

MANUEL PASTOR FRANCISCO CONJO

**OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA REGIÃO SUL DE
MOÇAMBIQUE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres

Coorientador: Gumercindo Souza Lima

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal
de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C751o
2022 Conjo, Manuel Pastor Francisco, 1983-
Ocorrências de incêndios florestais na região sul de Moçambique
/ Manuel Pastor Francisco Conjo. - Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (66 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento
de Engenharia Florestal, 2022.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.215>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Incêndios florestais - Previsão - Moçambique, Sul.
2. Mapeamento florestal. 3. Vegetação - Mapeamento. I. Torres, Fillipe
Tamiozzo Pereira, 1979-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação
em Ciência Florestal. III. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed.

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto CRB6 2523

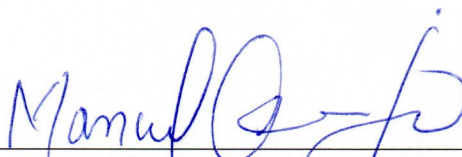
MANUEL PASTOR FRANCISCO CONJO

**OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA REGIÃO SUL DE
MOÇAMBIQUE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 13 de abril de 2022.

Assentimento:



Manuel Pastor Francisco Conjo
Autor



Fillipe Tamiozzo Pereira Torres
Orientador

Aos meus filhos, esposa, pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao meu orientador.

Aos meus pais.

À minha esposa e filhos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

O presente trabalho e os estudos no geral foram realizados com apoio do Instituto de Bolsas de Estudo de Moçambique (IBE), que subsidiou minha estadia no Brasil pelo período de Formação.

Ao Victor Benjamim Victor, que auxiliou bastante na aquisição de dados inerentes a realização do trabalho e a parte cartográfica.

Aos meus Irmãos em especial, Joaquim Bongane Conjo, ele sim, me instruiu para o ingresso no ensino superior.

Ao meu mentor, Prof. Doutor Octavio Manuel de Jesus pelo sempre incondicional apoio abnegado.

Ao Prof. Doutor André Luís Faria pelo apoio e suporte desde 2009.

Ao Dílson Garcia e Alexandre, da secretaria da pós pelo sempre apoio incondicional.

Ao Chiquinho, pelo carinho e chave da uma das salas que ele me confiou para que eu fosse ficar lá a estudar no ambiente mais calmo.

A todos professores e colegas do departamento que direta ou indiretamente contribuíram para o alcance deste intento, em especial ao Professor Hélio.

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”.

(Albert Einstein)

RESUMO

CONJO, Manuel Pastor Francisco, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2022. **Ocorrências de incêndios florestais na região sul de Moçambique.** Orientador: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres. Coorientador: Gumercindo Souza Lima.

O presente trabalho teve por objetivo estudar os incêndios florestais na região sul de Moçambique. Utilizou-se dos Sistemas de Informações Geográficas, Sensoriamento Remoto e teste estatístico para mapear áreas com susceptibilidade aos incêndios e determinar pontos mais eficientes para torres de detecção, compreender a distribuição espaço-temporal dos focos de incêndios e apurar a susceptibilidade do VCI (índice de condição da vegetação) aos incêndios. Os resultados apontaram que os fatores físicos espaciais e temporais são responsáveis pela susceptibilidade e probabilidade ou não de incêndios florestais determinando a periculosidade. Contudo, o homem e suas atividades condicionam a distribuição de maior ou menor número de ocorrências na região. Concluiu-se que os resultados gerados, a partir das metodologias utilizadas, mostraram-se eficazes por poder direcionar melhores ações para a prevenção e combate aos incêndios florestais nas áreas estudadas.

Palavras-Chave: Perigo de incêndios florestais. Mapeamento. NDVI. VCI. Mapa de susceptibilidade.

ABSTRACT

CONJO, Manuel Pastor Francisco, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2022. **Occurrence of forest fires in the southern region of Mozambique.** Adviser: Fillipe Tamiozzo Pereira Torres. Co-adviser: Gumerindo Souza Lima.

The present work aimed to study forest fires in the southern region of Mozambique. Geographic Information Systems, Remote Sensing and statistical tests were used to map areas with susceptibility to fires and determine the most efficient points for detention towers, understand the spatio-temporal distribution of fires and determine the susceptibility of the VCI (indices of vegetation condition) to fires. The results showed that the physical, spatial and temporal factors are responsible for the susceptibility and probability or not of forest fires, determining the danger. However, man and his activities condition the distribution of a greater or lesser number of occurrences in the region. It was concluded that the results generated from the methodologies used proved to be effective in being able to direct better actions for the prevention and combat of forest fires in the studied areas.

Keywords: Danger of forest fires. Mapping. NDVI. IVC. Susceptibility map.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo I

Figura 1 – Mapa de localização da região sul de Moçambique	19
Figura 2 – Fluxograma da metodologia aplicada no estudo	21
Figura 3 – Mapa de Susceptibilidade aos Incêndios na Zona Sul de Moçambique	24
Figura 4 – Mapa dos pontos mais eficientes para a instalação de torres de detecção	25

Capítulo II

Figura 1 – Mapa de localização da região sul de Moçambique	35
Figura 2 – Roteiro metodológico.....	38
Figura 3 – Teste Scott Knott da distribuição de focos de incêndios.....	39
Figura 4 – Distribuição dos focos de incêndios e a precipitação.....	40
Figura 5 – Distribuição espacial dos focos de incêndios (2010 a 2020)	40

Capítulo III

Figura 1 – Mapa de localização do distrito de Xai - Xai	51
Figura 2 – Média anual do VCI do distrito de Xai-Xai (2010 – 2020).....	55
Figura 3 – Distribuição de Incêndios do distrito de Xai-Xai (2010 – 2020).....	56

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1 – Dados de entrada.....	20
Tabela 2 – Notas atribuídas aos parâmetros de susceptibilidade a incêndios florestais.....	21
Tabela 3 – Focos por hectare em cada classe de susceptibilidade.....	24

Capítulo III

Tabela 1 – Distribuição de focos por casses de VCI de 2010 – 2020	55
---	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Água.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
<i>FAO</i>	<i>Food and Agriculture Organization.</i>
FUNAB	Fundo do Ambiente.
<i>GrADS</i>	<i>Grid Analysis and Display System.</i>
ha	Hectares.
<i>HDF</i>	<i>Hierarchical Data Format.</i>
ICV	Índice de Cobertura Vegetal.
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial.
Km	Quilômetros.
MICOA	Ministério para a Coordenação da Ação Ambiental.
MITADER	Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural.
<i>MODIS</i>	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.</i>
<i>MRT</i>	<i>Modis Reprojection Tool.</i>
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada.
SIG	Sistema de Informação geográfica.
<i>TIFF</i>	<i>Tagged Image File Format.</i>
<i>TRMM</i>	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
<i>USGC</i>	<i>United States Geological Survey</i>
VCI	Índice de condição da vegetação.

LISTA DE SÍMBOLOS

°	Graus
%	Porcentagem.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2. CAPÍTULO I - SUSCEPTIBILIDADE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS E DETERMINAÇÃO DOS PONTOS MAIS EFICIENTES PARA A INSTALAÇÃO DE TORRES DE DETECÇÃO NA REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE.....	17
2.1. INTRODUÇÃO.....	18
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.3. RESULTADOS.....	23
2.4. DISCUSSÃO.....	25
2.5. CONCLUSÕES.....	28
2.6. REFERÊNCIAS.....	29
3. CAPÍTULO II - ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE, NO PERÍODO ENTRE 2010 a 2020.....	33
3.1. INTRODUÇÃO.....	34
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.2.1. Análise temporal.....	36
3.2.2. Análise espacial.....	37
3.3. RESULTADOS.....	38
3.4. DISCUSSÃO.....	41
3.5. CONCLUSÕES.....	44
3.6. REFERÊNCIAS.....	45
4. CAPÍTULO III - ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE DA VEGETAÇÃO À INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO DE XAI-XAI, PROVÍNCIA DE GAZA DE 2010 A 2020.....	49
4.1. INTRODUÇÃO.....	50
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	51
4.3. RESULTADOS.....	54
4.4. DISCUSSÃO.....	56
4.5. CONCLUSÕES	59
4.6. REFERÊNCIAS	60
5. CONCLUSÕES GERAIS.....	63
6. REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO GERAL

Incêndio florestal, segundo Ye *et al.* (2017), pode ser entendido como todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo ter sido provocado pelo homem (por intenção ou negligência) ou por fonte natural (raio).

Ainda que os incêndios possam desempenhar um papel ecologicamente significativo nos ciclos biogeoquímicos e no funcionamento dos ecossistemas, a frequência e intensidade dos incêndios muitas vezes levam à destruição da vegetação florestal com enormes efeitos negativos na química atmosférica (poluição atmosférica e emissão de carbono) e na ecologia (perda de biodiversidade, instabilidade da paisagem e proliferação de espécies invasoras), tornando-se também uma ameaça aos bens econômicos e à saúde humana (BEZERRA *et al.*, 2016; NHONGO *et al.*, 2019).

Segundo Bacani (2016), os incêndios florestais são uma ameaça constante em áreas com uma interface rural-floresta. Eles podem causar danos ambientais consideráveis, especialmente em áreas protegidas, como perda de biodiversidade, erosão do solo e problemas financeiros com a destruição de algumas infraestruturas locais. A nível regional, destaca-se, emissão de gases na atmosfera e a diminuição da qualidade do ar, sua fumaça gera problemas para a saúde humana e afeta os meios de transporte. A nível global, promovem aumento nas emissões de carbono para a atmosfera, contribuindo para o fenômeno das oscilações climáticas (BACANI, 2016; TORRES *et al.*, 2017).

Em Moçambique estima-se que anualmente os incêndios florestais destroem em média 15 milhões de hectares de florestas de Miombo (savana) por ano, apresentando forte tendência de aumento nos últimos anos, provocando pressão sobre as florestas e seus habitantes por causa da expansão de áreas de agricultura itinerante e outras atividades humanas (NHONGO, FONTANA E GUASSELLI, 2020)

A região sul de Moçambique é caracterizada por possuir um relevo plano com uma vasta área de savanas, que atualmente se encontra ameaçada por conta do aumento do número de ocorrências de incêndios florestais, afetando a flora nativa predominante, os grandes mamíferos e outras espécies que habitam no ecossistema florestal (MICOA, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2021; MACAVE *et al.*, 2022). Para além dos impactos diretos sobre os diferentes ecossistemas florestais, os incêndios interferem na economia da região, conduzindo a escassez de recursos florestais essenciais para a sobrevivência das comunidades no interior e arredores das reservas, perda de grande volume de madeira e destruição patrimonial (MICOA, 2007; MÁRIO, MESA e SERROTE, 2021).

Moçambique, principalmente a região sul, conta com poucos estudos acerca do problema que os incêndios representam para os ecossistemas florestais (CONJO, 2021), o que constitui entrave para o desenvolvimento de ações para redução de seus impactos. Contudo, evidencia-se uma tendência progressiva de pesquisas nesta área, destacando algumas iniciativas desenvolvidas para o norte do país, como é caso dos estudos sobre a caracterização da distribuição espacial e temporal do regime de fogo (RIBEIRO *et al.*, 2021) e padrões espaço-temporais de incêndios florestais (NHONGO, FONTANA e GUASSELLI, 2020), ambos na Reserva do Niassa.

A susceptibilidade aos incêndios está intimamente relacionada ao meio físico e a forma como os diferentes fatores deste meio atuam, com destaque para a cobertura vegetal, relevo e clima (MONTFORT *et al.*, 2021), que se traduzem nas características dos combustíveis (distribuição vertical e horizontal, dimensão, quantidade ou carga, umidade do combustível, combustibilidade e percentagem de combustíveis finos mortos); características do relevo (forma, declive e exposição das vertentes) e características climáticas (GRÜSS *et al.*, 2018; CAMARGO *et al.*, 2019).

Por sua vez, o estado do tempo, aumenta ou reduz a probabilidade de ocorrências de incêndios, fazendo com que nos momentos em que a temperatura do ar é alta e a umidade relativa do ar é baixa, os materiais vegetais combustíveis presentes nas florestas estejam mais secos e aquecidos e, por isso, mais prováveis de incendiar quando submetidos a uma fonte de ignição. Por outro lado, na época do ano, ou período do dia, com maior umidade, a vegetação é menos provável de se incendiar (MICOA, 2007; NHONHO *et al.*, 2019).

A conjugação de aspetos espaciais do meio físico que se traduzem na susceptibilidade, e os temporais que indicam a probabilidade de ocorrências, conduzem a periculosidade de incêndios florestais (MBANZE *et al.*, 2017; CASAVECCHIA *et al.*, 2019).

A título de exemplo, as áreas com alta susceptibilidade, nas épocas chuvosas com temperaturas relativamente baixas e alta umidade do ar, a vegetação se encontra mais úmida e, portanto, menor perigo de uma fonte de ignição se transformar em um incêndio florestal (SORIANO, DANIEL e SANTOS, 2015).

Entretanto, em áreas com baixa susceptibilidade, se as questões meteorológicas forem favoráveis em determinada época do ano (baixa umidade relativa, alta temperatura do ar e elevado número de dias sem chuva), aumentam a probabilidade de uma chama inicial dar origem a um incêndio (CARREIRAS *et al.*, 2014).

Assim, uma área com alta susceptibilidade em um período em que a probabilidade de ocorrência é alta, torna-se uma área perigosa à ocorrência de incêndios florestais (TORRES *et*

al., 2017), ou por outras, a forte interação entre os fatores físicos fixos e fatores temporais do meio físico, aumentam o perigo de uma chama inicial se transformar em um incêndio florestal (SORIANO, DANIEL e SANTOS, 2015).

Não obstante, a periculosidade de incêndios está diretamente relacionada aos aspectos que concorrem para sua ocorrência, evidenciando-se que quando existe um alto perigo de incêndio eminente, necessita apenas de uma pequena fonte de ignição para desencadear um incêndio. Por outro lado, quando o perigo é muito baixo é necessário maior esforço para que ocorra um incêndio, ou seja para desencadear um incêndio é imprescindível que a fonte de ignição seja mais intensa (DA SILVA, BARROS e MEYER, 2018)

Desta forma, segundo Torres *et al.* (2017), as atividades humanas têm influências dramáticas sobre a ocorrência ou não dos incêndios, também alterando frequência, área queimada e padrão de distribuição das ocorrências. Portanto, as ações antrópicas definem a intensidade da ignição, podendo se afirmar que o homem é o principal causador dos incêndios florestais, afinal de contas a maioria deles são iniciados em decorrência de algum tipo de atividade humana (CAMARGO *et al.*, 2019). Corroborando, Longo (2010) refere que o aumento dos incêndios está relacionado sempre às atividades antrópicas, conforme descrito 99% de incêndios são provocados.

Por essa razão, ocorrem incêndios em áreas com baixo perigo e por vezes podem não ocorrer em áreas com elevado perigo, variação devida à atuação humana em certos lugares em detrimento de outros (ABREU e SOUZA, 2016). Portanto, as causas humanas sobrepõem-se aos demais fatores que originam o perigo de ocorrência de incêndios florestais, ocasionando que a ignição ocorra nos lugares onde a interação do homem com o meio é mais intensa (DA SILVA *et al.*, 2018).

Diante do exposto, o objetivo geral deste estudo é identificar o perigo de incêndios florestais e caracterizar as ocorrências de incêndios florestais afim de se perceber o quão a motivação antrópica pode se sobrepor a periculosidade de incêndios condicionada pelos fatores ambientais.

Especificamente, os objetivos do presente estudo são: analisar a susceptibilidade às ocorrências de incêndios florestais, através da aplicação de tecnologias digitais de geoprocessamento (SIG e Sensoriamento Remoto); fazer uma análise espaço-temporal das ocorrências de incêndios florestais na região sul de Moçambique e; fazer uma comparação do período de ocorrência de focos conforme o estado da vegetação no Distrito de Xai-Xai entre 2010 a 2020.

Para isto, a tese foi organizada em 3 artigos:

CAPÍTULO 1 – Susceptibilidade aos incêndios florestais e determinação dos pontos mais eficientes para a instalação de torres de detecção na região sul de Moçambique.

CAPÍTULO 2 – Análise espaço-temporal dos focos de incêndios florestais na região sul de Moçambique, no período entre 2010 a 2020.

CAPÍTULO 3 – Análise da susceptibilidade da vegetação a incêndios florestais no distrito de Xai-Xai, província de gaza de 2010 a 2020.

2. CAPÍTULO I

SUSCEPTIBILIDADE AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS E DETERMINAÇÃO DOS PONTOS MAIS EFICIENTES PARA A INSTALAÇÃO DE TORRES DE DETECÇÃO NA REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE

Resumo – O presente estudo teve por objetivo analisar a susceptibilidade aos incêndios florestais na região sul de Moçambique, a partir da correlação espacial dos fatores que controlam e potencializam o fenômeno. Utilizou-se para o efeito, os Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto para mapear áreas com susceptibilidade a ocorrência de incêndios florestais. Também se fez a validação do resultado sobrepondo ao mapa de focos de calor. O resultado apontou que, o mapa de susceptibilidade indica a existência de 13,9% (2.331.475,22 ha) da área com baixa susceptibilidade, 85% (14.299.207 ha) média susceptibilidade e 1% (139.798,23 ha) às áreas de alta susceptibilidade às ocorrências de incêndios, destacando-se que as áreas mais susceptíveis não coincidiram com as áreas de maior número de ocorrências, o que mostra o papel do fator antrópico. O procedimento, conduziu comumente a elaboração do mapa de visibilidade, que permitiu determinação de seis (6) pontos mais eficientes para a instalação de torres de detecção a incêndios, com cobertura de 67% de área com susceptibilidade média e 88% de alta susceptibilidade. Concluiu-se que o modelo gerado é adequado por poder direcionar melhores ações para a prevenção e que a área de visibilidade coberta pelas torres é satisfatória por responder aos padrões.

Palavras Chave: Sistemas de Informações Geográficas; Sensoriamento Remoto; Mapa de Susceptibilidade

SUSCEPTIBILITY TO FOREST FIRE AND DETERMINATION OF THE MOST EFFICIENT POINTS FOR THE INSTALLATION OF DETECTION TOWERS IN THE SOUTHERN REGION OF MOZAMBIQUE

Abstract – The present study aims to analyze the susceptibility to forest fires in the southern region of Mozambique, from the spatial correlation of the factors that control and potentiate the phenomenon. For this purpose, the Geographic Information Systems and Remote Sensing were used to map areas with susceptibility to the occurrence of forest fires. The result was also validated by superimposing it on the hotspot map. The result showed that the susceptibility map indicates the existence of 13.9% (2,331,475.22 ha) of the area with low susceptibility, 85% (14,299,207 ha) medium susceptibility and 1% (139,798.23 ha) to areas of high susceptibility to the occurrence of fires, highlighting that the most susceptible areas did not coincide with the areas with the highest number of occurrences, which shows the determining the anthropic factor. The procedure commonly led to the elaboration of the visibility map, which allowed the determination of six (6) most efficient points for the installation of fire detention towers, with coverage of 67% of the area with medium susceptibility and 88% of high susceptibility. It was concluded that the generated model is suitable for being able to direct better actions for prevention and the visibility area covered by the towers is satisfactory for responding to the standards.

Keywords: Geographic Information Systems; Remote sensing; Susceptibility Map

2.1. INTRODUÇÃO

Embora os incêndios possam desempenhar um papel ecologicamente significativo nos ciclos biogeoquímicos, sua frequência e intensidade muitas vezes levam à destruição da vegetação florestal com efeitos negativos na química atmosférica (poluição atmosférica e emissão de carbono) e na ecologia (perda de biodiversidade, instabilidade da paisagem e proliferação de espécies invasoras), tornando-se também uma ameaça aos bens econômicos e à saúde humana (NHONGO *et al.*, 2019).

Em Moçambique, como na maioria dos países tropicais, a área florestal tende a diminuir a um ritmo relativamente acelerado, não só pelo aumento demográfico ou o desmatamento para fins agropecuários, mas também devido às práticas que levam a ocorrências de incêndios florestais. Os incêndios ocorrem anualmente em todo território nacional, durante o período seco e no início das campanhas agrícolas e de caça (MICOA, 2007).

O problema do fogo está relacionado com as práticas de atividades agrícolas impróprias, caça, necessidade de combustível lenhoso e questões socioculturais, principalmente em grandes aglomerados populacionais, resultando na destruição da biodiversidade e dos habitats, na perda da fertilidade de solos, entre outros (GRÜSS *et al.*, 2018).

Na região Sul de Moçambique, são raros outros estudos trazendo mesma abordagem, se não, relatórios elaborados pelo MICOA (Ministério para a Coordenação da Ação Ambiental), mas com uma abordagem superficial sobre o fenômeno. Contudo, pode-se fazer referência aos estudos de Macorreia (2020) e Nhongo *et al.* (2020), ambos realizados no Norte do país, trazendo uma abordagem sobre educação ambiental na mitigação do fogo florestal com a sua fauna-bravia em Sussundenga e padrões espaço-temporais de incêndios florestais na Reserva do Niassa usando dados de sensoriamento remoto, respectivamente.

A inexistência de estudos desta natureza para a região sul de Moçambique, províncias de Gaza, Inhambane e Maputo, impulsionou a esta pesquisa cujo objetivo centra-se em analisar a susceptibilidade às ocorrências de incêndios florestais, através da aplicação de tecnologias digitais de geoprocessamento (SIG e Sensoriamento Remoto), que são equipamentos e meios tecnológicos para se estudar o espaço terrestre, consistindo na utilização de ferramentas, como satélites e radares, para a captação de informações e imagens acerca da superfície terrestre (MENEZES RIBEIRO *et al.*, 2011; MIURA *et al.*, 2011), o que permitiu a construção de um mapa de susceptibilidade, onde as classes, em diferentes níveis de hierarquia, apontam as principais áreas e suas potencialidades a ocorrência de incêndios florestais, assim como

determinação de pontos mais eficientes para a instalação de torres de detecção de incêndios florestais. Estes elementos irão auxiliar na elaboração de políticas de prevenção e tomada de decisão para o controle dos incêndios florestais na região.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

Moçambique situa-se na Costa Oriental da África Austral, entre os paralelos 10° 27' e 26° 52' de Latitude Sul e os meridianos 30° 12' e 40° 51' de Longitude Leste. Ao Norte faz fronteira com a República da Tanzânia, a Oeste com Malawi, Zâmbia, Zimbabwe, África do Sul e Swazilândia, a Sul com a África do Sul e a Leste é banhado pelo Oceano Índico, conforme mostra a (Figura 1). O país tem uma área de 799.380 km², com regiões principalmente de várzea no leste e algumas regiões montanhosas no oeste do país, atingindo alturas de até 2.436 m. A região sul do país é formada por três províncias Gaza, Inhambane e Maputo, esta última não computa a região da capital Maputo que tem status de província (MONTFORT *et al.*, 2021).

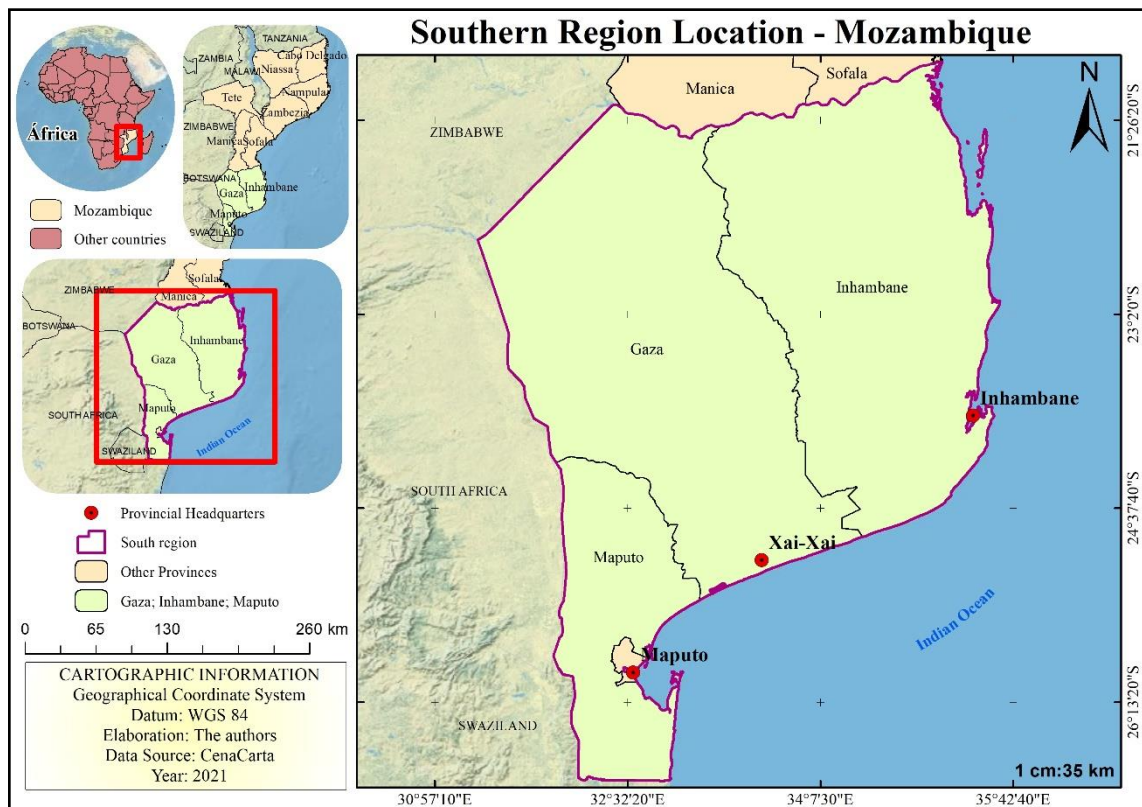


Figure 1: Mapa de localização da região sul de Moçambique
Location Map of the Southern Region of Mozambique

Em Moçambique, o clima Tropical é caracterizado por temperaturas do ar elevadas, em média 20 °C, e com amplitude que não ultrapassa os 10 °C. Na região do Planalto Noroeste, as

temperaturas do ar anuais variam entre 18 e 20 °C, em função das maiores altitudes, enquanto na região central do rio Zambezi, Norte, Litoral Centro e Sul (na bacia do Limpopo), que coincidem em parte com as baixadas litorâneas e terras baixas, observam-se as maiores temperaturas anuais (24 - 26 °C) (UELE *et al.*, 2017).

O relevo de Moçambique dispõe-se em forma de anfiteatro onde se distingue uma zona montanhosa a Oeste, que decresce em degraus aplanados até à planície litoral a Leste. Assim, de acordo com a altitude, identificam-se em Moçambique planícies, planaltos, montanhas e depressões. O relevo da região sul de Moçambique compreende médias e baixas altitudes variando de 0 a 800 metros. Compõem-na maioritariamente grandes extensões planas, drenadas pelas bacias hidrográficas do Limpopo, do Incomáti e de outros rios menores (MACARRINGUE *et al.*, 2017; UACANE, 2018).

Para a geração da susceptibilidade aos incêndios florestais foram levadas em consideração seis variáveis como contribuintes para a possível deflagração dos incêndios florestais a partir de uma chama inicial (TORRES *et al.*, 2017; DOS SANTOS JÚNIOR, PRADO e LIMA, 2020). São elas: *Inclinação do Terreno, Uso e Ocupação da terra, Temperatura, Precipitação pluviométrica, Orientação das Encostas e Altitude*.

Os dados foram adquiridos junto aos órgãos de planejamentos em diferentes formatos, descrito na (Tabela 1).

Tabela 1: Dados de entrada

<i>Input data</i>		
Dados de Entrada	Formato	Fonte
Uso e Ocupação da Terra	<i>Raster</i>	USGS
Temperatura	<i>Shapefile</i>	MICOA
Precipitação	<i>Raster</i>	TRMM
Orientação das Encostas	<i>Raster</i>	USGS
Altimetria	<i>Raster</i>	USGS
Inclinação do Terreno	<i>Raster</i>	USGS
Focos de Incêndios	<i>Shapefile</i>	INPE

Todos os dados agregados em formato matricial foram usados de forma a gerar os mapas de Uso e Cobertura da Terra, Orientação das Encostas, Altimetria, Inclinação de Terreno e para a construção dos mapas de Precipitação e Temperatura.

Os procedimentos de edição foram realizados na plataforma computacional *ArcGIS* 10.8. O fluxograma apresentado na (Figura 2) exhibe os procedimentos metodológicos.

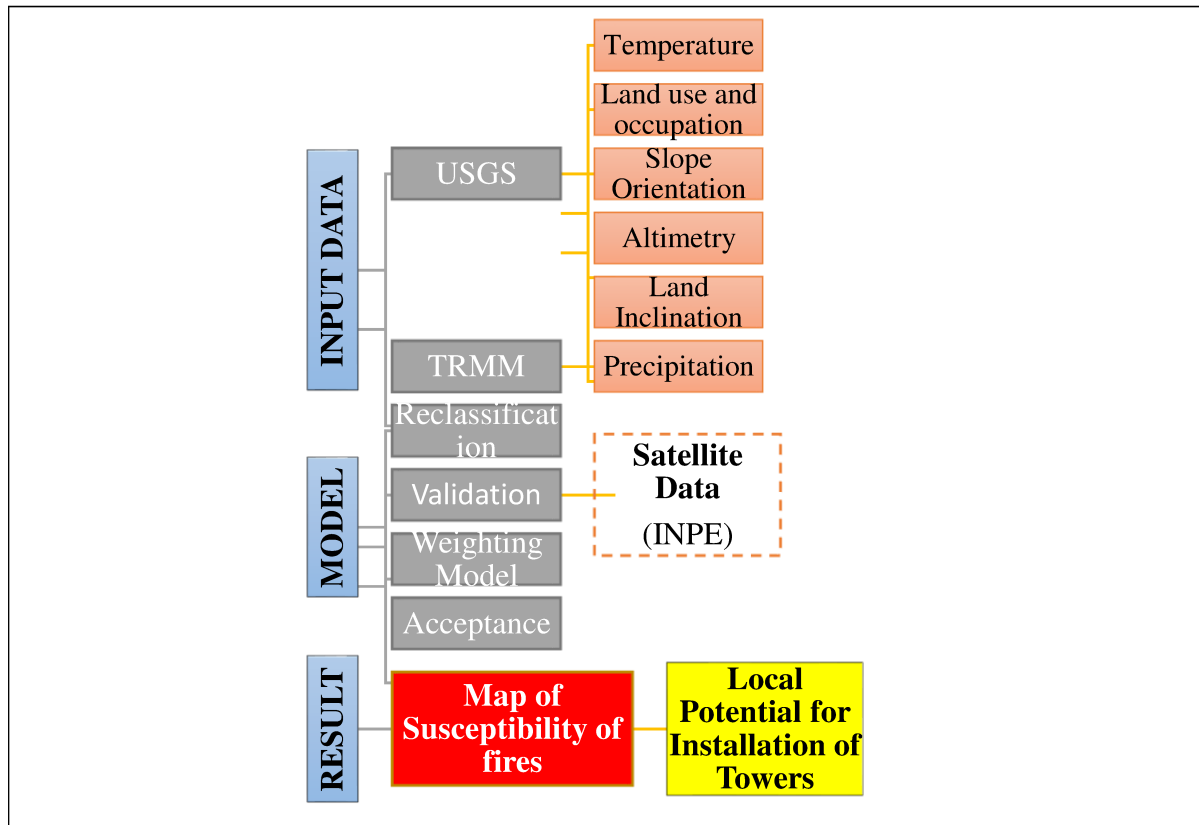


Figura 2: Fluxograma da metodologia aplicada no estudo.

Flowchart of the methodology applied in the study.

Para elaboração do mapa utilizou-se o modelo proposto por White, White e Ribeiro (2016), onde primeiramente, foram determinadas notas (0 a 3) para cada parâmetro (Tabela 2), de maneira que quanto maior a nota, maior a influência desse parâmetro na susceptibilidade de incêndio (1 – baixa, 2 – média, 3 – alta). As notas foram atribuídas de acordo com os fatores elencados pela literatura pesquisada (TORRES *et al.*, 2017; CAMARGO *et al.*, 2019; DOS SANTOS JÚNIOR, PRADO e LIMA, 2020). O mapa de susceptibilidade final foi elaborado a partir da técnica de álgebra de mapas temáticos.

Tabela 2: Notas atribuídas aos parâmetros de susceptibilidade a incêndios florestais.
Notes attributed to the parameters of susceptibility to forest fires.

Parâmetros	Classes	Notas	Susceptibilidade
Temperatura	17,5 - 20	1	Baixa
	20 - 25	2	Média
	> 25	3	Alta
Uso e Ocupação de Solo	Mancha de Água		Nula
	Mancha Urbana	1	Baixa
	Áreas de Cultivo, Vegetação Arbórea	2	Média
	Vegetação Herbácea, Área Arbustiva	3	Alta

Orientação das Encostas	Sudeste, Sul e Sudoeste	1	Baixa
	Leste e Nordeste	2	Média
	Noroeste, Oeste e Norte	3	Alta
Altimetria	-5 a 200m	1	Baixa
	201 a 400m	2	Média
	400m em diante	3	Alta
Inclinação do Terreno	0 - 8%	1	Baixa
	8 - 45%	2	Média
	>45%	3	Alta
Precipitação	700 – 1.000	1	Baixa
	500 - 700	2	Média
	300 – 500	3	Alta

A sobreposição foi realizada a partir de adaptação do modelo proposto por Prudente (2010), pela Expressão (1):

$$Susceptibilidade = T (6) + US (47) + OE (10) + A (12) + IT (20) + P (5)$$

Onde:

- ✓ T = coeficiente de susceptibilidade segundo a Temperatura;
- ✓ US = coeficiente de susceptibilidade segundo o Uso e Ocupação da Terra;
- ✓ OE = coeficiente de susceptibilidade segundo a Orientação das Encostas;
- ✓ A = coeficiente de susceptibilidade segundo a Altitude;
- ✓ IT = coeficiente de susceptibilidade segundo Inclinação do Terreno;
- ✓ P = coeficiente de susceptibilidade segundo a Precipitação.

A validação do modelo de susceptibilidade foi feita com base nos focos de calor obtidos por via da metodologia proposta, durante o intervalo em estudo (2010 a 2020). Onde, foram aplicados sobre cada área de susceptibilidade aos incêndios a sobreposição dos focos de calor existentes (INPE, 2021), em seguida foram recortados com recurso a ferramenta *clip*, de forma a estimar o número de focos existentes em cada classe, visando a validação do mapa gerado.

Definidas as áreas com maior susceptibilidade de incêndio, procedeu-se a identificação dos locais potenciais para implantação de torres de detecção de incêndios. Por essa via, foram analisados os seguintes fatores, de acordo com os estudos de Assis *et al.* (2014); Moreira, Mendes e Santos (2020).

- Relevo (*cotas de maior altitude*);
- Proximidade das estradas;
- Proximidade com as regiões classificadas com susceptibilidade moderado e alto;
- Uso e Ocupação da Terra.

Moreira, Mendes e Santos (2020) apontam que o estudo do melhor local para a construção da torre deve levar em consideração as características do relevo, tendo em vista que as cotas de maior altitude possibilitam um raio superior de visão da área em questão. Acrescentaram que a proximidade das estradas é importante nas análises, pois não é interessante que os vigias se desloquem a pé a distâncias grandes. Portanto, considerou-se que a maior distância entre as estradas e as torres é de 1.000 m.

A escolha dos locais potenciais para instalação das torres de detecção buscou possibilitar uma maior cobertura das regiões classificadas com susceptibilidade moderada e alta para a ocorrência de incêndios.

Em relação ao uso da terra, foram excluídas das análises as áreas com remanescentes de vegetação nativa, buscando assim evitar que para a instalação das torres fosse necessário desmatar a área.

Utilizando os critérios mencionados, procedeu-se com os testes que possibilitaram determinação dos pontos mais eficientes para instalação de torres de detecção, realizados de forma manual por meio da extensão *ViewShade Analysis*.

Foram identificados os espaços preferenciais, que podem ser observados a partir de pontos específicos, possibilitando se gerar uma área visível abrangida por cada torre e a dimensão de sua cobertura. Procedimento também usado por Aben, Pellikka e Travis (2018) em seus estudos.

Para uso da extensão foi necessário informar, além do ponto de instalação, dados de entrada como altura da torre e raio de visão. Com base nas informações geradas pela função *Visibility*, pôde-se determinar a porcentagem de células visíveis pela torre e decidir quanto à melhor localização e ao número de torres a serem instaladas na área de estudo. Para o efeito, adotou-se altura de 30 metros para as torres e raio de visão de 15 Km, valores considerados adequados e sugeridos por Moreira, Mendes e Santos (2020).

2.3. RESULTADOS

Do ponto de vista da análise espacial da região, considerando a susceptibilidade aos incêndios florestais e pontos mais eficientes para instalação de torres de detecção, os principais resultados incluem os mapas de susceptibilidade (Figura 3) e mapa de pontos preferenciais (Figura 4).

A distribuição espacial da susceptibilidade na área pesquisada resultou em três (3) classes, categorizando os distintos níveis de possibilidade de ocorrência de incêndios florestais

na região. Em função dos pesos recebidos e da manifestação dos valores de susceptibilidade mais elevados, a associação destes foram decisivos para os resultados, onde as variáveis se inter-relacionam, influenciando no comportamento uma das outras.

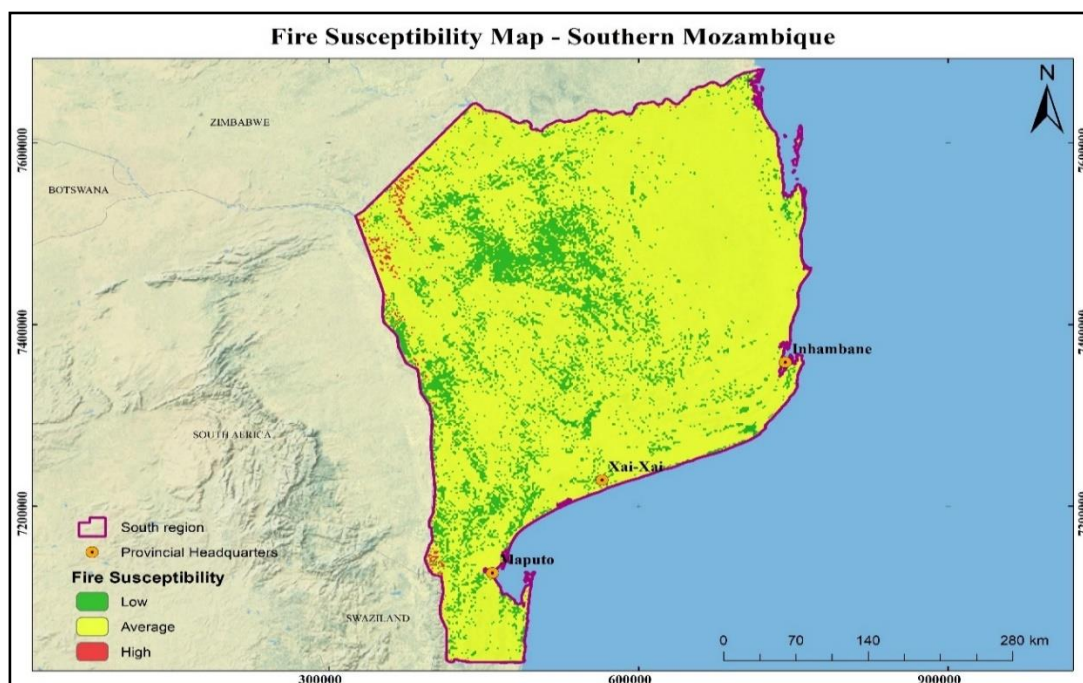


Figura 3: Mapa de Susceptibilidade aos Incêndios na Zona Sul de Moçambique.
Fire Susceptibility Map in the South Zone of Mozambique.

No modelo de susceptibilidade resulta que 13,9% (2.331.475,22 ha) da área total da região sul de Moçambique é de baixa susceptibilidade a ocorrências de incêndios, e 85% (14.299.207 ha) corresponde à média susceptibilidade, sendo que apenas 1% (139.798,23 ha) equivale as áreas de alta susceptibilidade ao fenómeno.

As variáveis que mais afetaram os resultados de maior susceptibilidade na região foram na seguinte ordem: Uso e ocupação do solo, Altimetria, Inclinação das encostas, Temperatura e, por fim a Precipitação.

A (Tabela 3) apresenta a distribuição espacial dos focos de incêndios, a partir do resultado encontrado na modelagem de Susceptibilidade de incêndios florestais.

Tabela 3: Focos por hectare em cada classe de susceptibilidade.
Outbreaks per hectare in each susceptibility class.

Classes	Focos/ha
Baixa	0,009
Media	0,007
Alta	0,006
Média	0,008

Os procedimentos metodológicos descritos conduziram também a determinação de pontos mais eficientes para a instalação de torres de detecção de incêndios florestais na região, onde foram encontrados 6 pontos mais eficientes, considerando o Relevo, Distância das estradas, Proximidade das regiões classificadas com susceptibilidade moderado e alta à incêndios e Uso da Terra.

O cálculo de visibilidade apurou 67% de área de média e 88% de alta susceptibilidade cobertas pelas torres de vigilância.

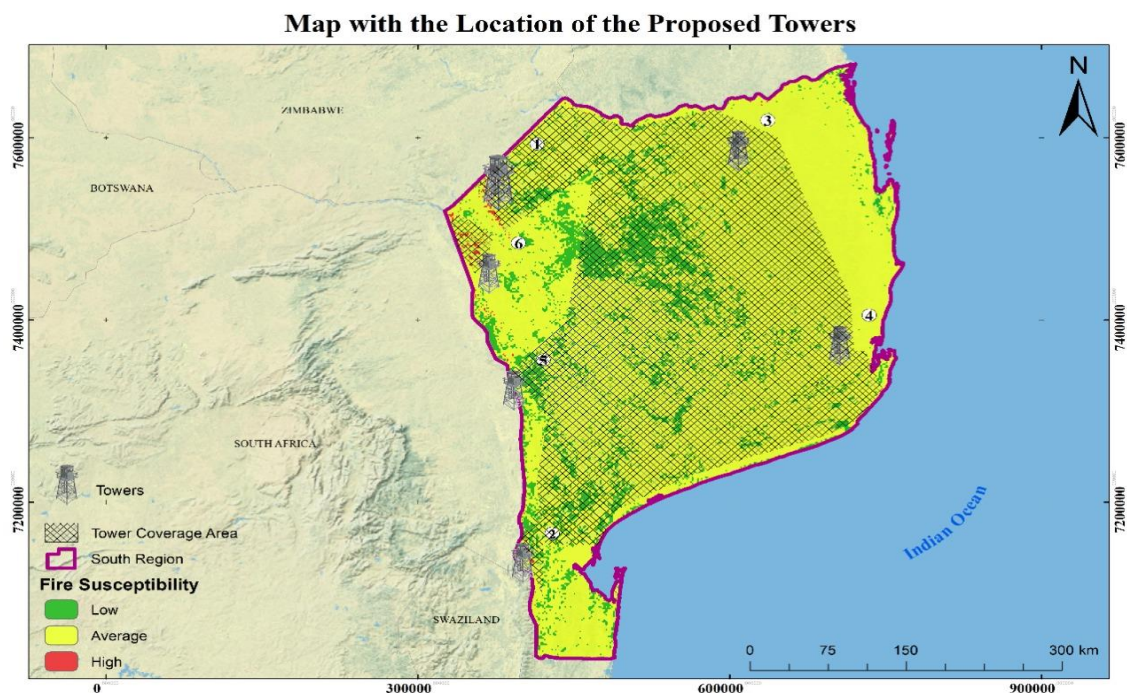


Figure 4: Mapa dos pontos mais eficientes para a instalação de torres de detecção.
Map of the most efficient points for the installation of detection towers.

2.4. DISCUSSÃO

No que concerne a classificação, foi estabelecida conforme Camargo *et al.* (2019) na qual a construção do mapa de susceptibilidade baseou-se na integração dos condicionantes previamente elencados, a partir da aplicação de um modelo de ponderação, o qual indica os níveis de influência de cada condicionante na ocorrência de incêndios florestais.

De maneira geral, o que justifica a distribuição porcentual das áreas de menor a maior susceptibilidade, pode-se observa que as regiões Noroeste e uma parte Sul, apresentaram elevada susceptibilidade às ocorrências de incêndios por apresentarem vegetação herbáceo-arbustiva, estarem voltadas ao norte, com declividade e, portanto, receberem maior radiação. Geralmente,

o posicionamento do lugar, em relação à quantidade de radiação solar recebida e sua inclinação, é determinante para a susceptibilidade ou não aos incêndios florestais, pois em orientações voltadas para entre o Norte e Oeste, as curvaturas divergentes e encostas com maiores inclinações (maior declividade) tendem a receber maior quantidade de radiação solar (DOS SANTOS JÚNIOR, PRADO e LIMA, 2020). Isto influencia na secagem de diferentes tipos de materiais combustíveis, em cada encosta e/ou inclinação (TORRES *et al.*, 2014; TORRES *et al.*; 2017; TORRES *et al.*, 2018), propiciando determinado lugar a maior ou menor susceptibilidade.

A região sul de Moçambique é na sua maioria plana e por isso com uma porcentagem reduzida de áreas classificadas como susceptibilidade alta, o que olhando pelo viés da inclinação do terreno como um dos fatores que condiciona a susceptibilidade aos incêndios, pode se considerar o resultado encontrado coerente. Neste contexto, dos Santos Júnior, Prado e Lima (2020) afirmam que em locais declivosos, a propagação do fogo é rápida em comparação àquele que ocorre em áreas sem declividade devido ao efeito de fatores adicionais, como a convecção e a radiação solar, as quais, mesmo atuando em áreas planas, condicionam susceptibilidade reduzida do que em áreas declivosas.

Por essa razão, em Moçambique as zonas de alta susceptibilidade aos incêndios florestais distribuem-se mais ao norte, onde o relevo é planáltico a montanhoso, elevando-se de sul para o norte do país (NHONGO *et al.*, 2019), propiciando que a região sul tenha mais áreas de baixa e média susceptibilidade. Corroborado por Torres *et al.* (2018) ao afirmarem que a altitude, também influencia nas ocorrências de incêndios florestais, visto que determina a quantidade de material combustível, bem como, a sua umidade, de forma semelhante em diferentes regiões do mundo, as mesmas tendem a diminuir com maiores altitudes.

Com relação à validação do modelo gerado, percebe-se que a susceptibilidade aos incêndios florestais, em função das características do meio físico (Tabela 3), não foi decisiva em relação à localização dos focos de incêndios. Aspecto justificado pela ação humana, que muitas vezes se fixa e desenvolve suas atividades no interior de parques e reservas, o que resulta no uso irracional dos recursos, sobretudo o fogo, acabando por provocar incêndios (MICOA, 2007; ABREU e SOUZA 2016). Apontamento corroborado por Montfort *et al.* (2016) ao afirmar que as atividades humanas em Moçambique são responsáveis pela degradação ambiental, como o desmatamento de áreas vegetadas para a produção de lenha e os incêndios florestais que atingem uma área de 30 milhões de hectares de floresta e outras terras (38% do território) a cada ano.

Em Moçambique, a susceptibilidade assim como a distribuição de focos, são determinados pelas mesmas razões a semelhança de outros lugares do planeta, embora os

fatores não atuem com mesma intensidade em todo globo, distinguindo-se de um lugar para outro conforme suas particularidades (SORIANO, DANIEL e SANTOS, 2015). Direta ou indiretamente, as ações antrópicas figuram-se principais responsáveis pela ocorrência de incêndios florestais nos diferentes lugares, fazendo com que áreas de baixa susceptibilidade do meio físico apresentem mais ocorrências que áreas de alta susceptibilidade, como foi o identificado nos resultados.

Em alguns pontos da Europa, como Portugal, por exemplo, os fatores climáticos e topográficos principalmente, são fortemente determinantes para sucessão dos incêndios florestais (CARDIL, DELOGU e MOLINA-TERRÉN, 2017; CAMARGO *et al.*, 2019).

O clima proporciona condições em termos de seca e temperatura, que conduz à fácil ignição (TORRES *et al.*, 2017). Mas em Moçambique, sobretudo na região sul, o homem e suas atividades são assumidos como principais fatores que determinam a ocorrência de incêndios (MICOA, 2007). Este aspecto justifica que lugares mais susceptíveis também não sejam necessariamente os que apresentam mais focos de ocorrências, conforme demonstram os resultados desta pesquisa.

Contudo, as oscilações climáticas e alteração das áreas rurais, intensificando um maior período seco, que se observa em algumas partes do mundo, podem favorecer ainda mais as ocorrências de incêndios e o comportamento extremo ao fogo (CHANG *et al.*, 2015), visto que aumentam a susceptibilidade (relacionada às condições do sítio) e a probabilidade (relacionada as condições do tempo) de uma chama inicial (antrópica) se transformar em um episódio de incêndio florestal.

Com relação à proposta de alocação de torres de detecção, o resultado é condizente com o estudo de White; White e Ribeiro (2016) no qual estima que, uma visibilidade ou cobertura de 70 a 80% da área pode ser considerada satisfatória. Sendo assim, o referente estudo se torna coerente e aceitável diante do valor de visibilidade alcançado das torres para os locais difundidos. Desta forma, a metodologia utilizada mostrou-se satisfatória podendo ser aplicada de maneira eficiente na determinação dos locais e do número necessário de torres, pois os resultados confirmam a importância do SIG na prevenção e no combate aos incêndios, aumentando a eficiência do sistema de vigilância e otimizando os custos com a instalação de torres. Nesse contexto, a utilização de torres de observação constitui um método de detecção, oferecendo subsídios importantes para diminuir o tempo do primeiro combate, tendo em vista que a construção de torres em pontos estratégicos permite abrangência de visibilidade do observador na identificação dos focos de incêndios de maneira mais rápida (BACANI, 2016; MOREIRA, MENDES e SANTOS, 2020).

2.5. CONCLUSÕES

Diante dos objetivos propostos e os resultados obtidos, conclui-se que:

Apesar das características físicas do extremo sul e do extremo noroeste se apresentarem mais susceptíveis, as outras áreas mais planas é que concentram maior número de focos em decorrência de causas humanas ligadas a diversas formas de uso e ocupação do solo, que são apontadas como principais razões das ocorrências de incêndios florestais.

Em relação determinação dos pontos mais eficientes da instalação de torres de detecção de incêndios florestais na região sul de Moçambique, seis (6) torres são suficientes para visibilidade de 67% de área com susceptibilidade média e 88% de alta susceptibilidade e, portanto, satisfatório.

2.6. REFERÊNCIAS

- ABEN, Job; PELLIKKA, Petri; TRAVIS, Justin MJ. A call for viewshed ecology: advancing our understanding of the ecology of information through viewshed analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, Londres, v. 9, n. 3, p. 624-633, 2018. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/2041-210X.12902>. Acesso em: 18 de janeiro de 2021.
- ABREU, Fabio de Almeida; SOUZA, Josiane do Socorro Aguiar. Dinâmica espaço-temporal de focos de calor em duas terras indígenas do estado de Mato Grosso: uma abordagem geoespacial sobre a dinâmica do uso do fogo por Xavantes e Bororós. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 23, p. 1-10, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/loram/a/XKyLKpHFHPLMLbVKhRc3cqQ/?lang=pt&format=html&stop=previous>. Acesso em: 20 de julho de 2021.
- ASSIS, Fellipe Ragner Vicente de *et al.* Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 133-142, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/32618>. Acesso em: 16 de junho de 2021.
- BACANI, Vitor Matheus. Geoprocessing applied to risk assessment of forest fires in the municipality of Bodoquena, Mato Grosso do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, p. 1003-1011, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/B9dwZvwjZ3JxDcfm5HJyyBx/abstract/?lang=en>. Acesso em: 15 de junho de 2021.
- CAMARGO, Leandro De Souza *et al.* Mapeamento de áreas susceptíveis a incêndios florestais do município de Petrópolis–RJ. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 630-641, 2019. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13164>. Acesso em: 15 de junho de 2021.
- CARDIL, Adrián; DELOGU, Giuseppe Mariano; MOLINA-TERRÉN, Domingo Miguel. Fatalidades em incêndios florestais de 1945 a 2015 na Sardenha (Itália). **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 175-184, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cerne/v23n2/2317-6342-cerne-23-02-00175>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- CHANG, Yu *et al.* Controles ambientais sobre as características de número médio de incêndios florestais e área média de floresta queimada (1987–2007) na China. **Forest Ecology and Management**, v. 356, p. 13-21, 2015. Disponível: <https://www.sciencedirect.ez35.periodicos.capes.gov.br/science/article>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.
- GRÜSS, Arnaud *et al.* Producing distribution maps for a spatially explicit ecosystem model using large monitoring and environmental databases and a combination of interpolation and extrapolation. **Frontiers in Marine Science**, v. 5, p. 16, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00016/full>. Acesso em: 18 de julho de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Monitoramento dos Focos Ativos por Países**. INPE, 2021. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_paises/. Acesso em: 10 de maio de 2021.

MACARRINGUE, Lucrêncio Silvestre *et al.* Considerações sobre precipitação, relevo e solos e análise do potencial de expansão agrícola da região Norte de Moçambique. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 29, n. 1, 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/32070>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

MACORREIA, Munossiua Efremo. Educação ambiental na mitigação do fogo florestal com a sua fauna-bravia indiscriminado em Sussundenga - Moçambique. **Ensino em Foco**, Salvador, v. 3, n. 7, p. 72-82, 2020. Disponível em: <http://www.publicacoes.ifba.edu.br/ensinoemfoco/article/view/637>. Acesso em: 10 de julho de 2021.

MENEZES RIBEIRO, Daniela Dantas *et al.* Modelagem da potencialidade hídrica das águas subterrâneas da sub-bacia do rio Siriri, Sergipe, Brasil, com base em Sistema de Informações Geográficas e técnicas de Sensoriamento Remoto. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 6, n. 2, p. 206-231, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92819767014.pdf>. Acesso em: 13 de janeiro de 2022.

MINISTÉRIO PARA A COORDENAÇÃO E AÇÃO AMBIENTAL (MICOA), República de Moçambique. **Plano de ação para prevenção e controle às queimadas descontroladas 2008 - 2018**. Maputo: MICOA, 2007. 46 p

MIURA, Adalberto K. *et al.* Avaliação de áreas potenciais ao cultivo de biomassa para produção de energia e uma contribuição de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 3, p. 607-620, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/mjHmrDVDkCCgtdByvRsfH5v/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 13 de janeiro de 2022.

MONTFORT, Frédérique *et al.* Regeneration capacities of woody species biodiversity and soil properties in Miombo woodland after slash-and-burn agriculture in Mozambique. **Forest Ecology and Management**, v. 488, p. 119039, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112721001286>. Acesso em: 11 de julho de 2021.

MOREIRA, Pedro Augusto Gonzaga; MENDES, Thiago Augusto; SANTOS, Diego Fonseca dos. Avaliação de locais potenciais para instalação de torres de observação para prevenção de risco de incêndios florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, p. 1266-1282, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/qxwR7KCzMLWXCvSwddSv6xt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 03 de julho de 2021.

NHONGO, Eufrásio João Sozinho *et al.* Probabilistic modelling of wildfire occurrence based on logistic regression, Niassa Reserve, Mozambique. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 10, n. 1, p. 1772-1792, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2019.1615559>. Acesso em: 18 de setembro de 2021.

SANTOS JÚNIOR, Valdevino José dos; PRADO, Rachel Bardy; LIMA, Evaldo de Paiva. Modelagem geoecológica da susceptibilidade aos incêndios no Parque Estadual da Lapa Grande, Minas Gerais, Brasil. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1126202>. Acesso em: 23 de maio de 2021.

SILVA, Amanda Avelina Carvalho *et al.* Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra e a implementação de manejo integrado do fogo. **ForScience**, v. 6, n. 2, 2018. Disponível em: <http://www.forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/404>. Acesso em: 13 de setembro de 2021.

SORIANO, Balbina Maria Araújo; DANIEL, Omar; SANTOS, Sandra Aparecida. Eficiência de índices de risco de incêndios para o Pantanal Sul-mato-grossense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 809-816, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1032912/1/eficienciasoriano.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2021.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira *et al.* Mapeamento da susceptibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 811-817, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n5/v38n5a05.pdf>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira *et al.* Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/loram/a/PTZgzwgsGYRPZf4S4pSCZqn/?lang=pt>. Acesso em: 05 de julho de 2021.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira *et al.* Análise do perfil dos incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro e entorno (MG). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, p. 1008-1021, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/hZX7mm56fRGdcT87rSRhbRt/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 09 de julho de 2021.

UACANE, Mário Silva. Produção de material didático em 3D, uma contribuição para os processos de ensino e aprendizagem em ciências da terra e ambiente em Moçambique. **Revista Ensino de Ciências e Humanidades-Cidadania, Diversidade e Bem Estar-RECH**, v. 2, n. 2, Jul-Dez, p. 8-26, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/rech/article/view/5113>. Acesso em: 29 de julho de 2021.

- UELE, Dionísio Inocêncio; LYRA, Gustavo Bastos; OLIVEIRA, José Francisco de. Variabilidade espacial e intranual das chuvas na região Sul de Moçambique, África austral. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 32, p. 473-484, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/CR7mxnsDYWDNKgmxSSFMT3H/?lang=pt>. Acesso em: 21 de junho de 2021.
- WHITE, Larissa Alves Secundo; WHITE, Benjamin Leonardo Alves; RIBEIRO, Genésio Tâmara. Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v. 36, n. 85, p. 41-49, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.85.850>. Acesso em: 05 de março de 2022.

3. CAPITULO II

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NA REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE, NO PERÍODO ENTRE 2010 a 2020

Resumo – O presente estudo visou analisar a disposição dos focos de incêndios na região sul de Moçambique. Aplicando-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto, utilizou-se a ferramenta de estimativa de densidade de *Kernel* na modelagem espacial. Realizou-se também o teste estatístico *Scott Knott* para determinar os meses e anos com maior número de focos de incêndios. O resultado apontou que, entre 2010 e 2020, observou-se um quantitativo total de 128.889 focos de incêndios, setembro foi o mês com maior número numa análise conjunta das 4 províncias e em Inhambane e Gaza, agosto e setembro em Maputo Província e agosto para Maputo Cidade, 2014 foi o ano com mais ocorrências. No que concerne à distribuição espacial, a Província de Maputo foi a que teve maior densidade das classes alta e muito alta de focos seguido por Inhambane e depois Gaza, a densidade média registrou-se mais em Inhambane seguido por Gaza e depois Maputo Província e Cidade, e por último a densidade baixa que se encontrou mais na província de Gaza depois Inhambane seguido por Maputo. Conclui-se que densidade de Kernel mostrou-se adequado para identificar as áreas com maior número de ocorrências, fornecendo matéria relevante para a realização de ações de prevenção e combate a incêndios.

Palavras - chave: Disposição dos focos; Modelagem temporal; Ocorrências.

SPACE-TEMPORAL ANALYSIS OF FOREST FIRE OUTBREAKS IN SOUTHERN REGION OF MOZAMBIQUE, IN THE PERIOD BETWEEN 2010 AND 2020

Abstract – The present study aimed to analyze the arrangement of fires in the southern region of Mozambique. Applying the Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing, the Kernel density estimation tool was used in the spatial modeling. The Scott Knott statistical test was also carried out to determine the months and years with the highest number of fire outbreaks. The result showed that, between 2010 and 2020, there was a total number of 128,889 fires, September was the month with the highest number in a joint analysis of the 4 provinces and Inhambane and Gaza, August and September in Maputo Province and August for Maputo City, 2014 was the year with the most occurrences. Regarding the spatial distribution, Maputo Province had the highest density of the upper and very high classes of foci followed by Inhambane and then Gaza, the average density was recorded more in Inhambane followed by Gaza and then Maputo Province and City, and finally the low density found more in Gaza province after Inhambane followed by Maputo. It is concluded that Kernel density proved to be adequate to identify the areas with the highest number of occurrences, providing relevant material for carrying out actions to prevent and fight fires.

Keywords: Arrangement of foci; Temporal modeling; Occurrences.

3.1. INTRODUÇÃO

Em todos os lugares do planeta, os incêndios florestais levam a destruição de vastas áreas nos ecossistemas, provocando vários impactos, o que leva a prejuízos de ordem econômica, social e ambiental (FAO, 2015 e BEZERRA *et al.*, 2018).

Em Moçambique, a técnica do uso do fogo ainda é bastante empregue no manejo de pastagem e na limpeza dos terrenos para a agricultura tradicional, por se considerar uma forma rápida e barata de reduzir a biomassa, estimular a rebrota de forragem para a pecuária, diminuir as pragas e remover os remanescentes agrícolas (MITADER, 2018; FUNAB 2016 e BEZERRA *et al.*, 2018). Na região Sul de Moçambique esta técnica é largamente utilizada na agricultura familiar ou de subsistência (MICOA, 2007).

Contudo, na época de estiagem ou de eventos de secas mais severas, a vegetação é mais suscetível e o uso do fogo quando feito de forma inadequada pode se tornar de magnitudes desastrosas, afetando grandes áreas e prejudicando fortemente as características de qualidade do solo, além de eliminar o habitat natural de espécies endêmicas de fauna e flora e até mesmo avançar sobre áreas rurais e urbanas (PEREIRA e DA SILVA, 2016; CAMARGO *et al.*, 2019).

Por outro lado, o avanço do sensoriamento remoto e processamento de imagens nos últimos anos têm beneficiado bastante o monitoramento de florestas naturais, permitindo desta forma um conhecimento amplo sobre os comportamentos temporais e regionais dos incêndios (INPE, 2016; NHONGO *et al.*, 2019; DOS SANTOS JUNIOR, PRADO e LIMA, 2020). Corroborando, Pereira e da Silva (2016) afirmam que as Geotecnologias surgem como um importante recurso de subsídio na identificação do fogo permitindo localizar, quantificar e fazer estudos de análises espaço-temporais das áreas onde ocorrem incêndios e permitem cruzar informações georreferenciadas, além de saber a quantidade e a localização desses focos de incêndios.

O conhecimento das áreas e épocas mais propícias, assim como os fatores que controlam os incêndios, podem auxiliar o poder público no estabelecimento de políticas de prevenção de modo a conscientizar a população, com adoção de medidas de controle nas áreas e períodos com mais ocorrências (TORRES *et al.*, 2014; NHONGO *et al.*, 2019).

Moçambique tem poucos estudos sobre modelagem, dinâmica e mapeamento do fogo, o que dificulta na definição de estratégias de conservação e preservação florestal. O presente estudo traz, pela primeira vez, uma análise espaço-temporal dos focos de incêndios florestais na região sul de Moçambique (MITADER, 2018).

Refira-se que abordagens similares foram levadas a cabo no Brasil, com destaque aos estudos de Pereira e da Silva (2016), Bezerra *et al.* (2018) e Monteiro Alves *et al.* (2019) sobre a detecção de focos de incêndios no Estado da Paraíba, análise dos focos de incêndios e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1988 à 2016 e análise do monitoramento de focos de incêndios e propostas para a redução de incêndios em áreas protegidas no Estado do Pará, respectivamente.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi fazer uma análise espaço-temporal das ocorrências de incêndios florestais na região sul de Moçambique.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Moçambique situa-se na Costa Oriental da África Austral, entre os paralelos $10^{\circ} 27'$ e $26^{\circ} 52'$ de Latitude Sul e os meridianos $30^{\circ} 12'$ e $40^{\circ} 51'$ de Longitude Leste. A Norte faz fronteira com a República da Tanzânia, a Oeste com Malawi, Zâmbia, Zimbabwe, África do Sul e Swazilândia, a Sul com a África do Sul e a Leste é banhado pelo Oceano Índico, conforme mostra a (Figura 1). O país tem uma área de 799.380 km^2 , com regiões principalmente de várzea no leste e algumas regiões montanhosas no oeste do país, atingindo alturas de até 2.436 m . A região sul do país é formada por três províncias Gaza, Inhambane e Maputo, esta última não computa a região da capital Maputo que tem status de província (MONTFORT *et al.*, 2021).

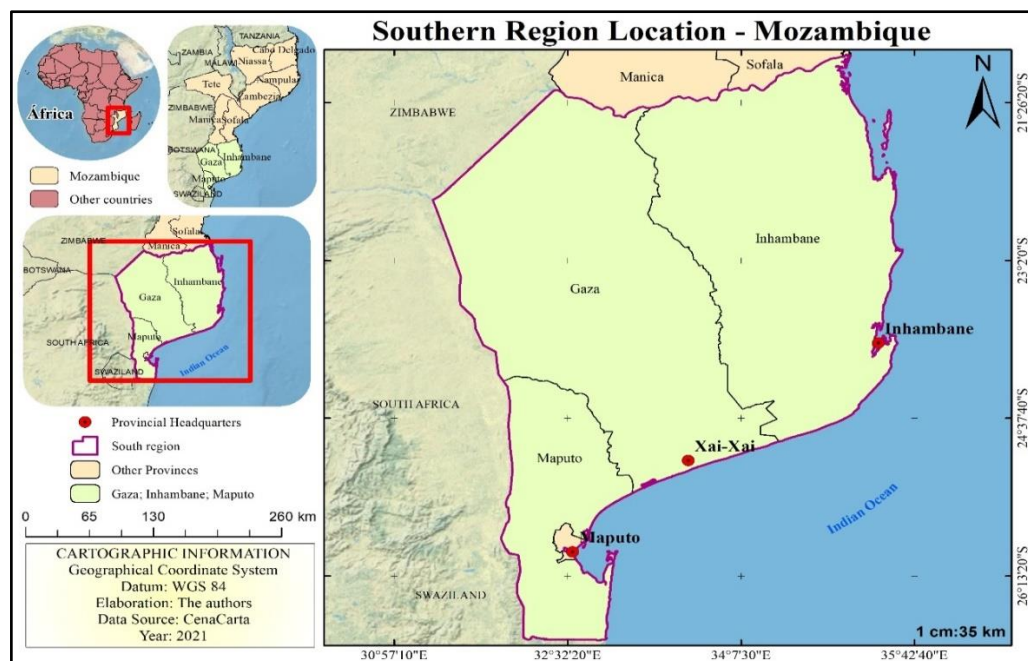


Figure 1: Mapa de localização da região sul de Moçambique.
Location Map of the Southern Region of Mozambique.

Em Moçambique, o clima Tropical é caracterizado por temperaturas do ar elevadas, em média 20 °C, e com amplitude que não ultrapassa os 10 °C. Na região do Planalto Noroeste, as temperaturas do ar médias anuais variam entre 18 e 20 °C, em função das maiores altitudes, enquanto na região central do rio Zambezi, Norte, Litoral Centro e Sul (na bacia do Limpopo), que coincidem em parte com as baixadas litorâneas e terras baixas, observam-se as maiores temperaturas médias anuais (24 - 26 °C) (UELE *et al.*, 2017).

O relevo de Moçambique dispõe-se em forma de anfiteatro onde se distingue uma zona montanhosa a Oeste, que decresce em degraus aplanados até à planície litoral a Leste. Assim, de acordo com a altitude, identificam-se em Moçambique, planícies, planaltos, montanhas e depressões. O relevo da região sul de Moçambique compreende médias e baixas altitudes variando de 0 a 800 metros. Compõem-na maioritariamente grandes extensões planas, drenadas pelas bacias hidrográficas do Limpopo, do Incomáti e de outros rios menores (MACARRINGUE *et al.*, 2017; UACANE, 2018).

Os dados de focos de incêndios florestais foram obtidos por meio do portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que trata do monitoramento de focos de incêndios florestais detectados por satélites. Tais satélites detectam frente de fogo com no mínimo de 30 m de extensão por 1 m de largura e marca uma coordenada para cada frente detectada (INPE, 2021), gerando assim, dados no modelo vectorial expresso essencialmente por pontos (focos de incêndio florestal).

Para a pesquisa usou-se dados dos satélites de referência, cujas informações diárias de focos detectados são usadas para compor a série temporal ao longo dos anos e assim permitir a análise de tendências nos números de focos para mesmas regiões em períodos de interesse (INPE, 2017).

3.2.1. Análise temporal

Para determinar os meses e anos com maior número de focos de incêndios utilizou-se o teste *Skott-Knott* a 5% de probabilidade (NANZER *et al.*, 2019), onde os meses e anos foram agrupados de acordo com as médias de focos.

O método *Scott Knott* é uma técnica de agrupamento, baseada no teste da razão de verossimilhança, visando minimizar a soma de quadrados dentro de cada grupo de médias, e maximizar a soma de quadrados entre grupos. Ou seja, o Teste *Scott Knott*, consiste em uma análise de agrupamento divisivo hierárquico dicotômico para distribuir as médias dos

tratamentos em grupos relativamente homogêneos, para dados balanceados, tendo este teste sido originalmente concebido para dados com distribuição normal (CONRADO *et al.*, 2017).

Primeiramente, deu-se um tratamento aos dados dos focos previamente tabulados, no qual definiu-se os meses como “tratamentos”, o que se pretende comparar. Os anos foram considerados “repetições”, que é o número de vezes que ocorre cada tratamento, neste caso os meses pelos 11 anos, de 2010 a 2020. Em seguida analisou-se a única variável considerada, que são os focos de incêndios florestais pelas 4 províncias, o que permitiu determinar os meses e anos com maior número de focos de incêndios.

3.2.2. Análise espacial

Foi realizada uma análise multitemporal dos focos de incêndios num período de 11 anos, englobando os anos de 2010 a 2020. Estes dados foram submetidos ao estimador de densidade *Kernel*, através do *software* ArcGIS 10.8^R. Após a compilação dos dados vetoriais adquiridos, eles foram sobrepostos à área de estudo, para iniciar o processo de interpretação das informações e geração de dados derivados. Após a sobreposição dos dados dos focos de incêndios e limites territoriais, dados matriciais de densidade de focos acumulados para o período de estudo foram gerados por meio do algoritmo estimador de *densidade de Kernel*.

O estimador de *densidade Kernel do Spatial Analyst tools do software* ArcGIS, é uma técnica que estima a intensidade do padrão espacial de pontos na superfície estudada, de modo que essa ferramenta desenha uma vizinhança circular ao redor de cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência. O objetivo da *análise de Kernel* é obter estimativa suavizada da densidade de focos de incêndios florestais por unidade de área. Essa contagem é ponderada pela distância de cada evento ao ponto de referência dentro de um dado raio, uma propriedade de relevância para a análise da tendência de um processo estocástico espacial (WEBER e WOLLMANN, 2016). Na (Figura 2), de forma ilustrada, apresenta-se o fluxograma de tratamento para identificação dos focos de incêndios na região.

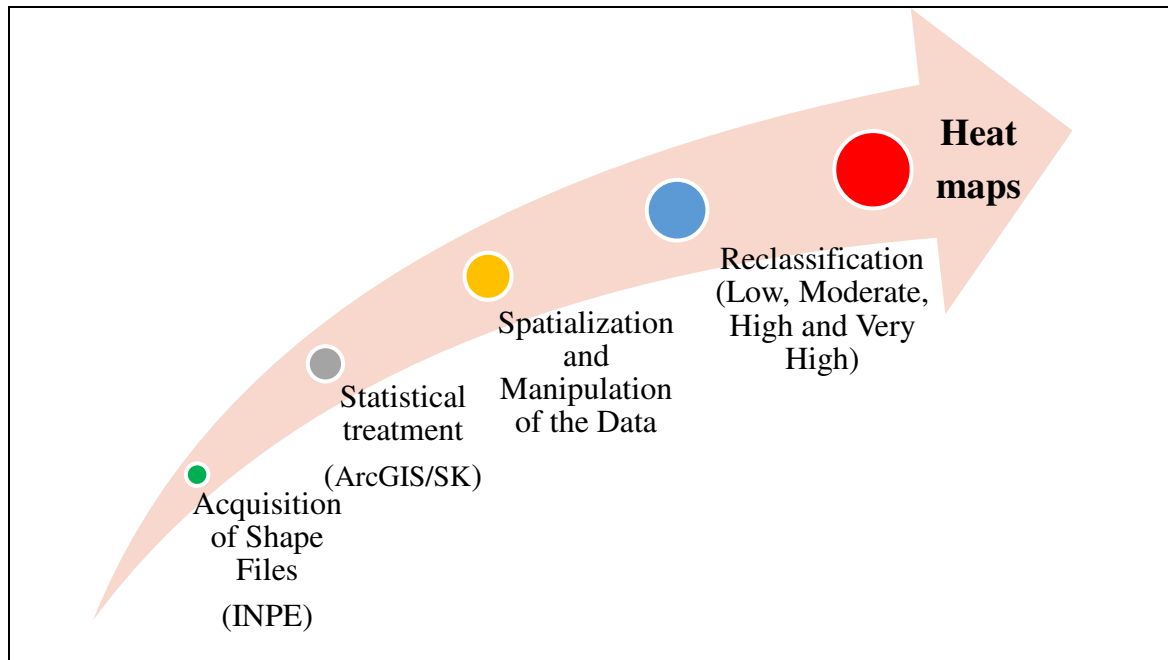


Figura 2: Roteiro metodológico.
Methodological roadmap.

Os dados matriciais de *densidade de Kernel* foram organizados espacialmente em densidades anuais distribuída nas 4 províncias, com vistas na observação do comportamento dos focos de incêndios na região, o mapa de *Kernel* foi reclassificado nas seguintes classes variando a tonalidade das cores: baixo (amarelo), moderado (laranja), alto (vermelho) e muito alto (vermelho escuro). A classificação usada foi baseada no estudo de Barbosa *et al.* (2014) e na descrição metodológica relativa à classificação da densidade de *Kernel*, em que o número de classes não deve exceder sete (MENEZES *et al.*, 2019).

A aplicação desse método é uma alternativa para análise geográfica do comportamento de padrões, sendo utilizado para mapear e estimar a distribuição dos pontos no espaço utilizando a estatística não paramétrica por meio da função de Núcleo. Os parâmetros utilizados por este método é a largura da banda ou do raio de influência que define as amostras que serão utilizadas para estimar o valor em um ponto não amostrado (BARBOSA *et al.*, 2014).

3.3. RESULTADOS

As análises realizadas apontam para ocorrência de 128.889 focos de incêndios na região sul de Moçambique.

Em análise conjunta, nas 4 províncias o mês de setembro foi o que registou mais ocorrências seguido pelos meses de agosto e outubro, e depois os restantes (Figura 3).

De forma individual, na província de Inhambane, o mês de setembro registou mais ocorrências, seguido pelo mês de outubro, depois agosto e novembro e por fim os demais. Na província de Gaza, primeiro foi o mês de setembro, seguindo por agosto e outubro e depois os outros meses. Em Maputo Província, agosto e setembro foram os meses com mais ocorrência, sucedidos por junho e julho e com menos ocorrência os restantes. Por último, Maputo cidade, onde agosto teve mais focos, depois junho, julho e setembro, conforme a Figura 3 ilustra.

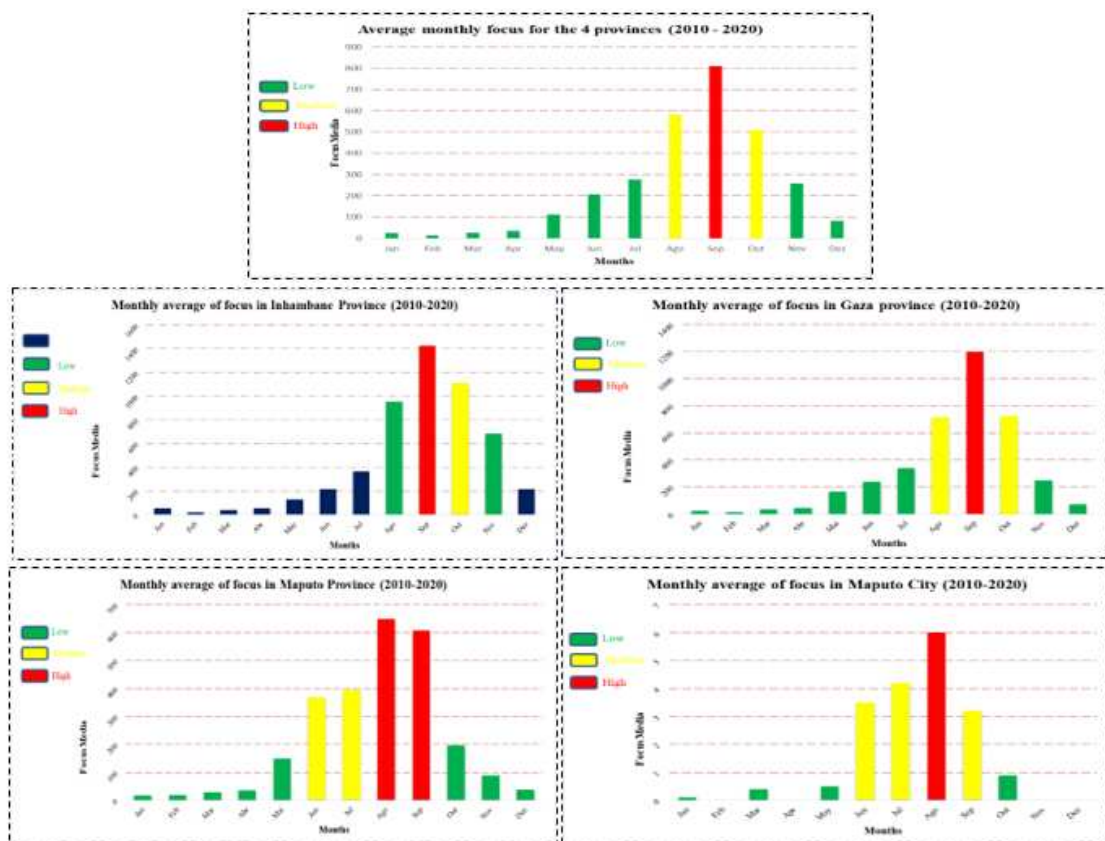


Figure 3: Distribuição de focos de incêndios florestas na região sul de Moçambique por meses do ano.

Distribution of forest fires in southern Mozambique by months of the year.

Quanto a relação das ocorrências com a precipitação, verificou-se um padrão: o número de ocorrências variou conforme o aumento ou não da precipitação, sendo que houve uma tendência de redução de ocorrências nos anos onde houve aumento de precipitação e vice versa (Figura 4).

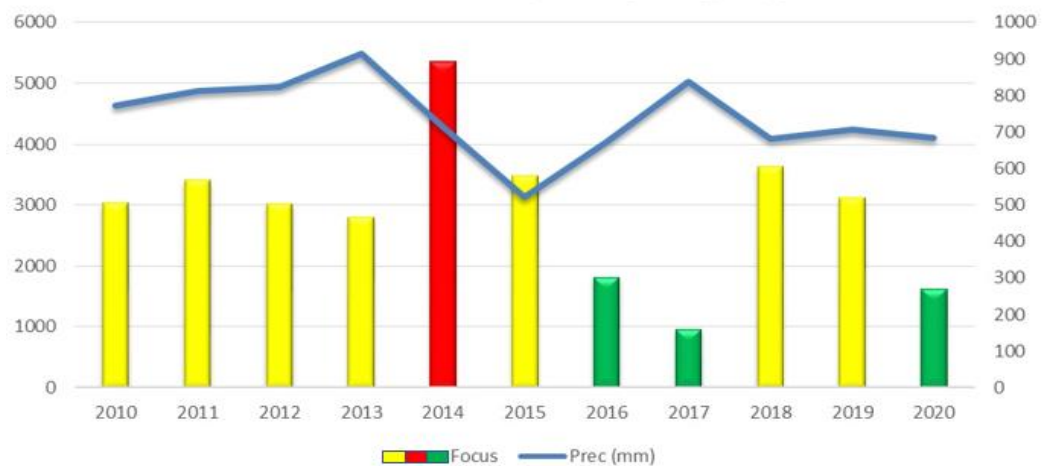


Figura 4: Distribuição dos focos de incêndios e precipitação.
Distribution of fire outbreaks and precipitation.

Na relação existente no mapa de densidade de *Kernel* (Figura 5), produto da interpolação dos focos de incêndios conforme os anos de estudos, aferiu-se a sua densidade por meio de quatro (4) classes estimadas, nomeadamente: baixa, moderada, alta e muito alta. De modo geral, a maior densidade de focos se concentra no extremo sul, noroeste e nordeste da região.

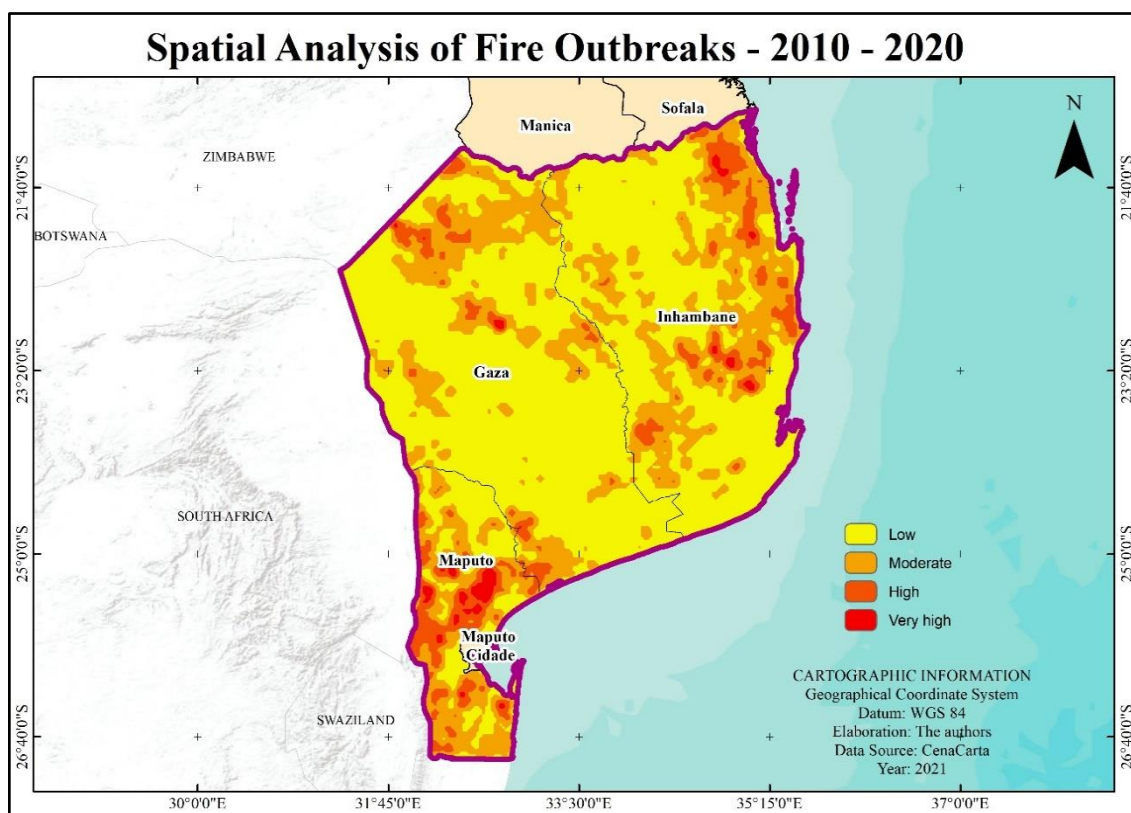


Figure 5: Distribuição espacial dos focos de incêndios (2010 a 2020).
Spatial distribution of fire outbreaks (2010 to 2020).

3.4. DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa apontam para uma distribuição espaço-temporal irregular dos focos de incêndios florestais na região sul de Moçambique, causada por vários fatores com destaque para o regime de chuvas aliado à ação antrópica, onde Soriano, Daniel e Santos (2015) referem que a distribuição dos focos de incêndios é condicionada pela forma como os fatores atuam em diferentes lugares aliado às micro características. Esta distribuição está relacionada com o clima e com as práticas de atividades agrícolas impróprias, caça, necessidade de combustível lenhoso, questões socioculturais entre outros (CAMARGO *et al.*, 2019; PÍNOLA *et al.*, 2020). Portanto, a intervenção do homem, é fator importante para intensificação das ocorrências de incêndios (MONTFORT *et al.*, 2021).

O regime da precipitação é apontado como um dos fatores que condiciona a distribuição temporal dos focos na região sul de Moçambique. Apontamento similar aos estudos realizados no Maranhão, Brasil, pautando que o padrão de ocorrências dos focos de incêndios no Maranhão é modulado pela ocorrência ou não da precipitação (EMBRAPA, 2013). Igualmente, os níveis de secas ou estiagem no Maranhão determinam a concentração de focos de incêndios e modulam as ocorrências do fogo, devido ao aumento da inflamabilidade da vegetação, como consequência do déficit hídrico decorrente do período de poucas chuvas (BEZERRA *et al.*, 2018).

Silva *et al.* (2017), também avaliaram a ocorrência de focos de incêndios no Maranhão no intervalo de 2010 a 2016 e observaram um expressivo evento de seca em toda a região do nordeste brasileiro, que a ele aliou-se um período de várias ocorrências.

Em estudos recentes, Aragão *et al.* (2018) avaliaram os impactos da seca na Amazônia brasileira, no período 2003-2015, tendo constatado que apesar de ter se observado um declínio na ordem 76% nas taxas de desmatamento nos últimos 13 anos, a incidência de incêndios aumentou em 36% durante a seca de 2015 em comparação com os 12 anos anteriores com menor seca.

Por outro lado, no estado do Pará em 2005 e 2010, nas regiões em que houve grandes índices pluviométricos houve menores números de focos de incêndios, quando comparados a municípios que apresentam menores precipitações (GONÇALVES *et al.*, 2016).

No Noroeste da Península Ibérica e no Sudoeste da Grécia resultou também que as condições meteorológicas excepcionais, com temperaturas elevadas favoreceram a seca e consequente ocorrência de incêndios, como foi o caso de Portugal, em 2003 e da Grécia em 2007 (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

É, portanto, notório que, os resultados evidenciam o forte papel desempenhado pelo clima, que afeta diretamente a distribuição temporal de focos (GONÇALVES *et al.*, 2016). Corroborado por Bezerra *et al.* (2018) e Aragão *et al.* (2018) ao afirmar que o padrão de ocorrência de incêndios em diversas partes do Brasil é também modulado pela variação dos elementos climáticas durante o ano.

A distribuição espacial de ocorrência na região sul pode estar relacionada às características topográficas, uma vez que alteram as condições climáticas e influência no tipo de combustível de uma região, interferindo também no comportamento do fogo, podendo-se dizer desta forma, que a topografia influi decisivamente no comportamento do fogo, pela influência física sobre a inclinação das chamas, elevando consideravelmente a fase de pré-aquecimento da reação da combustão, proporcionando uma maior ocorrência de incêndios nos lugares com tais características (BRANDÃO e MIRANDA, 2012; MONTFORT *et al.*, 2021).

Os extremos sudoeste e noroeste da região, caracteriza-se por apresentar uma topografia declivosa (UELE, LYRA, e OLIVEIRA JÚNIOR, 2017) e segundo Torres *et al.* (2017) quanto maior a inclinação do terreno, maior a susceptibilidade de ocorrências. Mas também a espacialização de mais ocorrências em certos lugares pode estar relacionada à quantidade de energia que o lugar recebe, onde áreas com maior ganho energético solar, como as vertentes voltadas para o norte, apresentam maior número de ocorrências (TORRES *et al.*, 2017; DOS SANTOS JÚNIOR, PRADO e LIMA, 2020).

Contudo, as atividades humanas têm influências dramáticas sobre as características dos incêndios, também alterando frequência, área queimada e padrão de distribuição das ocorrências como observado no capítulo anterior, onde as áreas de maior susceptibilidade não são necessariamente às com maior número de ocorrências.

A densidade de focos de incêndios na região sul de Moçambique tende a aumentar anualmente, condicionada principalmente pela ação antrópica, na ordem dos 90%, provocando incêndios no exercício de suas atividades (MICOA, 2007). O mesmo ocorre em outras partes do mundo, conforme Silva *et al.* (2018); Santos, Silva e Guimaraes (2020) relatam que nos países da América Central, Caribe e o nordeste do Pará, Brasil, vem passando por uma intensa transformação territorial, atrelada ao avanço da agricultura nessa parte da Amazônia e por consequência surgimento de mais focos de incêndios.

Segundo Cardil, Delogu e Molina-Terrén (2017) na Sardenha, Itália e muitos outros países da Europa, nos últimos anos os incêndios florestais, para além de fatores climáticos, ligados as mudanças climáticas, têm estado na sua maioria relacionado às causas humanas, ora

pelo abandono de terras rurais fornecendo alto combustível, aumentando a probabilidade de desenvolver um incêndio ou pelo uso acidental do fogo em suas atividades nas terras selvagens.

Os resultados do estudo realizado na Reserva Extrativista Chico Mendes (RECM), localizada no estado do Acre, no sudoeste da Amazônia apontou a alteração antrópica da paisagem, que comporta mudanças no uso da terra, na densidade populacional, na carga de combustível, na conectividade do coberto vegetal, como aspecto que se reflete na distribuição espacial dos incêndios (DE SOUSA MASCARENHAS, BROWN e DA SILVA, 2018).

A diferença dos resultados deste estudo com os realizados em outros lugares encontra-se na sequência da determinação dos fatores que controlam as ocorrências. Na região sul de Moçambique, o fator antrópico é o principal no controle da distribuição espacial dos incêndios, seguido por fatores físicos (MICOA, 2007), mas em vários lugares os fatores físicos (climáticos, topográficos e orientação das vertentes) assumem maior relevância (GONÇALVES *et al.*, 2016).

Outro exemplo da diferença dos resultados deste estudo com de outros lugares podem se encontrar no estudo Silva *et al.* (2018) pontuando que as regiões do Canadá e Federação Russa, são os únicos países no mundo onde o raio é a principal causa de incêndios florestais. O Canadá tem 85% dos seus incêndios ocasionados por relâmpagos.

De acordo com White, White e Ribeiro (2016) não necessariamente o aumento dos incêndios está relacionado às causas climáticas, conforme descrito, 99% de incêndios são provocados, todavia, as principais causas podem ser econômicas e culturais. Por exemplo, na região do Marajó (Brasil) em 2015, foi observado um comportamento distinto, que mesmo a média anual de precipitação, sendo relativamente alta, notou-se o crescimento de número de focos de incêndios, evidenciando-se que outros fatores como o humano podem assumir a dianteira na distribuição dos focos (GONÇALVES *et al.*, 2016; SANTOS, SILVA e GUIMARAES, 2020).

A espacialização dos focos de incêndios é importante para localizar as áreas onde houveram recorrência de focos. Sendo assim, esses resultados permitem pontuar os eventos, observar a dinâmica das ocorrências e possibilitam comparações temporais e elaboração de estratégias emergenciais e mitigatórias por parte do governo (BOTELHO ET AL, 2020).

3.5. CONCLUSÕES

Os resultados conduziram as seguintes ilações:

Foram registrados um total de 128.889 focos de incêndios, distribuídos na região sul de Moçambique

Nas 4 províncias analisadas juntas, o mês de setembro foi o que registou mais ocorrências seguido pelos meses de agosto e outubro, e depois os restantes. Individualmente, em Inhambane, setembro teve mais ocorrências depois outubro, agosto, novembro e por fim os demais. Em Gaza, foi setembro, agosto, outubro e outros. Em Maputo Província, foi agosto e setembro, depois junho e julho e os restantes. Por último, Maputo cidade, onde agosto teve mais focos, junho, julho e setembro,

O regime pluviométrico que determina o período de estiagem, aliado as atividades humanas são principais causas da distribuição temporal de focos na região.

De modo geral, os resultados obtidos indicaram a eficiência do estimador de Densidade de Kernel na identificação das maiores incidências de focos de incêndios durante os anos analisados. A ferramenta demonstrou eficácia para o reconhecimento de pontos críticos de ocorrências de focos de incêndios, podendo fornecer subsídios para a realização do monitoramento, fiscalização e conscientização ambiental, por via de campanha e ciclos de formação cívica as comunidades.

3.6. REFERÊNCIAS

ALVES, Raynon Joel Monteiro *et al.* Análise do monitoramento de focos de calor e propostas para a redução de queimadas e incêndios em áreas protegidas no estado do Pará. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, junio, 2019. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/cccss/2019/06/propostas-reducao-queimadas.html>. Acesso em: 02 de julho de 2021.

ARAGÃO, Luiz EOC *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-017-02771-y>. Acesso em 24 de setembro de 2021.

BARBOSA, Nyedja FM *et al.* Kernel smoothing dos dados de chuva no Nordeste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 742-747, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/ryp8rQXmFsKKcRFXdjpYJCJF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 04 de setembro de 2021.

BEZERRA, Denilson da Silva Bezerra *et al.* Análise dos focos de queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1988 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/57337>. Acesso em 20 de janeiro de 2021.

BOTELHO, Matheus Gabriel Lopes *et al.* Avaliação temporal e espacial de focos de calor em Paragominas, PA, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e589974501-e589974501, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4501>. Acesso em 20 de agosto de 2021.

BRANDÃO, Cássia Barreto; MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiros. Relações entre elementos climáticos e geográficos nas ocorrências de incêndio florestal no Parque Estadual da Pedra Branca-RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 10, n. 1, 2012. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/30597>. Acesso em 12 de agosto de 2021.

CAMARGO, Leandro de Souza *et al.* Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Incêndios Florestais do Município de Petrópolis–RJ. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 630-641, 2019. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13164>. Acesso em 15 de junho de 2021.

CARDIL, Adrián; DELOGU, Giuseppe Mariano; MOLINA-TERRÉN, Domingo Miguel. Fatalidades em incêndios florestais de 1945 a 2015 na Sardenha (Itália). **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 175-184, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cerne/v23n2/2317-6342-cerne-23-02-00175>. Acesso em 20 de agosto de 2021.

CONRADO, Thiago Vincenzi *et al.* Adjusting the Scott-Knott cluster analyses for unbalanced designs. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 1-9, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cbab/a/S3GkvptXbFYl8kdzVKVdtzH/?lang=en&format=html&stop=previous>. Acesso em 18 de março de 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Relatório do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do estado do Maranhão**. Campinas: Embrapa, 2013. 325 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Mudando o cultivo, o meio de subsistência e a segurança alimentar** - novos e velhos desafios para os povos indígenas na Ásia. Bangkok. 2015.

FUNDO DO AMBIENTE (FUNAB). **Estudo das causas de desmatamento e da degradação florestal nos distritos abrangidos pelo programa de gestão integrada de paisagens de Cabo Delgado (PROGIP-CD)**. Maputo, 2016.

GONÇALVES, Edkeyse Dias *et al.* Interferência do regime pluviométrico na incidência de focos de calor no sudeste paraense considerando o fenômeno El Niño oscilação sul. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal-PB, v. 10, n. 1, p. 35-42, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Lilian-Sousa/publication>. Acesso em: 22 de maio de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Monitoramento dos Focos Ativos por Países**. INPE, 2021. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_paises/. Acesso em: 10 de maio de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite – Projeto PRODES**. 2017. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em 08 de abril de 2021.

MACARRINGUE, Lucrêncio Silvestre *et al.* Considerações sobre precipitação, relevo e solos e análise do potencial de expansão agrícola da região Norte de Moçambique. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 29, n. 1, 2017. <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/32070>. Acesso em 20 de maio de 2021.

MASCARENHAS, Flávio de Sousa; BROWN, Irving Foster; DA SILVA, Sonaira Souza. Desmatamento e incêndios florestais transformando a realidade da Reserva Extrativista Chico Mendes. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 48, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/58826>. Acesso em 10 de agosto de 2021.

MENEZES, Eduarda Soares *et al.* Análise temporal de focos de calor na reserva da biosfera da Serra do Espinhaço. **Nativa**, v. 7, n. 3, p. 256-261, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6877>. Acesso em 18 de setembro de 2021.

MINISTÉRIO PARA A COORDENAÇÃO E AÇÃO AMBIENTAL (MICOA), República de Moçambique. **Plano de ação para prevenção e controle às queimadas descontroladas 2008 - 2018**. Maputo: MICOA, 2007. 46 p

MINISTÉRIO DA TERRA, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO RURAL (MITADER). **Nível de emissão de referência florestal de Moçambique para redução de emissões por desmatamento em florestas naturais**. MITADER: Maputo. 2018.

MONTFORT, Frederique *et al.* From land productivity trends to land degradation assessment in Mozambique: effects of climate, human activities and stakeholder definitions. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 1, p. 49-65, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.3704>. Acesso em: 11 de julho de 2021.

NANZER, Marina Chiquito *et al.* Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages-SC, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/10832>. Acesso em 17 de abril de 2021.

OLIVEIRA, Sandra *et al.* A ocorrência de incêndios florestais nos países do Sul da Europa. Distribuição espacial, fatores estruturais e influência dos grandes incêndios. **Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos**, p. 99, 2013. Disponível em: https://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/pub/livros_resumos/viiegfa/Artigo_08_Sandra_Oliveira.pdf. Disponível em: 22 de fevereiro de 2022.

NHONGO, Eufrásio João Sozinho *et al.* Probabilistic modelling of wildfire occurrence based on logistic regression, Niassa Reserve, Mozambique. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 10, n. 1, p. 1772-1792, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2019.1615559>. Acesso em: 18 de setembro de 2021.

PEREIRA, José Antônio Vilar; SILVA, Janaína Barbosa da. Detecção de Focos de Calor no Estado da Paraíba: um estudo sobre as queimadas. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 10, n. 1, p. 5-16, 2016. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/3173>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

SANTOS JÚNIOR, Valdevino José dos; PRADO, Rachel Bardy. LIMA, Evaldo de Paiva. Modelagem geoecológica da suscetibilidade aos incêndios no Parque Estadual da Lapa Grande, Minas Gerais, Brasil. **Nucleus**, Ituverava, v. 17, n. 2, p. 101-121, out. 2020. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126202>. Acesso em 23 de maio de 2021.

SANTOS, Karla de Souza; SILVA, Dayane Dantas da; GUIMARAES, Ricardo Jose de Paula Souza. Análise multitemporal de focos de queimadas e variáveis climáticas, no Estado do Pará. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v. 14, n. 1, p. 118-133, 2020. Disponível em: <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistageograficaacademica/2020/vol14>. Acesso em: 28 de agosto de 2021.

SILVA, Elaine Cristina Gomes *et al.* Análise temporal da ocorrência de incêndios florestais nas Américas e região do Caribe. **Nativa**, v. 6, n. 5, p. 491-496, 2018. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/5845>. Acesso em: 21 de fevereiro 2022.

SILVA, Messias Nicodemus da *et al.* A seca no Maranhão no período de 2010 a 2016 e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**, Brasília-DF, v. 22, n. 44, p. 119-138, 2017. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/848/776. Acesso em: 26 de agosto de 2021.

SORIANO, Balbina Maria Araújo; DANIEL, Omar; SANTOS, Sandra Aparecida. Eficiência de índices de risco de incêndios para o Pantanal Sul-mato-grossense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 809-816, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1032912/1/eficienciasoriano.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2021.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira *et al.* Mapeamento da suscetibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, p. 811-817, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/y9BPFJMyHzTF56t4rxftsnz/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 28 de julho de 2021.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira *et al.* Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/loram/a/PTZgzwgsGYRPZf4S4pSCZqn/?lang=pt>. Acesso em: 05 de julho de 2021.

UACANE, Mário Silva. Produção de material didático em 3D, uma contribuição para os processos de ensino e aprendizagem em ciências da terra e ambiente em Moçambique. **Revista Ensino de Ciências e Humanidades-Cidadania, Diversidade e Bem Estar-RECH**, v. 2, n. 2, Jul-Dez, p. 8-26, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/rech/article/view/5113>. Acesso em: 29 de julho de 2021.

UELE, Dionísio Inocêncio; LYRA, Gustavo Bastos; OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de. Variabilidade espacial e intranual das chuvas na Região Sul de África Austral. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 473-484, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863230013>. Acesso em: 21 de junho de 2021.

WEBER, André Ademir; WOLLMANN, Cássio Arthur. Mapeamento dos incêndios residências na área urbana de Santa Maria, RS, Brasil utilizando o estimador de densidade Kernel. **Investigaciones Geográficas**, n. 51, p. ág. 49-60, 2016. Disponível em: <https://semanariorepublicano.uchile.cl/index.php/IG/article/view/41748>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

WHITE, Larissa Alves Secundo; WHITE, Benjamin Leonardo Alves; RIBEIRO, Genésio Tâmara. Modelagem espacial de risco de incêndio florestal para o município de Inhambupe, Bahia, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v. 36, n. 85, p. 41-49, 2016. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/850>. Acesso em 05 de março de 2022.

4. CAPITULO III

ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE DA VEGETAÇÃO À INCÊNDIOS FLORESTAIS NO DISTRITO DE XAI-XAI, PROVÍNCIA DE GAZA – MOÇAMBIQUE DE 2010 A 2020

Resumo – O presente estudo visou analisar a susceptibilidade da vegetação aos incêndios florestais no Distrito de Xai-Xai, Província de Gaza. Foi realizado a partir da obtenção e processamento de dados orbitais provenientes do sensor MODIS para apurar a suscetibilidade da vegetação aos incêndios pela relação entre a condição da vegetação e o nível de ocorrências de 2010 a 2020. Os procedimentos aplicados permitiram gerar mapas de VCI (índice de condição da vegetação) e distribuição de focos de incêndios, que apontaram para uma maior ocorrência de incêndios na época seca. Concluiu-se que embora a condição da vegetação a tornem susceptível ou não aos incêndios, a precipitação por sua vez, determina o VCI da região.

Palavras-Chave: Precipitação; Condição da vegetação; Focos de incêndios.

ANALYSIS OF VEGETATION SUSCEPTIBILITY TO FOREST FIRE IN THE XAI-XAI DISTRICT, GAZA PROVINCE – MOZAMBIQUE FROM 2010 TO 2020

Abstract – The present study aimed to analyze the susceptibility of vegetation to forest fires in Xai-Xai District, Gaza Province. It was carried out from the acquisition and processing of orbital data from the MODIS sensor to determine the susceptibility of vegetation to fires by the relationship between the condition of the vegetation and the level of incidents from 2010 to 2020. The applied procedures allowed to generate maps of VCI and distribution of fire outbreaks, which pointed to a greater occurrence of fires in the dry season. It was concluded that although the condition of the vegetation makes it susceptible or not to fires, precipitation in turn determines the VCI of the region.

Key words: Precipitation; Vegetation condition; fire outbreaks.

4.1. INTRODUÇÃO

No geral as paisagens naturais, sobretudo as florestas, tem um papel bastante preponderante no ciclo biológico e atmosférico que são o garantes da vida na Terra e, portanto, estão entre os ambientes naturais mais impactados, ora por razões naturais assim como por causas antrópicas, sendo que o principal dos problemas que afeta este tipo de ecossistema são os incêndios florestais (BACANI, 2016). Os incêndios são generalizados em Moçambique e são relatados como impactando 30 milhões de hectares de floresta e outras terras (38% do território) a cada ano (MONTFORT *et al.*, 2021).

O Distrito de Xai - Xai, é frequentemente atingido por incêndios florestais, provocando um forte desequilíbrio nos ecossistemas com destaque para a perda da diversidade florística e faunística, alteração da qualidade de ar, atingindo maiores proporções na época seca (MICOA, 2007).

A Província de Gaza é severamente assolada por dois grandes extremos, secas e cheias, consoante o período do ano e por possuir significativa área florestal, é também o principal ponto de produção do carvão vegetal que alimenta as demais partes da região sul de Moçambique (MABUNDA *et al.*, 2021). A atividade de produção de carvão leva escassez de recursos florestais e por vezes provoca incêndios (MICOA, 2007).

O uso do sensoriamento remoto e as técnicas de geoprocessamento para obtenção de dados é uma prática essencial para o monitoramento da superfície da terra e suas dinâmicas (DA SILVA *et al.*, 2018). Desta forma, as alterações temporais do estado da vegetação podem ser detectadas a partir dos índices de vegetação que combinam as bandas do vermelho e infravermelho próximos do espectro eletromagnético (GAIDA, 2016).

De acordo com da Silva *et al.* (2018), utilização de um sistema de monitoramento por meio de sensoriamento remoto é importante, pois as informações disponíveis são detalhadas e atualizadas tornando-se uma fonte de dados primordial para trabalhos de prevenção, pois, analisando a susceptibilidade da cobertura vegetal à ocorrência de incêndios, pode-se em alguns casos prever sua sucessão, estimar e planejar medidas preventivas.

A análise da susceptibilidade da vegetação a incêndios florestais no Distrito de Xai-Xai, deriva da geração do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e do índice de condição da vegetação (VCI). Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi fazer uma comparação do período de ocorrência de focos conforme o estado da vegetação no Distrito de Xai – Xai entre 2010 a 2020.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O Distrito de Xai-Xai localiza-se na parte sul de Moçambique, dentro da Província de Gaza, com uma área de aproximadamente 1.865 km², e apresentando como limites fronteiriços, os seguintes:

- A Norte – Distrito de Chokwé, Chibuto e Mandlakaze;
- A Sul – Oceano Índico;
- O Leste – Mandlakaze;
- A Oeste – Bilene.

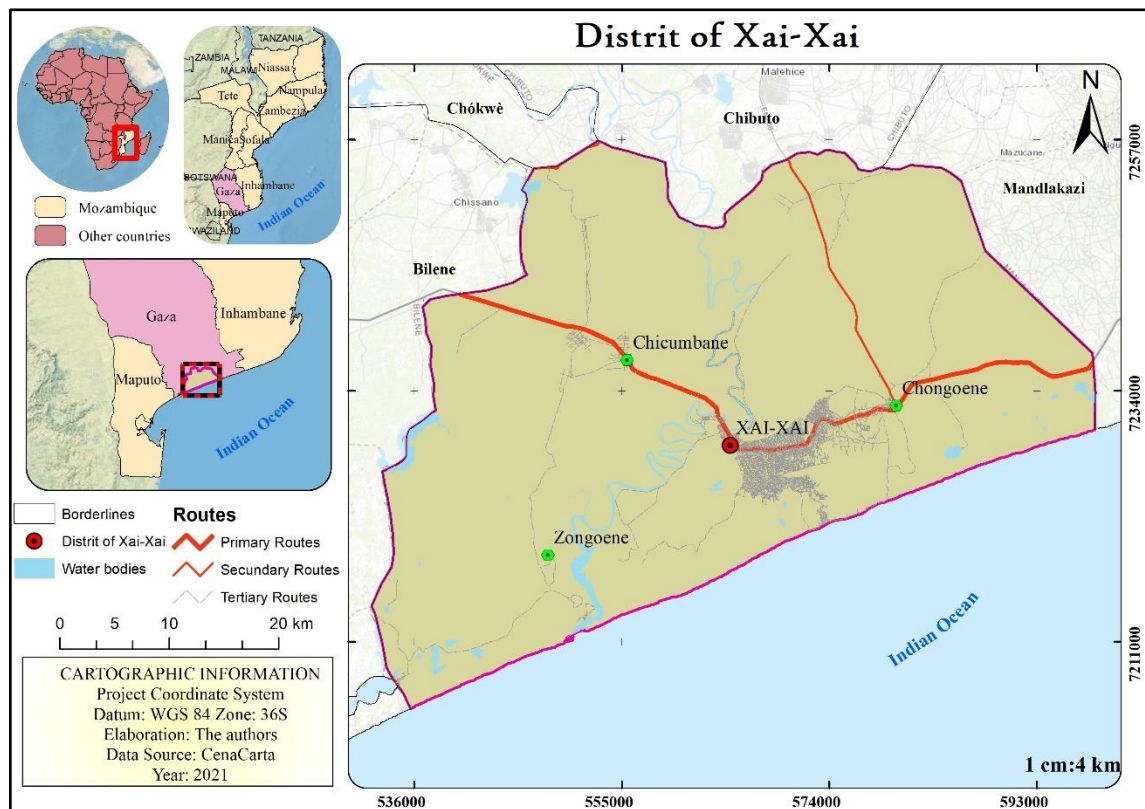


Figure 1: Mapa de localização do distrito de Xai-Xai.
Location map of Xai-Xai district.

A precipitação média mensal apresenta uma variação sazonal relevante destacando-se: um período húmido, entre novembro e abril, onde ocorre um valor de precipitação equivalente a cerca de 70 % do valor total anual da precipitação e o mês de Janeiro o mês mais chuvoso com precipitação média mensal de cerca de 130 mm; um período seco entre maio e outubro com médias mensais de precipitação menores de 50 mm, sendo os meses mais secos os meses de julho e agosto com precipitações médias mensais de cerca de 13 mm (GOVERNO DISTRITAL, 2012).

A temperatura média anual é de 22,9 °C, ocorrendo uma amplitude térmica anual relativamente baixa, de cerca de 3,45 °C. Fevereiro é o mês mais quente (26,0 °C) e julho o mais frio (19,1°C) (GOVERNO DISTRITAL, 2012).

No que respeita a cheias, o risco do distrito é muito alto a este tipo de fenómeno (MICOA, 2007). Por outro lado, este distrito apresenta também um risco muito alto à ocorrência de secas (MICOA, 2007), aspecto que chama atenção, pois geralmente associa-se a ocorrência de incêndios.

O Distrito de Xai-Xai situa-se na zona das grandes planícies costeiras do país, com a altitude a aumentar suavemente da costa para o interior do distrito, interrompido pelo vale do Rio Limpopo e seus afluentes. O distrito tem altitudes máximas inferiores a 200 m, mas só 2,4 % da área do distrito tem altitudes superiores a 100 m.

De acordo com o Governo do Distrito de Xai-Xai (2012), o distrito tem algumas florestas naturais que são aproveitadas pela população na extração de alguns recursos que apoiam a sua vida quotidiana.

Para o cálculo do Índice de Cobertura Vegetal foi necessário o mapeamento de toda cobertura vegetal da área e a partir desse dado (em metros quadrados) chegou-se à percentagem de cobertura vegetal existente. Para o presente trabalho fez-se o cálculo do Índice de Cobertura Vegetal – ICV (%), que é a proporção de área de vegetação (Copa das Árvores/arbustos - m²) em função da área total de uma cidade (SANTOS, 2019).

Para analisar a influência da vegetação nas ocorrências de incêndios florestais na área de estudo se utilizou dados do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que está a bordo satélite *EOS Aqua*. O sensor reconhece diversos tipos de informação e oferece dados praticamente diários em uma escala global, que permitem o monitoramento da dinâmica global, incluindo os índices de vegetação. Sendo que, com o intuito de apresentar os dados com um intervalo significativo, definiu-se o espaço temporal de 2010 a 2020 para serem analisados.

Os dados do sensor MODIS para Xai-Xai foram fornecidos pela EMBRAPA (2021), que detém uma base georreferenciada e para a leitura e reprojeção desses dados foi utilizado o aplicativo *Modis Reprojection Tool* (MRT). Assim, é possível modificar o formato computacional original dos arquivos para *Tagged Image File Format* (TIFF), que é um formato mais usual e que permite a posterior modificação da projeção para LAT/LON com *Datum* WGS84, uma vez que para o tamanho da área de estudo é a mais indicada (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Os produtos MODIS são em estrutura de grade, com tamanho e área fixa. O recorte que representa cada cena de uma imagem denomina-se *tile*, e cada *tile* possui uma referência vertical e horizontal. Os *tiles* gerados pelo produto MOD13A3 (dados de saída do sensor MODIS que fornecem estimativas mensais globais dos índices de vegetação) são disponibilizados em *Hierarchical Data Format* (HDF) para agrupamento de resultados mensais. Foram utilizados quatro *tiles* das imagens MODIS (h14v11, h14v10, h13v11 e h13v10), que foram convertidas em um único arquivo META e inseridos no programa *Grid Analysis and Display System* (GrADS) para avaliação do NDVI, que posteriormente foram processados por meio de um *script* para a confecção de mapas com os dados do *Vegetation Condition Index* (VCI).

O NDVI – *Normalized Density Vegetation Index* - é o índice que permite a análise e separação de tipos e densidade de cobertura vegetal (BARBOSA, CARVALHO e CAMACHO, 2017).

O índice é obtido a partir dos comprimentos de onda em que a vegetação tem alta refletância, o infravermelho próximo (NIR) e a banda do visível de baixa refletância, vermelho (RED) (HE *et al.*, 2010). O cálculo do índice NDVI, é dado pela diferença normalizada da vegetação, foi realizado conforme apresentado pela Equação 1:

$$NDVI = \frac{(Banda\ 5 - Banda\ 4)}{(Banda\ 5 + Banda\ 4)} \quad \text{Equação 1}$$

Os valores do resultado variam entre -1 e 1, sendo que o índice próximo a zero corresponde a áreas com menor vigor vegetativo, e áreas que absorvem toda a radiação (água) podem apresentar valores negativos (MENESES e ALMEIDA, 2012).

A partir dos dados de NDVI foi aplicado o índice VCI, que foi o índice utilizado para analisar a condição de suscetibilidade da vegetação aos incêndios. O índice é calculado por meio da aplicação da Equação 2:

$$VCI = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Os resultados do VCI são apresentados em valores que variam de 0 a 100, expressos percentualmente. Conforme Coleve (2011), mediante o resultado desse índice pode-se considerar as classes: 0 a 20% extremamente seco; 20 a 40% seco; 40 a 60% condição normal;

60 a 80% condição boa; e de 80 a 100% condição ótima. Portanto, os valores médios, mensais e anuais de VCI foram gerados a partir dos valores máximo e mínimo de NDVI.

Os dados de focos de incêndios florestais foram obtidos por meio do portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que trata do monitoramento de focos detectados por satélites. Tais satélites detectam frente de fogo com no mínimo de 30 m de extensão por 1 m de largura e marca uma coordenada para cada frente detectada (INPE, 2016), gerando assim, dados no modelo vetorial expresso essencialmente por pontos (focos de incêndio florestal).

Para a pesquisa usou-se dado dos satélites de referência do INPE, cujas informações diárias de focos detectados são usadas para compor a série temporal ao longo dos anos e assim permitir a análise de tendências nos números de focos para mesmas regiões em períodos de interesse (INPE, 2021).

4.3. RESULTADOS

Na Figura 2, mostram-se representações de cálculo de VCI para o intervalo dos anos de 2010 a 2020. A variação dos mapeamentos exibe indicações das categorias de extremamente seco até uma condição ótima. Percebe-se que o resultado da variação na resposta espectral de um ano para outro é perceptível.

Percebe-se que a distribuição dos focos foi consoante maior ou menor VCI, observando-se que as classes com VCI mais baixo tiveram mais ocorrências e as classes de VCI mais elevado, concentraram menor número de focos, conforme exposto na Tabela 1.

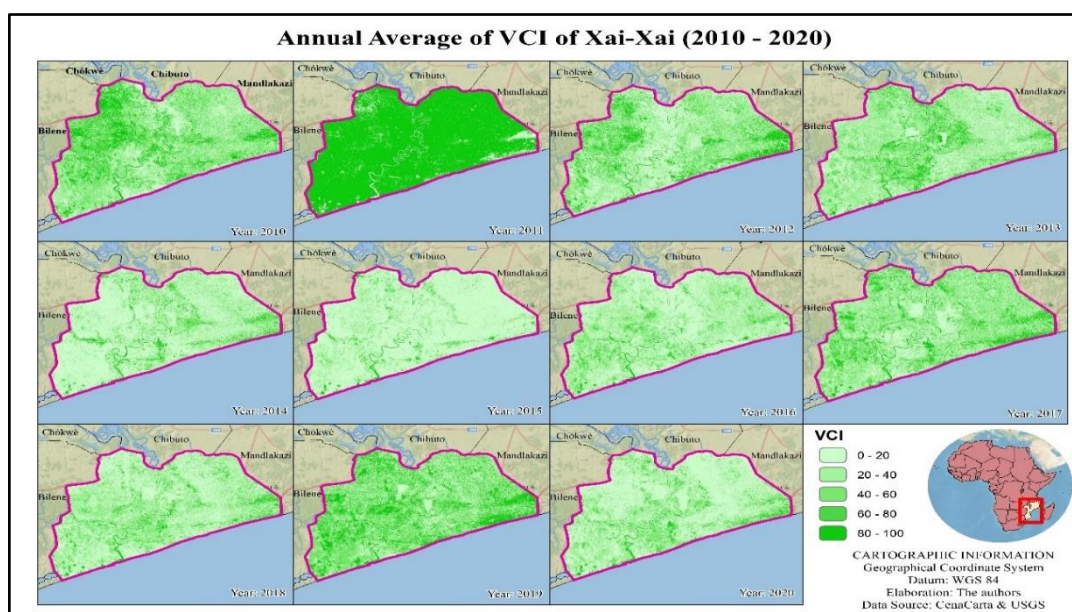


Figure 23: Média anual do VCI do Xai-Xai (2010 – 2020).
Annual average of VCI of Xai-Xai (2010 – 2020).

Tabela 1: Distribuição de focos por classes de VCI de 2010 – 2020.
Distribution of outbreaks by VCI classes from 2010 – 2020.

Anos	Atributos	Classes de VCI					Totais
		0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100	
2010	Focos	42	27	21	17	7	114
	% da área	16,49	29,01	26,79	16,27	11,44	
2011	Focos	51	22	23	19	4	119
	% da área	5,26	1,83	2,56	3,44	86,91	
2012	Focos	78	86	48	39	40	291
	% da área	29,7	31,7	20,2	9,68	8,72	
2013	Focos	45	38	27	19	13	142
	% da área	30,05	35,03	20,99	8,94	4,99	
2014	Focos	123	64	34	20	11	252
	% da área	57,43	24,94	10,23	4,7	2,7	
2015	Focos	97	21	14	20	7	159
	% da área	75,53	16,09	4,61	2,03	1,74	
2016	Focos	47	22	18	8	1	96
	% da área	48,37	32,14	12,56	4,49	2,44	
2017	Focos	41	40	17	5	2	105
	% da área	23,3	35,78	22,26	11,13	7,53	
2018	Focos	57	50	20	24	5	156
	% da área	41,45	35,47	14,84	5,39	2,85	
2019	Focos	68	74	24	12	1	179
	% da área	11,2	27,89	29,46	15,49	15,96	
2020	Focos	73	13	9	5	1	101
	% da área	52,69	27,56	12,06	5	2,69	

O ano 2012 seguido pelo ano 2014 e depois 2019 é que tiveram mais ocorrências e as classes com baixo VCI prevaleceu.

Os anos 2016 e 2020 tiveram menores ocorrências ainda que as médias de VCI de classes baixas tenham sido predominantes. Contudo, a distribuição das ocorrências continuou obedecendo o padrão de mais ocorrências em classes de baixo VCI e menos ocorrências em Classes com VCI elevado.

A Figura 4 mostra a espacialização dos focos de incêndios detectados entre aos anos 2010 a 2020 no distrito de Xai – Xai, onde se percebe que todo o distrito registrou ocorrências, embora a maior densidade tenha se concentrados no Sudeste e Centro do distrito.

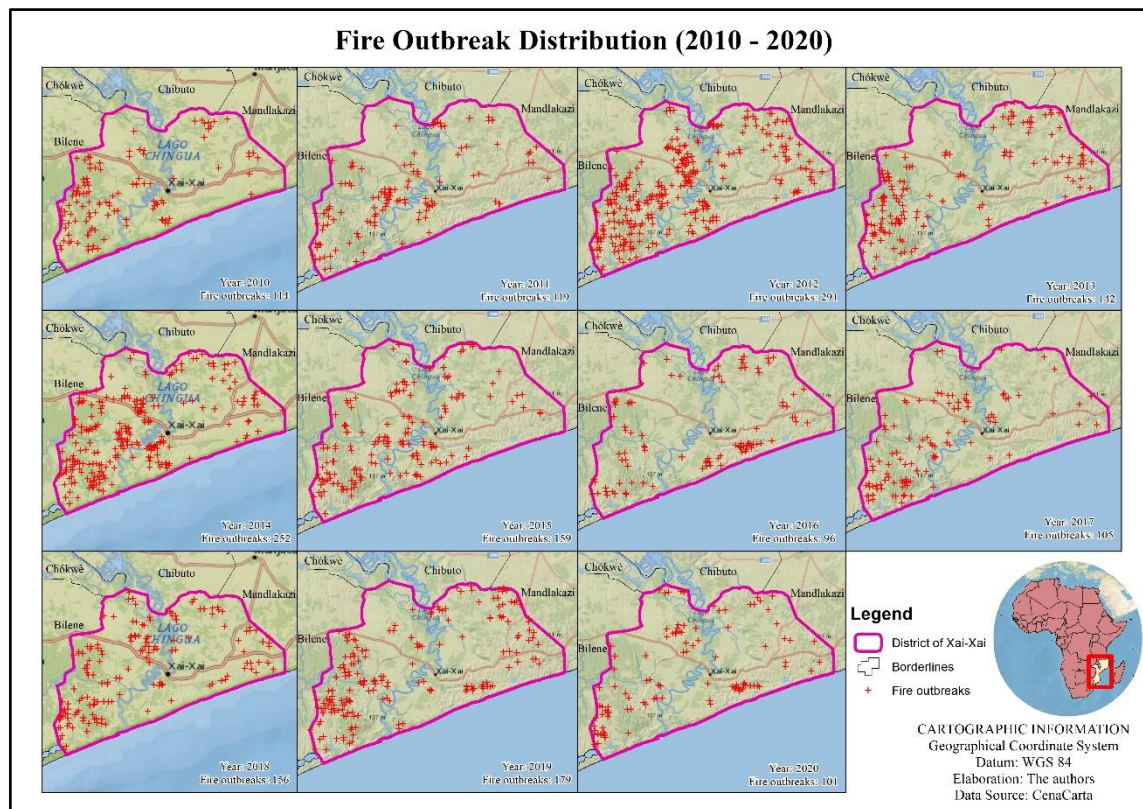


Figure 4: Distribuição de focos de incêndios no distrito de Xai - Xai
Fire Outbreak distribution of Xai-Xai district (2010 – 2020)

4.4. DISCUSSÃO

O estudo apontou para uma estreita ligação entre VCI e o comportamento das ocorrências, com evidências para mais ocorrências nos pontos com condição da vegetação extremamente seco e seco. Apontamento abonado por Silva *et al.* (2018) pautando que a condição da vegetação, determina a ocorrência ou não de incêndios florestais num determinado

lugar, com maior incidência de ocorrências em vegetação seca. Corroborando os mesmos autores, em estudo realizado em Minas Gerais apresentam os mapas de VCI para os anos de 2012 a 2015 e 2014 que se destacou por apresentar o menor índice de ocorrências nos anos com condição boa a ótima de vegetação.

De acordo Uele, Iyra e Oliveira Júnior (2017), em Moçambique, os anos de 2013, 2014 e 2015 caracterizaram-se uma condição seca a extremamente seca de vegetação, o que provocou várias ocorrências, sendo que somente algumas áreas localizadas próximo aos cursos de água permaneceram uma boa condição de vegetação.

Segundo dados da Agência Nacional de Água (ANA) do Brasil, em Minas Geras no ano 2014, a vegetação foi severamente afetada pelo evento de estiagem que se verificou. Gomes *et al.* (2019) e Gomes *et al.* (2020) acrescentam que a raridade vegetacional está relacionada aos índices de perigo à ocorrência de incêndios.

Araújo *et al.* (2020) em seu estudo na Microrregião de Paragominas, Estado do Pará, Norte do Brasil, semelhantemente a presente pesquisa, também associa VCI a distribuição de incêndios na região, aferindo-se que as classes mais baixa de vegetação são mais propensas em relação as classes mais altas.

No geral, para o intervalo em análise, os focos apresentaram compatibilidade com o mapeamento do VCI, que demonstrou controlar as ocorrências. Por sua vez a distribuição das classes de VCI podem estar ligadas ao volume da precipitação nos diferentes lugares do distrito, que segundo Botelho *et al.* (2020), as condições meteorológicas (Temperatura, precipitação e ventos) condicionam o VCI que por sua vez interfere no padrão de distribuição dos focos de incêndios.

No município de Paragominas, Pará, o destaque está para maior valor de ocorrência, que se deu no último trimestre do ano de 2015, cuja área atingida foi bem superior às demais que apresentavam VCI com condição boa a ótima, que segundo Sales *et al.* (2019) provavelmente, esse fato está relacionado a uma intensificação das chuvas no período em que o VCI esteve ótimo e a ausência da precipitação quando esteve seco e consequente registro de mais ocorrências.

No ano seguinte, 2016 no mesmo município, as chuvas foram intensas. E o outro aspecto relevante foi observado quando se comparou os registros de ocorrência em 2016 com os de 2015. Os registros de ocorrências em 2016 foram apenas cerca de 5% menores (5.252,85 ha) em relação a 2015 onde foram 51 vezes maiores (cerca de 107.766,36 ha) em relação ao período subsequente (SALES *et al.*, 2019). Certamente, neste período, a componente VCI teve importante papel no comportamento dos agentes ativos para o estabelecimento do fogo nos

períodos menos ou mais chuvoso, em comparação ao cenário de praticamente ausência de precipitação/estiagem as ocorrências foram maiores, similar ao distrito de Xai – Xai. Essa afirmação ganha relevância à medida que pela lógica fossem registrados valores de ocorrência mesmo em áreas com VCI ótimo, mas em classes com VCI baixo, onde provavelmente tenha chovido menos por conta das micro características (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Segundo Oliveira *et al.* (2016), por exemplo, no estudo realizado na Amazônia, encontrou os maiores valores percentuais de ocorrências em pontos onde as classes extremamente secas e seco eram predominantes, considerando diversos índices de probabilidade meteorológica de incêndios para os meses com menor precipitação. O mesmo autor ao analisar o risco de incêndios em Belém no ano de 2015, apontou que no período menos chuvoso (junho a dezembro), a frequência de ocorrência foi alta, enquanto que o índice de ocorrências caiu no período chuvoso.

Zambrano *et al.* (2016) em sua pesquisa na região do Chile, também constatou o VCI como diretamente ligado a aspectos meteorológicos, que controlam o período de seca, condicionando o estado da vegetação. O que também está interligado a ocorrência de incêndios igualmente ao resultado alcançado com esta pesquisa.

Na mesma ótica, em estudos recentes, Beighley e Hyde (2018), descrevem os novos padrões meteorológicos como preocupantes, sobretudo devido ao aumento da temperatura e à diminuição da precipitação, afetando o VCI. Estes novos padrões irão incutir, sobretudo na Península Ibérica, secas mais pronunciadas e ondas de calor mais intensas, originando uma vegetação mais seca e pronta para arder e desencadeando ondas mais graves de incêndios florestais com maior dimensão e maior poder destrutivo.

Portanto, o mapeamento do VCI e suas Classes na série temporal 2010 – 2020, utilizando o sensoriamento remoto, é importante para o entendimento do padrão de ocorrências de incêndios conforme a condição da vegetação, podendo contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica de ocorrências de incêndios, desenvolvimento de métodos eficazes de alertas precoces e adoção de medidas de prevenção e redução de impactos (HUESCA *et al.*, 2014).

4.5. CONCLUSÕES

O presente estudo, por via do sensoriamento remoto, analisou a suscetibilidade da vegetação a incêndios consoante sua caracterização, que controla a maior disposição ou não da vegetação à inflamabilidade.

Evidenciou-se que o VCI, conforme a classe que se encontrar, condiciona maior ou menor número de ocorrências, sendo que as classes mais baixas, com vegetação extremamente seco a seco, registraram mais ocorrências do que as classes com VCI bom a ótimo.

As ocorrências distribuem-se em praticamente todo o distrito, evidenciando-se maior concentração em áreas com baixo VCI e menos ocorrências em condição de vegetação boa a ótimo.

A pesquisa permitiu concluir que o emprego do sensoriamento remoto para aferir a suscetibilidade da vegetação aos incêndios florestais a partir de índices espectrais, é viável e, portanto, ferramenta recomendável para o controle e prevenção de incêndios.

4.6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Lucas Oliveira *et al.* Ação antrópica na incidência dos focos de incêndios na Microrregião de Paragominas, Estado do Pará, Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, João Pessoa, v. 7, n. 17, p. 1153-1164, 2020.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Ernandes-Neto/publication/344839096>. Acesso em: 08 de janeiro de 2022.

BARBOSA, Antônio Helton da Silva; CARVALHO, Rodrigo Guimarães de; CAMACHO, Ramiro Gustavo Valera. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre – estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 33, p. 128, 2017. Disponível em:

<https://www.scilit.net/article/0f8e72d336da98e5d6a90ed8612290b4>. Acesso em: 04 de setembro de 2021.

BACANI, Vitor Matheus. Geoprocessing applied to risk assessment of forest fires in the municipality of Bodoquena, Mato Grosso do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, p. 1003-1011, 2016. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rarv/a/B9dwZvwjZ3JxDcfm5HJyyBx/abstract/?lang=en>. Acesso em: 15 de julho de 2021.

BEIGHLEY, Mark; HYDE, A. C. Gestão dos incêndios florestais em Portugal numa nova era Avaliação dos riscos de incêndio, Recursos e Reformas. **Centro de Estudos Florestais– Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa: Lisboa, Portugal**, p. 59, 2018. Disponível em: https://www.isa.ulisboa.pt/files/events/pub/2018_Portugal-Wildfire-Management-in-a-New-Era_Portuguese.pdf. Acesso em: 15 de março de 2022.

BOTELHO, Matheus Gabriel Lopes et al. Avaliação temporal e espacial de focos de calor em Paragominas, PA, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e589974501-e589974501, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4501>. Acesso em: 20 de agosto de 2021.

COVELE, Paulo Alberto. Aplicação de índices das condições de vegetação no monitoramento em tempo quase real da seca em Moçambique usando NOAA_AVHRR-NDVI. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 29, p. 85-95, 2011. Disponível em:

<https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74207>. Acesso em: 21 de março de 2022.

EMBRAPA, 2021. Projeto Moçambique - **Embrapa monitoramento por satélite**.

Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/100/webgis-mocambique>. Acesso em: 05 de janeiro de 2022.

GAIDA, William *et al.* Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Investigaciones geográficas**, México, n. 91, p. 105-123, 2016. Disponível em:

<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018846112016000300105&script=sci>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2022.

GOMES, Aldenia Ribeiro dos Santos *et al.* Estudo da relação entre a variabilidade dos índices de vegetação e temperatura da Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 359-368, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/7fRcKW5XLpFKz34n65BBHP>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2022.

GOMES, Aldenia Ribeiro dos Santos *et al.* Análise de estresse vegetativo, associado às variáveis climáticas no Nordeste do Brasil e nos municípios do Ceará (Fortaleza, Jaguaruana e Campos Sales). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 35, p. 493-504, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/KfxTTQQqCQMqjqwMb7V99YB/?format>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2022.

GOVERNO DO DISTRITO DE XAI-XAI. **Estudo de âmbito de Xai-Xai**. 2012. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/5ce90675310e970001a91164/t/5d00b94b7167dd0001e56652/1560328540361/MOZ19-1-16-013.867-rapc-+Estudo+d+e+a%CC%82mbito+de+Xai-Xai+Relatorio.pdf>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2022.

HUESCA, Margarita *et al.* Modeling and forecasting MODIS-based Fire Potential Index on a pixel basis using time series models. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 26, p. 363-376, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243413001025>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **Monitoramento dos Focos Ativos por Países**. INPE, 2021. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_paises/. Acesso em: 24 de janeiro de 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite – Projeto PRODES**. 2017. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2022.

MABUNDA, Idolgy Ribeiro dos Santos *et al.* Estimativa da biomassa florestal para fins energéticos utilizando índices de vegetação e dados de campo, Distrito de Mabalane– Moçambique. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, vol. 73, n. 1, p. 313-328, 2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/220241>. Acesso em: 25 de janeiro de 2022.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

MINISTÉRIO PARA A COORDENAÇÃO E AÇÃO AMBIENTAL (MICOA), República de Moçambique. **Plano de ação para prevenção e controle às queimadas descontroladas 2008 - 2018**. Maputo: MICOA, 2007. 46 p

MONTFORT, Frederique *et al.* From land productivity trends to land degradation assessment in Mozambique: effects of climate, human activities, and stakeholder definitions. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 1, p. 49-65, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.3704>. Acesso em: 11 de julho de 2021.

OLIVEIRA, Maria do Carmo Felipe de *et al.* Risco de ocorrência de queimada e de incêndio e as medidas de prevenções, em Belém-PA, ano de 2015. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 04, p. 1030-1042, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.4.p1030-104>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2022.

SALES, Gil Mendes *et al.* Emprego dos focos de calor na avaliação das queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, Belém-PA, v. 14, n. 1, p. 55-77, 2019. Disponível em: [http://editora.museu-goeldi.br/bn/artigos/cnv14n1_2019/emprego\(sales\).pdf](http://editora.museu-goeldi.br/bn/artigos/cnv14n1_2019/emprego(sales).pdf). Acesso em: 27 de janeiro de 2022.

SANTOS, Gleici; NUCCI, João. Índice de cobertura vegetal e índice visual de verde: indicadores de qualidade ambiental urbana. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Porto, n. 17, p. 229, 2019. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/cca2133c4d07b27a98a1ebf62f734244>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

SILVA, Viviane Valéria da *et al.* Análise da suscetibilidade da vegetação a incêndios florestais no estado de Minas Gerais. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 125-139, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/19239>. Acesso em: 16 de agosto de 2021.

UELE, Dionísio Inocêncio; LYRA, Gustavo Bastos; OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco de. Variabilidade espacial e intranual das chuvas na Região Sul de África Austral. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 473-484, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863230013>. Acesso em: 21 de junho de 2021.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Diante das análises feitas neste estudo sobre as ocorrências de incêndios florestais na região sul de Moçambique de 2010 a 2020, chegou-se as seguintes ilações:

A suscetibilidade aliada a probabilidade determina o perigo de ocorrência de incêndios florestais na região sul de Moçambique.

Os fatores físicos temporais (climáticos) são responsáveis pela maior ou menor probabilidade de incêndios, na medida que o padrão de ocorrência se deu conforme a atuação destes.

A ação antrópica determina que incêndios florestais ocorressem mesmo em áreas de baixa periculosidade em detrimento das de alto perigo.

O SIG, o sensoriamento remoto e o teste *Scott Knott* se mostraram eficientes na identificação do perigo a incidências. As ferramentas demonstraram eficácia para o conhecimento de áreas mais e menos susceptíveis, distribuição temporal e espacial de focos e relação de VCI com ocorrências de incêndios, fornecendo subsídios para a realização do monitoramento, fiscalização, e adoção de medidas preventivas e conscientização ambiental.

A educação ambiental nas suas mais diversificadas formas (formal, não formal e informal) é recomendável aos órgãos ambientais de planejamento em Moçambique como ferramenta imprescindível para criar maior disciplina e conscientização das práticas antrópicas perigosas, que foram apontadas como as principais causadoras de incêndios florestais na região sul de Moçambique.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Fabio de Almeida; SOUZA, Josiane do Socorro Aguiar. Dinâmica espaço-temporal de focos de calor em duas terras indígenas do Estado de Mato Grosso: uma abordagem geoespacial sobre a dinâmica do uso do fogo por Xavantes e Bororos. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 23, p. 1-10, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/loram/a/XKyLKpHFHPLMLbVKhRc3cqQ/?lang=pt&format=html&stop=previous>. Acesso em: 20 de julho de 2021.
- BACANI, Vitor Matheus. Geoprocessing applied to risk assessment of forest fires in the municipality of Bodoquena, Mato Grosso do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 6, p. 1003-1011, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v40n6/0100-6762-rarv-40-06-1003.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2021.
- BEZERRA, Denilson da Silva Bezerra *et al.* Análise dos focos de queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1988 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/57337>. Acesso em: 20 de janeiro de 2021.
- CAMARGO, Leandro de Souza *et al.* Mapeamento de áreas susceptíveis a incêndios florestais do Município de Petrópolis–RJ. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 630-641, 2019. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13164>. Acesso em: 15 de junho de 2021.
- CARREIRAS, Manuela *et al.* Comparative analysis of policies to deal with wildfire risk. **Land Degradation & Development**, v. 25, n. 1, p. 92-103, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.2271>. Acesso em: 08 de março de 2022.
- CASAVECCHIA, Bruno Henrique *et al.* Índices de perigo de incêndios em uma área de transição Cerrado-Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 842-854, 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/17756>. Acesso em: 12 de março de 2022.
- CONJO, Manuel Pastor Francisco. Mapeamento da susceptibilidade à incêndios na Região Sul de Moçambique. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 7, n. 11, p. 1669-1689, 2021. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/3243>. Acesso em: 22 de março de 2022.
- GRÜSS, Arnaud *et al.* Producing distribution maps for a spatially explicit ecosystem model using large monitoring and environmental databases and a combination of interpolation and extrapolation. **Frontiers in Marine Science**, v. 5, p. 16, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00016/full>. Acesso em: 18 de julho de 2021.
- MACAVE, Orlando A. *et al.* Modelling aboveground biomass of Miombo Woodlands in Niassa Special Reserve, Northern Mozambique. **Forests**, v. 13, n. 2, p. 311, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/2/311>. Acesso em: 15 de março de 2022.

MÁRIO, Aguinaldo Joaquim; MESA, Sailon Augusto Roia; SERROTE, Caetano Miguel Lemos. Efeito das atividades antrópicas na cobertura vegetal na Reserva Florestal de Mecubúri, Moçambique. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 588-593, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/13152>. Acesso em: 17 de março de 2022.

MBANZE, Aires Afonso *et al.* Desempenho dos índices de Nesterov e Fórmula de Monte Alegre no distrito de Lichinga, Norte de Moçambique. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, p. 687-696, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/VyN3WQyNkgXDd7zpxtrQKDq/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 18 de março de 2022.

MINISTÉRIO PARA A COORDENAÇÃO E AÇÃO AMBIENTAL (MICOA), República de Moçambique. **Plano de ação para prevenção e controle às queimadas descontroladas 2008 - 2018**. Maputo: MICOA, 2007. 46 p

MONTFORT, Frederique *et al.* From land productivity trends to land degradation assessment in Mozambique: Effects of climate, human activities, and stakeholder definitions. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 1, p. 49-65, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.3704>. Acesso em: 11 de julho de 2021.

NHONGO, Eufrásio João Sozinho *et al.* Probabilistic modelling of wildfire occurrence based on logistic regression, Niassa Reserve, Mozambique. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 10, n. 1, p. 1772-1792, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2019.1615559>. Acesso em: 18 de setembro de 2021.

NHONGO, Eufrásio; FONTANA, Denise; GUASSELLI, Laurindo. Spatio-temporal patterns of wildfires in the Niassa Reserve–Mozambique, using remote sensing data. **BioRxiv**, 2020. Disponível em: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.01.16.908780v1.abstract>. Acesso em: 28 de setembro de 2021.

RIBEIRO, Natasha S. *et al.* Prediction of forest parameters and carbon accounting under different fire regimes in Miombo woodlands, Niassa Special Reserve, Northern Mozambique. **Forest Policy and Economics**, v. 133, p. 102625, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934121002318>. Acesso em: 03 de março de 2022.

SILVA, Joaquim Sande *et al.* Towards integrated fire management-Outcomes of the European project Fire Paradox. **European Forest Institute**, 2010. https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/15236/1/REP-FIRE%20Paradox-efi_rr23.pdf. Acesso em: 20 de julho de 2021.

SILVA, Viviane Valéria da *et al.* Análise da suscetibilidade da vegetação a incêndios florestais no estado de Minas Gerais. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 125-139, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/19239>. Acesso em: 16 de agosto de 2021.

SORIANO, Balbina Maria Araújo; DANIEL, Omar; SANTOS, Sandra Aparecida. Eficiência de índices de risco de incêndios para o pantanal Sul-Mato-Grossense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, p. 809-816, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/DWLchpQCnNdPB4xDrmShPJN/?format=html>. Acesso em: 14 de maio de 2021.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira *et al.* Analysis of efficiency of fire danger indices in forest fire prediction. **Revista árvore**, Viçosa, v. 41, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/FHd4RNWRsyvnxV99LgBYHDn/?lang=en&format=html>. Acesso em: 05 de julho de 2021.

YE, Tao *et al.* Factor contribution to fire occurrence, size, and burn probability in a subtropical coniferous forest in East China. **PloS one**, v. 12, n. 2, p. e0172110, 2017. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0172110>. Acesso em: 20 de março de 2022.