D | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| NOAA-19 | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| NOAA-19D | AVHRR/3 | 1,1 | Diário |
| NOAA-20 | VIIRS | 0,375 | Diário |
| NPP-375 | VIIRS | 0,375 | Diário |
| TERRA_M-M | MODIS | 1,0 | 1-2 dias |
| TERRA_M-T | MODIS | 1,0 | 1-2 dias |
| TRMM | TMI | 2,1 | 3 horas |

O processamento dos focos de calor foi realizado utilizando a metodologia proposta por Ribeiro et al. (2020) e Barros et al. (2021), adaptando as ferramentas para o software QGIS 3.16.14, a qual elimina as redundâncias ocasionadas pela detecção do mesmo foco de calor por diferentes satélites. Dessa forma, no processamento dos focos de calor, foram criadas duas colunas na tabela de atributos, uma denominada de *buffer* e outra de *data*, assim enaltecendo as devidas resoluções espaciais de cada satélite e a *data* em que o foco de calor foi registrado respectivamente.

A ferramenta *buffer* foi aplicada aos valores da coluna com as resoluções espectrais dos satélites e em seguida usou a ferramenta *dissolver* com base no *buffer* processado em virtude da coluna *data*. Logo, criou-se um centroide para cada uma das partes com relação ao *dissolver* criado. Assim, obteve-se um arquivo com uma filtragem mais organizada dos focos de calor, sem redundâncias de focos na mesma *data*.

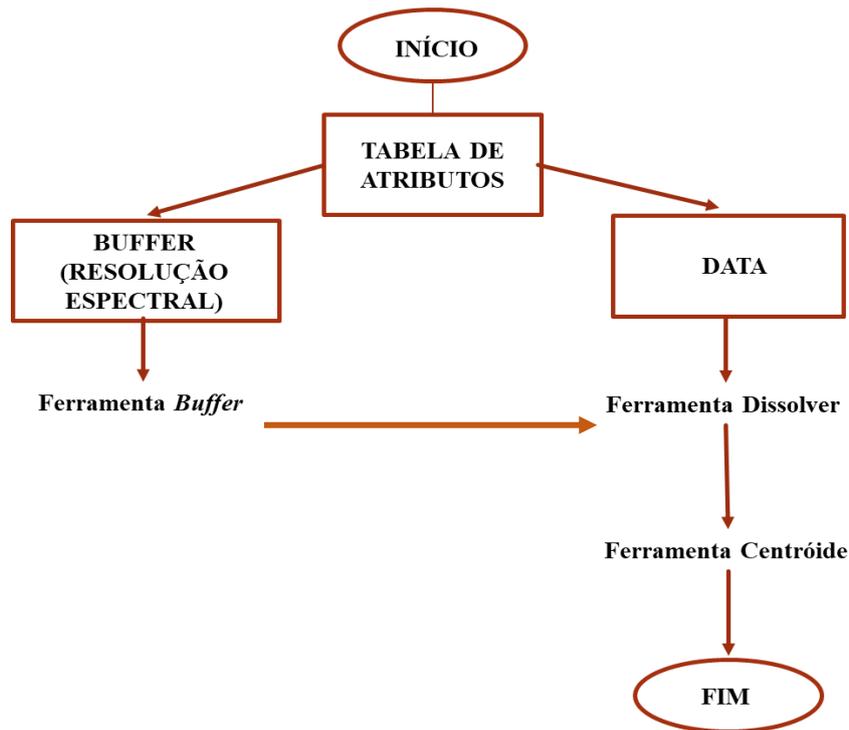


Figura 2 - Fluxograma do processo de exclusão dos focos de calor redundante

3.3. Processamento das Imagens

Foram utilizadas imagens com resolução de 10 metros do satélite *Sentinel-2A* entre os anos de 2018, 2019 e 2020 com as respectivas datas, outubro/2018, outubro/2019 e outubro/2020. As imagens foram obtidas no site *United States Geological Survey* (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Vale ressaltar que, todo o processamento das mesmas foi realizado com o complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) desenvolvido por (CONGEDO, 2020), o *software* QGIS. Foi feita a correção atmosférica das imagens, pelo método Dark Object Subtraction (DOS), desenvolvida por Chávez JR, (1996). Segundo Congedo, (2020), o método de Dark Object Subtraction (DOS) consiste na correção do valor da radiância no topo da atmosfera. Dado que foram selecionada imagens com menos de 20% cobertura de nuvens.

Segundo o estudo de Pantaleão Jr. e Ferreira (2020) as imagens do satélite Sentinel-2A foram devidamente processadas para inferir o desenvolvimento do índice de NBR na caracterização das queimadas na área de estudo. Após todo o pré-processamento, as imagens foram recortadas utilizando como limite o Parque Estadual Encontro das Águas (PEEA).

Para gerar o NBR dos anos de 2018 a 2020, foi utilizada a calculadora raster do QGIS 3.16.14, levando em consideração o uso das bandas 8 (*NIR*) e 12 (*MWIR*) e em seguida foi aplicada a fórmula da (Figura 2) (Key e Benson, 2006):

$$\text{NBR} = \frac{(\text{NIR} - \text{SWIR})}{(\text{NIR} + \text{SWIR})}$$

Segundo Key e Benson (2006), as bandas 8 e 12, respectivamente NIR e MWIR se enquadram nas bandas com o índice espectral mais favorável na detecção das

queimadas, pode-se relatar que a banda do NIR tende a haver um decréscimo e a banda do MWIR obtenha um crescimento após o fogo.

Todo o processamento das imagens *raster* e dos vetores foram processadas na versão do software QGIS 3.16.14.

3.4. Dados meteorológicos

Para o estudo de precipitação, os dados foram coletados do site do HidroWeb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>). Foi realizado um levantamento temporal de 9 anos, entre 2012 a 2020 da estação pluviométrica de código 01756000, a qual representa a representatividade da área de estudo. As precipitações mensais/anuais foram totalizadas no *software Excel*.

Na Figura 3, apresenta o fluxograma sobre o processamento dos dados de precipitação.



Figura 3 - Fluxograma do processamento dos dados de precipitação

3.5. Análise estatística

Para analisar a influência dos focos de calor com relação a importância da variável meteorológica, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de correlação de Pearson (r), onde ambos foram calculados pelo software Excel. Assim os focos de calor atribuído a variável dependente (eixo y) e a precipitação total anual como variáveis independentes (eixo x). O coeficiente de determinação (R^2) foi calculado para haver determinação, a qualidade do ajustamento da linha de tendência e a proporcionalidade em que a variável x explica a variável y. O coeficiente de correlação (r) foi determinado para indicar como as variáveis exposta no gráfico se correlacionam. O gráfico de dispersão foi elaborado para obter uma visualização mais clara e não só obter o embasamento nos dados estatísticos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização da eliminação das redundâncias dos focos de calor, destaca-se no período de estudo entre 2012 a 2020 um registro total de 884 focos no Parque Estadual Encontro das Águas – PEEA. A Tabela 2 indica a quantidade de focos de calor antes e após a eliminação de redundâncias, assim como porcentagem de redução em cada ano avaliado. Além disso, indica o número e quais satélites detectaram os focos de calor e a precipitação média anual de cada ano.

A Figura 4 mostra que as variáveis precipitação e focos de calor tendem a uma relação inversa, pois nos anos com maiores incidência de focos de calor, os totais precipitados foram menores. Embora os anos de 2015 e 2019 tenha sido exceções. Em 2015 houve um decréscimo significativo na precipitação visto a ocorrência de El Niño e a taxa dos focos de calor permaneceram muito baixa, já em 2019 a precipitação total e os focos de calor obtiveram valores altos.

Analisando os anos que obtiveram porcentagem maior que 90% de redundância, observa-se a presença dos satélites NOAA20 e NPP-375, ambos apresentando resolução espacial de 375 metros. Dessa forma, a exclusão foi aplicada para que os dados não apresentassem um resultado enviesado, ou seja, uma supernotificação de focos de calor.



Figura 4 - Relação dos focos de calor filtrados com a precipitação total.

Nos anos de 2013, 2019 e 2020, foram os anos de estudos que obtiveram as maiores quantidades de focos de calor de 124, 142 e 548 respectivamente, obtendo uma porcentagem de 92% comparado aos outros anos. O aumento pode ser visualizado pelo incremento do quantitativo de satélite com resolução espacial menor, assim, fomentando a importância da presença dos satélites no monitoramento dos focos e nas possíveis propostas de manejo. Segundo Lazzarini et al. (2016), a percepção desses focos de calor pelos satélites é caracterizada por serem pontos atribuídos com posição geográfica.

Tabela 2 - Tabela que ressalta a quantidade de focos de calor, de satélites, quais satélites e a precipitação em relação a cada ano.

| Ano | Focos antes | Focos após | Redução (%) | Quantidade de satélites | Satélites | Precipitação média anual (mm) |
|------|-------------|------------|-------------|-------------------------|--|-------------------------------|
| 2012 | 16 | 7 | 56,2 | 7 | AQUA_M M, AQUA_M T, GOES 12, MSG 02, NOAA 15, NOAA 16N, TERRA_M T | 1111 |
| 2013 | 2167 | 124 | 94,3 | 16 | AQUA_M M, AQUA_M T, GOES 13, MSG 03, NOAA 15, NOAA 15D, NOAA 16, NOAA 16N, NOAA 18, NOAA 18D, NOAA 19, NOAA 19D, NPP 375, TERRA_M M, TERRA_M T, TRMM | 969,4 |
| 2014 | 2 | 2 | 0 | 2 | NOAA 18, GOES 13 | 1241,4 |
| 2015 | 268 | 17 | 93,6 | 9 | AQUA_M T, GOES 13, MSG 03, NOAA 15, NOAA 18, NOAA 19, NOAA 19D, NPP 375, TERRA_M T | 685,3 |
| 2016 | 226 | 15 | 93,3 | 11 | AQUA_M M, AQUA_M T, GOES 13, NOAA 15, NOAA18, NOAA 18D, NOAA 19, NOAA 19D, NPP 375, TERRA_M M, TERRA_M T | 1056 |
| 2017 | 447 | 27 | 93,9 | 14 | AQUA_M M, AQUA_M T, GOES 13, GOES16, METOP B, MSG 03, NOAA 15, NOAA 18, NOAA 18D, NOAA 19, NOAA 19D, NPP 375, TERRA_M M, TERRA_M T | 1219,1 |
| 2018 | 4 | 2 | 50 | 3 | GOES 16, NPP 375, TERRA_M T | 1271 |
| 2019 | 2318 | 142 | 93,9 | 11 | AQUA_M M, AQUA_M T, GOES 16, METOP B, NOAA 18D, NOAA 19, NOAA 19D, NOAA 20, NPP 375, TERRA_M M, TERRA_M T | 1235,1 |
| 2020 | 20510 | 548 | 97,3 | 14 | AQUA_M M, AQUA_M T, GOES 16, METOP B, METOP C, MSG 03, NOAA 19, NOAA 19D, NOAA 20, NPP 375, TERRA_M M, TERRA_M T | 694,3 |

Haja vista que, nos três anos com maiores taxa de incêndios, a precipitação total anual foi de aproximadamente 969,49 mm, 1235,10 mm e 694,30 mm respectivamente, o que revela anos de taxas mais baixas de precipitação nos anos estudados. Na figura 5 está evidenciado a tendência natural do período chuvoso (de setembro a maio) contrastando com período de seca (de junho a agosto).

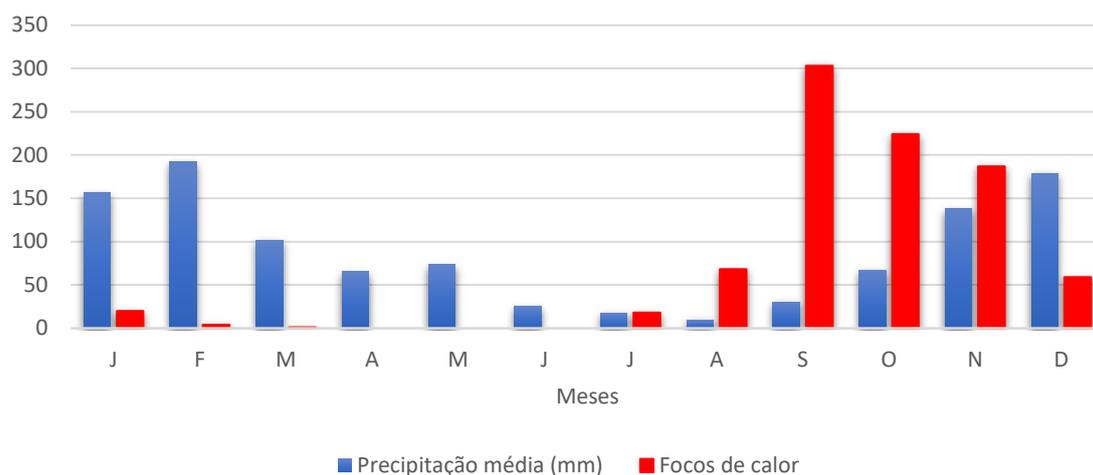


Figura 5 - Relação focos de calor x precipitação média mensal.

Com base no gráfico acima, pode visualizar que os meses com maior quantitativo de focos de calor ocorreram em maior escala nos meses de agosto a dezembro, coincidindo com um incremento do nível de precipitação, já nos meses de janeiro a julho, o quantitativo de focos de calor permaneceram com baixo índice, especialmente no mês de abril que não apresentou dados.

Vale mencionar que, a variável meteorológica de precipitação com qualidade satisfatória é imprescindível na elaboração de estratégias no combate e preservação dos incêndios florestais (NUNES et al., 2006).

Segundo INPE (2019), a região do Pantanal, onde se localiza a área de estudo, é o bioma onde há as maiores ocorrências de incêndios no ano de 2020. Esses dados são preocupantes devido ao comprometimento do meio ambiente, e foram comprovados também neste estudo.

O Pantanal é a maior planície inundável do mundo e tende a não haver estrutura significativa para aderir aos incêndios florestais em um espaço de tempo curto (GONÇALVES, 2021). Todavia, a resistência de muitas plantas ao fogo, vem a se relacionar com a intensidade e frequência do mesmo (Agee et al., 2002; Lukac et al., 2010).

Tabela 3 – Tabela com relação dos focos de calor depois da exclusão e com suas porcentagens e números de satélites

| Anos | Focos de Calor | Porcentagem de focos de calor (%) | Número de satélites |
|-------|----------------|-----------------------------------|---------------------|
| 2012 | 7 | 1% | 5 |
| 2013 | 124 | 14% | 12 |
| 2014 | 2 | 0% | 2 |
| 2015 | 17 | 2% | 7 |
| 2016 | 15 | 2% | 4 |
| 2017 | 27 | 3% | 8 |
| 2018 | 2 | 0% | 2 |
| 2019 | 142 | 16% | 7 |
| 2020 | 548 | 62% | 13 |
| Total | 884 | 100% | 60 |

Na Figura 6 o gráfico de dispersão com tendência linear dos focos de calor relacionado a precipitação total obteve um coeficiente de determinação de aproximadamente 32%, com isso explica uma fraca relação entre as duas variáveis. Todavia, o ano de 2019 e 2020 com a inclusão do NOAA20 obteve um peso representativo para o coeficiente de determinação fosse baixo.

Como visto na Figura 5, os focos de calor ocorrendo em meses com alta precipitação média e na Figura 6 apresentando um fraco coeficiente de determinação e um coeficiente de correlação negativo. Os mesmos podem estar ligados com o processo de atividades antrópicas (Ferreira et al, 2018), que ocorrem no período seco, proporcionando um atraso na resposta do fogo em relação ao início do período chuvoso.

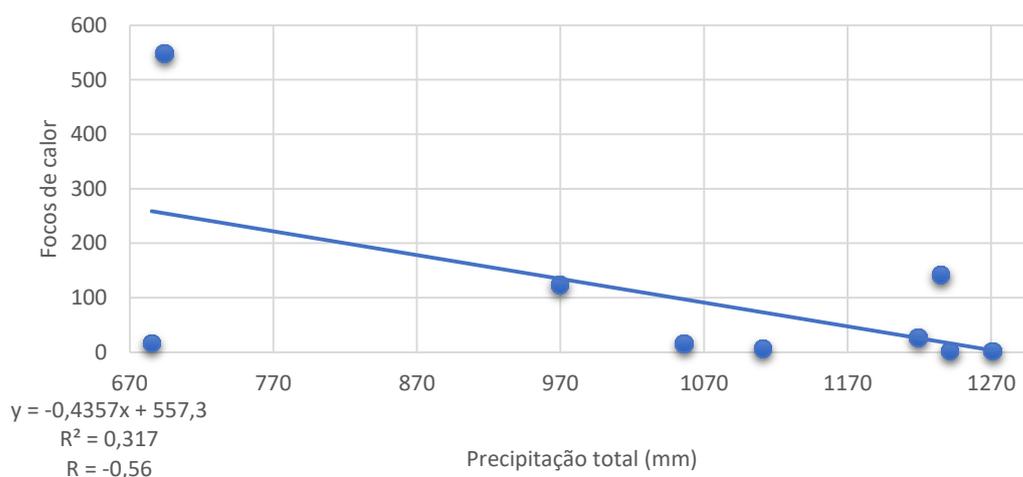


Figura 6 - Gráfico de dispersão da relação dos focos de calor x precipitação total

Com base no coeficiente de Pearson negativo (-0,56) que indica uma relação inversa entre precipitação e focos de calor, pode-se atribuir o risco de incêndios à

período de diminuição da precipitação. O decréscimo da umidade do material combustível local e consequentemente a queda foliar em relação ao comportamento hídrico (NEPSTAD et al., 1999; NEPSTAD et al., 2004; ALENCAR et al., 2011).

Segundo Torres (2010), a análise entre a relação de dados meteorológicos e incêndios em Juiz de Fora - MG, no período de 1995-2004, encontrou correlação negativa (-51%), assim evidenciando que a quantidade de chuva afeta diretamente o número de incêndios em vegetação.

Santos et al. (2011) afirma que o avanço de novas geotecnologias para o monitoramento de dos focos de calor, potencializa como um importante recurso na análise dos incêndios e das queimadas, assim, podendo ser localizadas e mensuradas.

Na Figura 7 é apresentado o mapa de distribuição dos focos de calor no Parque Estadual Encontro das Águas, no Estado do Mato Grosso, o qual revela uma forte incidência dos focos de calor nos anos de 2013, 2015 e 2016 localizado mais ao sul da UC, em 2019 com maior predominância ao centro e em 2020 distribuído fortemente por toda a Unidade de Conservação.

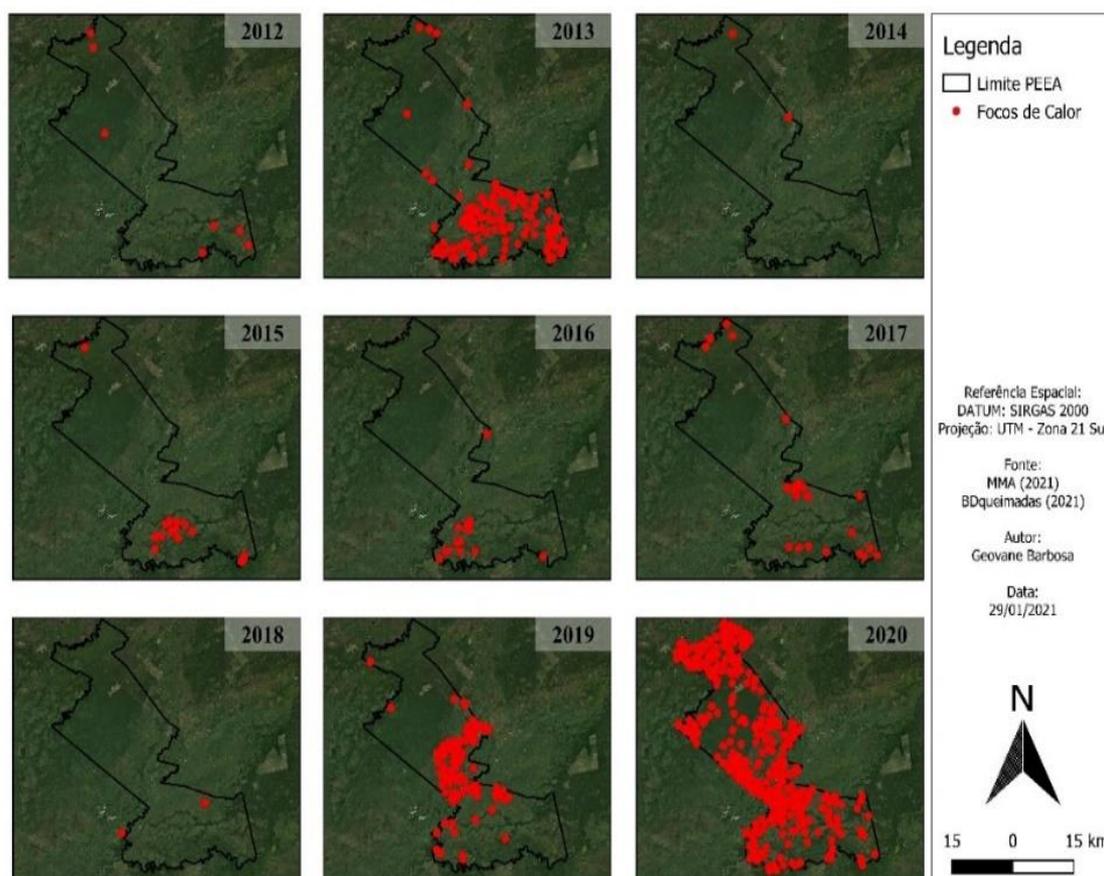


Figura 7 - Mapa da distribuição espacial dos focos de calor.

Na Figura 8 é apresentada a análise com o NBR dos três últimos anos na área estudada no Parque Estadual Encontro das Águas. É evidente o aumento da magnitude dos incêndios florestais na área. Dessa forma, pode-se observar que a média do NBR para todo o parque coincidiu com os maiores números de focos de calor, revelando uma

boa eficiência deste índice. Assim a média do NBR com base no limite do PEEA no ano de 2018 foi de 0,60, isso mostrando que os incêndios florestais obtiveram uma baixa proporção, no ano de 2019 a média foi de 0,38, assim, ressaltando que os incêndios florestais teve uma maior representatividade comparado ao ano anterior e no ano de 2020 a média foi de -0,18, assim, expressando maior severidade e uma ascendência na formação de cicatrizes com relação aos três últimos anos.

Silva, Pestana e Martins (2019) também realizaram o monitoramento das áreas queimadas no Parque Estadual do Mirador, no Maranhão, com a utilização do índice NBR.

Observando nas análises dos três últimos anos, o ano de 2020 foi o que apresentou a maior incidência de incêndios, podendo corroborar com a Figura 8 que apresentou maior quantitativo de focos de calor no mesmo ano. Segundo Caldararo (2002), a formação de incêndios florestais com grandes extensões é causada, muitas vezes, através de ação humana associada aos períodos mais secos do ano.

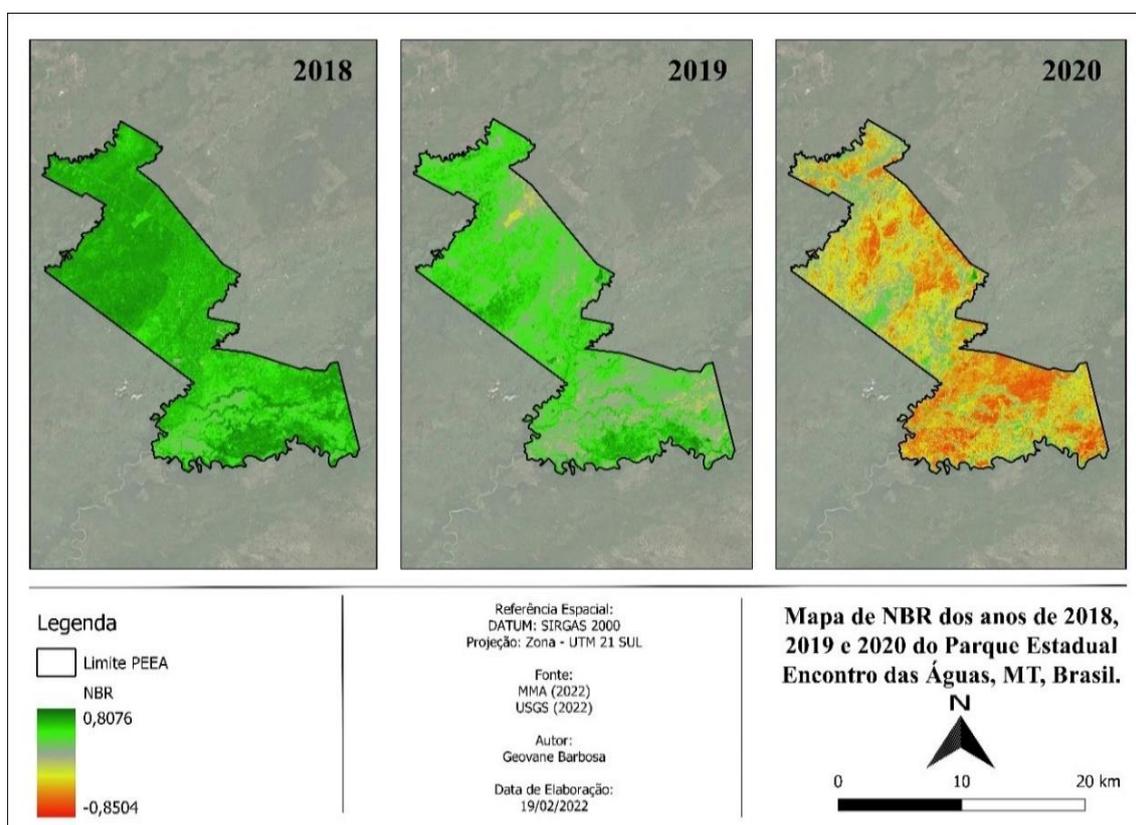


Figura 8 - Mapa de NBR.

De acordo com Trindade et al., (2009), o uso dos sensores dos satélites e a aplicação de índices multiespectrais é de grande importância para estudos de detecção e comportamento dos incêndios florestais e na análise das cicatrizes, assim, como estratégias importantes no auxílio do manejo e conservação dos ecossistemas terrestres.

5. CONCLUSÃO

Pode-se afirmar que o uso do geoprocessamento e o sensoriamento remoto foi de extrema importância para a análise dos focos de calor na região estudada.

O método da exclusão mostrou-se eficiente para a redundância dos focos de calor.

O quantitativo de focos de calor apresentou uma correlação significativa com a precipitação total anual.

A análise de NBR para os três últimos anos mostrou-se importante para a visualização das cicatrizes provocadas pelos incêndios florestais.

Os satélites NOAA 20 e NPP-375 obtiveram uma enorme importância nessa análise, ambos com a melhor resolução espacial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agee, J.K. et al. 2002. Foliar moisture content of Pacific Northwest vegetation and its relation to wildland fire behavior. **For. Ecol. Manage.** 167, 57–66.

ALENCAR, A. et al. **Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. Ecological Applications**, v. 21, n. 7, p. 2397-2412, 2011.

ALHO, C. J. R. et al. **Ameaças à biodiversidade do Pantanal brasileiro pelo uso e ocupação da terra.** *Ambient. soc.*, São Paulo, v. 22, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/BqQNwh94qn5g9kh56FZchYj/?lang=en>. Acesso em: 15 ABR. 2022.

ADÁMEK, M. et al. Forest fires within a temperate landscape: a decadal and millennial perspective from a sandstone region in Central Europe. **Forest Ecology and Management**, v. 336, n. 2015, p. 81-90, 2015.

BARROS, A. L. et al. (2021) **Incêndio na Mata Atlântica: uma análise de 20 anos de distribuição de focos de incêndio e seus condutores socioecológicos**, *Geocarto International*.

BATISTA, A. B. **Deteção de incêndios florestais por satélites.** *Floresta* 34 (2), Curitiba, Pr, 2004. 237 p.

CALDARARO, N. 2002. Human ecological intervention and the role of forest fires in human ecology. **The Science of the Total Environment**, 292:141-165.

CHAVEZ JR, P. S. Image-Based atmospheric corrections: Revisited and improved. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 62, n. 9, p. 1025-1036, set. 1996.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. v. 7.0.0.1, 25 out. 2020.

DA SILVA JUNIOR, C.A. et al. **Persistent fire foci in all biomes undermine the Paris Agreement in Brazil**. *Sci Rep* 10, 16246 (2020).

DE ARAÚJO FÉLIX, G et al. **Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em Unidades de Conservação brasileiras**. *Floresta*, v. 48, n. 1, p. 113-122, 2018 Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/126247/ISBN9788579835407.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 de fev 2022.

DELGADO, F. G. et al. **Incendios Forestales I: Modulo Básico**. Ediciones AIFEMA, España. 2009. 240 p.

DINIZ, G. L. et al. Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana. Grupo de Biomatemática IMECC – UNICAMP, 2008.

FERNANDES M. C. et al. Avaliação geocológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Floresta e Ambiente* 2011; 18(3): 299-309.

FERREIRA, M. M. et al. **Aplicação de SIG como instrumento de apoio para a tomada de decisões no processo de gestão compartilhada de bacias hidrográficas urbanas- O Caso do Igarapé Belmont – Porto Velho-RO**. Trabalho de PIBIC. Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, 2004.

Ferreira, S. W.T. et al. **Análise da distribuição espaço-temporal dos focos de incêndio no Pantanal (2000-2016)**. Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, MS, 20 a 24 de outubro 2018 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 563-573.

FIEDLER, N. C. et al. Avaliação das condições de trabalho, treinamento, saúde e segurança de brigadistas de combate a incêndios florestais em unidades de conservação do Distrito Federal: estudo de caso. Viçosa: *Revista Árvore*, v.30, n.1, p.55-63, 2006.

FRANÇA, H. et al. **O Fogo no Parque Nacional da Emas**. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Brasília, 140p. 2007.

GARCIA, E. A. C. **O clima no Pantanal Mato-Grossense**. Circular Técnica. n. 14. p. 36 Corumbá-MS. Jan, 1984.

GONÇALVES, W. L. FOGO NO PANTANAL: UMA ANÁLISE CONCEITUAL SOBRE AS CONTRIBUIÇÕES BIBLIOGRÁFICAS. *Biodiversidade*, v. 20, n. 1, 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Análise da Situação Atual do Bioma Pantanal. 2019.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <http://www.inpe.br/>. Acessado em 12 de fev. 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em 01 de maio 2022.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Roteiro Metodológico para a Elaboração de Plano Preventivo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Brasília - DF: IBAMA. 2009.**

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Unidades de conservação no Brasil. Busca. Parque Estadual Encontro das Águas. c2020.** Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/4253>. Acesso em 04 de fev. 2022.

IRLAND, L. C. Extreme value analysis of forest fires from New York to Nova Scotia, 1950-2010. **Forest Ecology and Management**, v. 294, n. 2013, p. 150-157, 2013.

KEY, C. H. et al. **Landscape assessment (LA): Sampling and analysis methods. 2006.** Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/24066>. Acesso em: 28 de fev. 2022.

LAZZARINI, G. M. J. et al. Análise da detecção e ocorrência de queimadas em áreas urbanizadas e entorno. **Revista Ciência e Natura, Santa Maria** v.38, n.3, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/21536> Acesso em: 17 de abr. 2022

LINN, R. R. et al. Using periodic line fires to gain a new perspective on multi-dimensional aspects of forward fire spread. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 157, n. 2012, p. 60-76, 2012.

LUKAC, M. et al. 2010. **Tree Species' Tolerance to Water Stress. Salinity and Fire.**

MANOEL, P. S. et al. (Org.) **Pantanal: paisagens, flora e fauna.** São Paulo, Cultura Acadêmica, 2014. p. 47-75.

MEDEIROS, R. Evolução das Tipologias e Categorias de Áreas Protegidas no Brasil. *In.*: Vol. IX, nº 1, Jan./Jun. 2006.

MEDEIROS, R. M. V. **Re-territorialização e identidade: o significado dos assentamentos para a economia dos municípios: os casos de Hulha Negra, Aceguá e Candiota na Campanha Gaúcha (RS).** *In.*: IX Colóquio Internacional de Geocrítica, 2007. Porto Alegre: Anais... Porto Alegre: UFRGS, 2007. p. 1-17.

MEDEIROS, H.Q. **Impactos das políticas públicas sobre os pescadores profissionais do Pantanal de Cáceres – Mato Grosso.** (Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo). 1999. 217p.

MEIRELLES, M. L. Efeito do fogo sobre a umidade do solo em área de campo sujo de cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42, n. 7, p. 359-360, jul. 1990.

MMA. Ministério do Meio Ambiente <https://www.meioambiente.gov.br/aceso-a-informacao/118-meio-ambiente/unidades-de-conserva%C3%A7%C3%A3o/1304-os->

[grupos-de-unidades-de-conserva%C3%A7%C3%A3o.html](#). Acesso em: 04 de Fev 2022.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em, https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80229/CNUC_FEV20%20-%20C_Bio.pdf. Acesso em: 01 de maio 2022.

MOLINA, D. T. et al. Incendios Forestales: Fundamentos, Lecciones Aprendidas y Retos de Futuro. **Ediciones AIFEMA, España**. 2009. 256 p.

NEPSTAD, D. C. et al. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biol.** n.10, p.704–717. 2004.

NEPSTAD, D. C. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, n. 398, p. 505–508, 1999.

NUNES, J. R. S. et al. FMA+ - um novo índice de perigo de incêndios florestais para o Estado do Paraná, Brasil. **Floresta**, v. 36, n. 1, p. 75-91, 2006.

PANTALEÃO JR, C. M. et al. **Avaliação do desempenho do índice Δ NBR para a identificação de áreas queimadas na Microrregião de Uberaba, MG**. Brazilian Geographical Journal, Ituiutaba (MG), v. 11, n. 2, p. 159-169, 2020. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/52096> Acesso em: 15 abr. 2022.

RAZAFIMPANILLO, H. et al. 1995. Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data. **Remote Sens. Environ.** 54:273-289.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 33, n. 1, p. 49-55, jan./fev. 2003.

Ribeiro, T. M. et al. Avaliação de focos de incêndio na Amazônia Ocidental (2000-2015). **Environ Dev Sustain** 23, 1485-1498 (2021).

ROTETA, E. et al. Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa. **Remote Sensing of Environment**, v. 222, p. 1-17, 2019.

ROY, D. P. et al. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, p. 137-162, 2005.

SANTOS, C. A. P. d. et al. **Quantificação dos focos de calor na Mesorregião do Extremo Oeste Baiano**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba. Anais. São Jose dos Campos: INPE, 2011.

SANTOS E. S. C. M. et al. **Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélite e medidas por pluviômetros**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n. 3, p. 337-346, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v27n3/a08v27n3.pdf>. Acesso em: 12 de Fev 2022.

SANTOS, W. S. et al. *Estimativa dos riscos de ocorrência de incêndios florestais no Parque Estadual do Pico do Jabre, na Paraíba*. In: **Revista Agropecuária Científica do Semiárido**, v. 11, n. 1, p. 80-84, 2015.

SILVA, J. dos S. V. et al. **Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas Sub-regiões**. **Pesc. Agropec. Bras. EMBRAPA. Brasília. n. Especial**. P. 1703 – 1711. Out. 1998.

SILVA, F. S. et al. Sensoriamento remoto para detecção de queimadas no cerrado maranhense: uma aplicação no parque estadual do mirador. **Revista Geográfica Acadêmica, Boa Vista (RR)**, v. 13, n. 2, p. 90-105, 2019. Anual. Disponível em: . Acesso em: 15 abr. 2022.

SILVA, R. G. *Manual de prevenção e combate aos incêndios florestais*. Brasília, DF: **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente**, p.106, 1998.

SILVA, M. S. et al. **Análise do uso e cobertura da terra após a ocorrência de queimadas no município de Alto Paraíso de Goiás**. Trabalho apresentando no XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Campinas: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr/papers/analise-do-uso-e-cobertura-da-terra-apos-a-ocorrencia-de-queimadas-no-municipio-de-alto-paraíso-de-goias>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SILVA, R.G. **Manual de prevenção e combate aos incêndios florestais**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília, 1998. 48 p.

TRINDADE, C. A. et al. **Uso de imagens de satélite para identificação de áreas queimadas para uso em laudos periciais de incêndios florestais**. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Belo Horizonte, n. 16, abr. 2013, p.2809-2816.

TORRES F.T.P. et al. Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.2, p.297-303, 2010.

TORRES, F. T. P. et al. Perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 531-542, 2017a.

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

VERAVERBEKE, S. et al. Hyperspectral remote sensing of fire: State-of-the-art and future perspectives. **Remote Sensing of Environment**, v. 216, p. 105-121, 2018.

VILANOVA, M. R. N. TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS NA REGIÃO DO ALTO RIO MOGI-GUAÇU, SUL DE MINAS GERAIS. **Revista Agrogeoambiental**, v.6, n.3. p.63-70.2014.