

SUSCETIBILIDADE À INCÊNDIOS FLORESTAIS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE JATAÍ, LUÍS ANTÔNIO/SP

Alisson Cleiton de Oliveira – nº INPE: 485855/2022 (alisson.oliveira@inpe.br)
Docente responsável: Prof. Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro

RESUMO

O Cerrado é o segundo maior domínio fitogeográfico e um dos dois *hotspots* de conservação do Brasil. Atualmente resta menos de 20% das suas áreas naturais e, no estado de São Paulo, a porcentagem preservada é de apenas 1%. O objetivo desse estudo foi gerar mapas de suscetibilidade à incêndios florestais para a Estação Ecológica de Jataí, localizada em Luís Antônio/SP, a partir da abordagem *fuzzy* e da sobreposição por médias ponderadas em ambiente SIG. Considerando que a UC foi atingida por incêndios nos anos de 2020 e 2021 e que, quando se analisa a sobreposição dos focos de calor identificados pelos sensores MODIS e VIIRS, observou-se que há uma preponderância dos focos nas áreas classificadas como Muito Fraca suscetibilidade. Contudo, para a validação do mapa de suscetibilidade para o ano de 2022, com base nas variáveis utilizadas para os anos anteriores, é necessário o aprimoramento do modelo, testando-se outros cenários através da alteração dos valores de *fuzzy gamma*.

Palavras-Chave: Cerrado, Incêndios Florestais, Suscetibilidade, Fuzzy.

ABSTRACT

Cerrado is the second largest biome and one of the two conservation hotspots in Brazil. Less than 20% of its original area remains in natural conditions and in São Paulo State this percentage is less than 1%. The objective of this study was to generate forest fire susceptibility maps to the Ecological Station of Jataí located in Luís Antônio, state of São Paulo, based on fuzzy and sum weighted methods using GIS. The studied area was hit by fire in 2020 and 2021 and hot spots obtained by MODIS and VIIRS sensors were overlaid on the generated maps of both years and the points shown a high density on the very low susceptibility class. However, it is necessary to improve the model with different scenarios built by different fuzzy gamma values to validate the map of forest fire susceptibility of 2022.

Keywords: Cerrado, Forest Fire, Susceptibility, Fuzzy.

1 Introdução

O Cerrado é o segundo maior domínio fitogeográfico do Brasil. Dentre os ecossistemas que compõem esse domínio, estão as fitofisionomias campestres savânicas e de florestas (BATALHA, 2011). Em termos biológicos, excetuando-se o Cerradão (FIDELIS *et al.*, 2018), ecossistema tipicamente florestal, o Cerrado evoluiu ao longo de milhões de anos presenciando eventos periódicos de incêndios naturais, os quais foram responsáveis por moldar as características atuais das fitofisionomias, pois o fogo no Cerrado foi um agente de seleção natural das espécies vegetais. Durigan *et al.* (2020) explicam que diversas espécies de gramíneas e arbustos do Cerrado são codependentes do fogo.

Contudo, o fogo natural tem se tornado cada vez mais raro, e em seu lugar o que se constata são incêndios de origens antrópicas (PIVELLO *et al.*, 2021). O fogo natural e o fogo antrópico são fenômenos muito diferentes, pois se por um lado os incêndios naturais são mais propícios a ocorrerem na transição entre as estações seca e chuvosa, provenientes da queda de raios, o fogo antrópico acontece em ocasiões em que as condições climáticas são propensas a intensificarem a ação destrutiva das chamas. Pode-se dizer que o fogo antrópico pressiona ecossistemas naturais ao acontecerem com maior intensidade, frequência e menor previsibilidade, causando, deste modo, distúrbios aos quais o Cerrado não possui defesas suficientes (PIVELLO *et al.*, 2021).

Menos de 20% do Cerrado encontra-se conservado em território brasileiro (SANTOS, MIRANDA, SILVA-NETO, 2020), e no estado de São Paulo, onde o Cerrado já foi muito mais extenso, resta menos de 1% da sua cobertura original. Muitas das áreas onde é possível encontrar remanescentes de fitofisionomias abertas e savânicas estão inseridas no interior de Unidades de Conservação. A Estação Ecológica de Jataí é a maior reserva de proteção do Cerrado do estado de São Paulo e nos anos de 2020 e 2021 presenciou eventos de incêndios antrópicos severos. O objetivo desse artigo foi desenvolver, a partir de técnicas de geoprocessamento, da aplicação da lógica *fuzzy* e da sobreposição de médias ponderadas, mapas de suscetibilidade à incêndios florestais para a Estação Ecológica de Jataí. Desse modo,

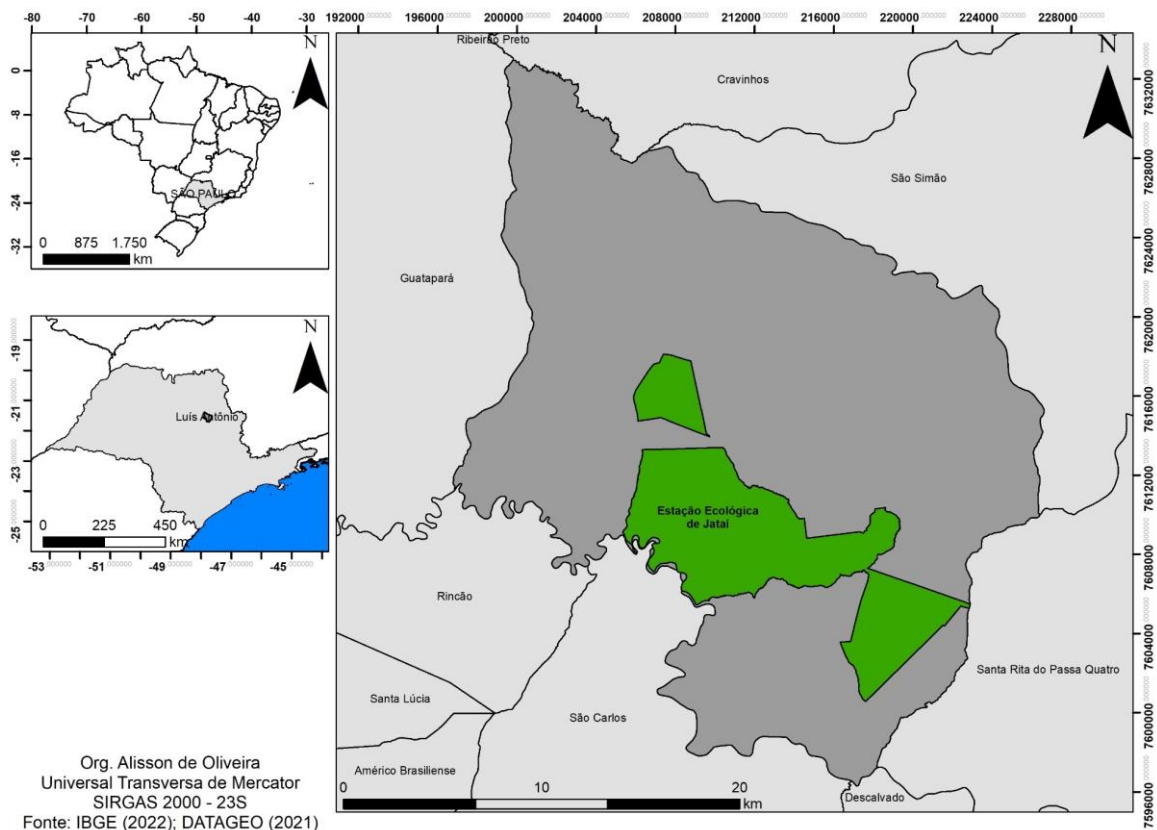
gerou-se mapas de suscetibilidade para os anos de 2020 e 2021 a fim de se realizar a validação, com base nos incêndios de ambos os anos, do mapa concernente a 2022.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudo

A Estação Ecológica de Jataí (EEJ) é uma unidade de conservação de proteção integral localizada na Região Administrativa de Ribeirão Preto, no município de Luís Antônio. A EEJ é a maior reserva de proteção do domínio do Cerrado no estado de São Paulo, sendo a sua fitofisionomia preponderante o Cerradão, que ocupa cerca de 60% da área total da unidade, que é, segundo o Plano de Manejo, de 9.074,63 ha. Trata-se de uma Unidade de Conservação (UC) estadual gerida pela Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2013). A Figura 1 situa geograficamente a EEJ, área de estudo do presente artigo.

Figura 1 – Localização da Estação Ecológica de Jataí.

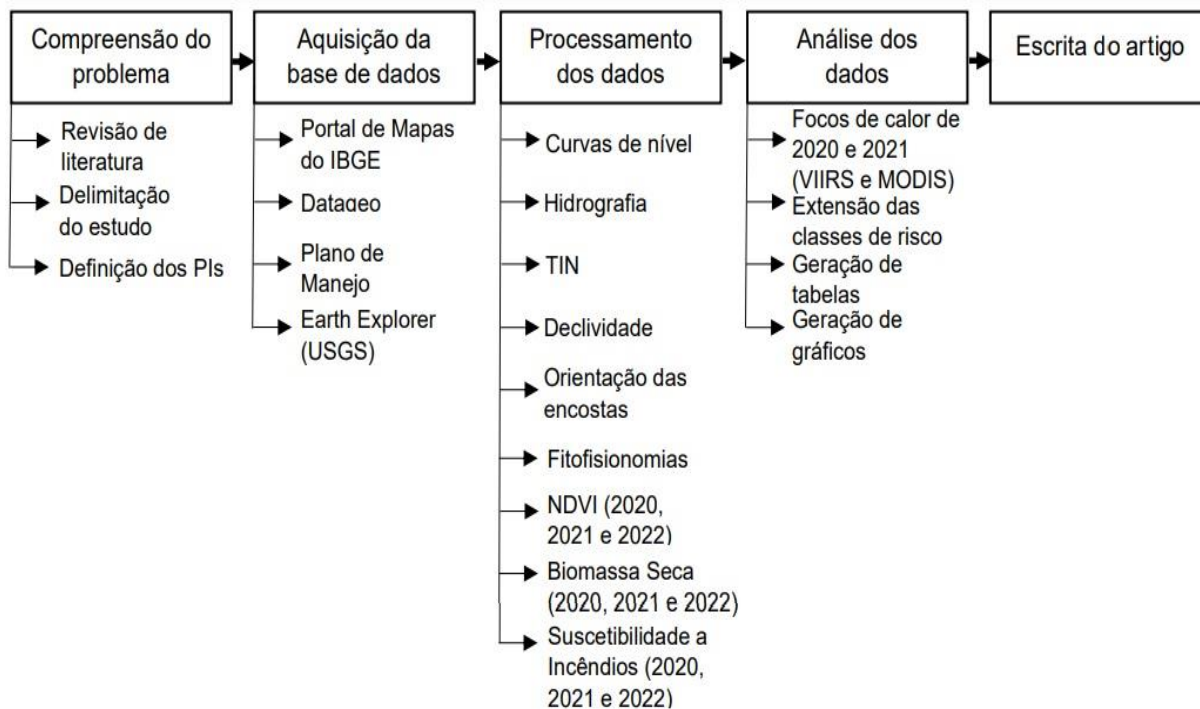


Fonte: O autor (2022).

2.2 Procedimento metodológicos

Pode-se dividir os procedimentos metodológicos adotados nesse estudo de acordo com as etapas elencadas na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: O autor (2022).

a) Compreensão do problema: Nessa etapa foi realizada uma análise exploratória de trabalhos científicos disponíveis em formato virtual a fim de se compreender algumas das metodologias de geoprocessamento adotadas para a caracterização da suscetibilidade à incêndios florestais no domínio do Cerrado. A partir disso, delimitou-se o escopo do estudo e foram definidos os planos de informação (PIs) a serem utilizados no processamento dos dados geoespaciais, bem como os pesos dos atributos dos PIs e as respectivas metodologias de geração de mapas de suscetibilidade, que no caso foram a abordagem *fuzzy* e a média ponderada.

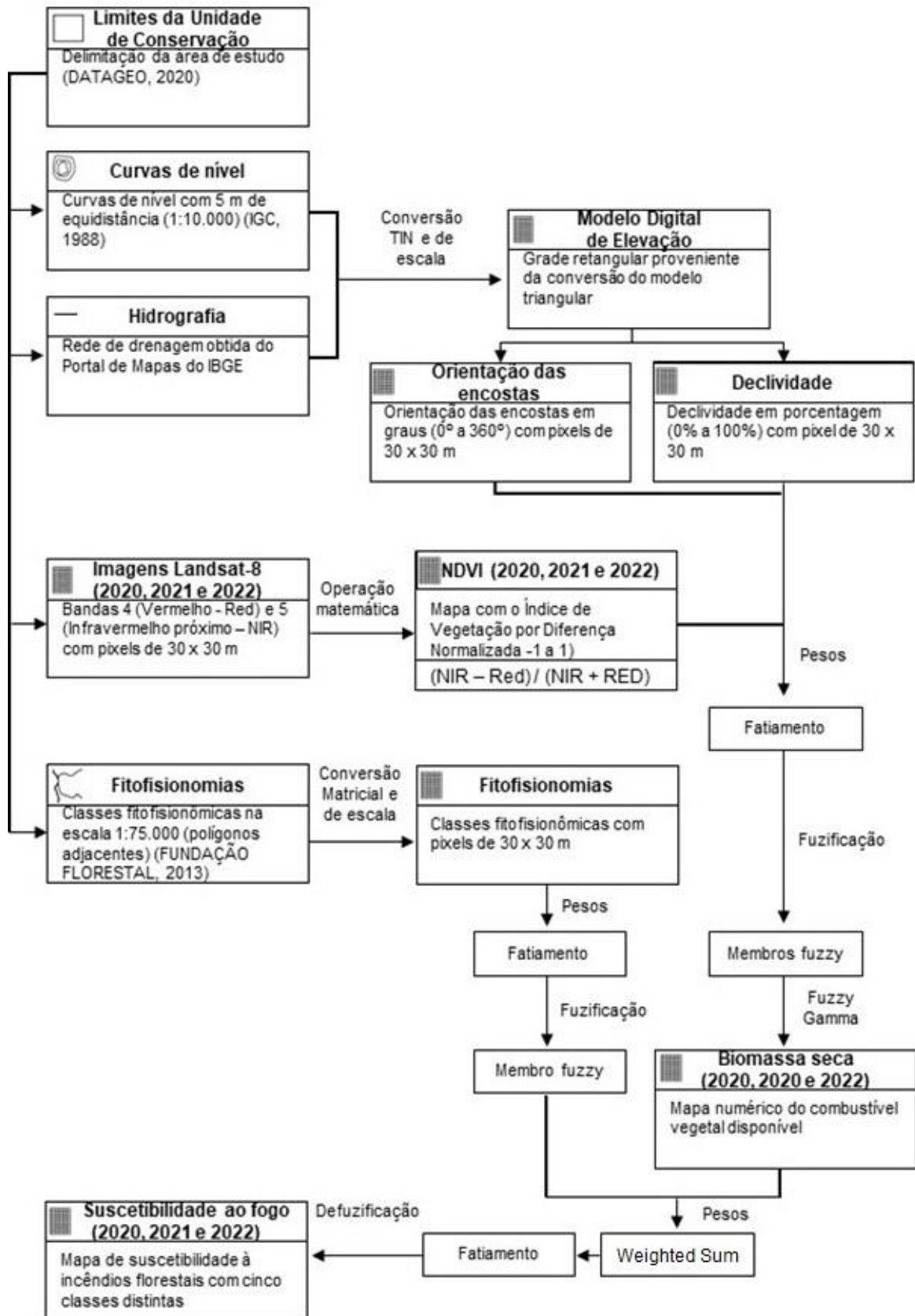
b) Aquisição de dados: Os PIs utilizados foram adquiridos através de diferentes fontes. Para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) foram processados o PI contendo as curvas de níveis equidistantes de 5 m vetorizadas a partir do arquivo em

formato WMS disponível no Datageo e o PI contendo a hidrografia vetorizada foi obtido no Portal de Mapas do IBGE, em formato dgn. O PI contendo as fitofisionomias foi vetorizado a partir do georreferenciamento do mapa que consta no Plano de Manejo da EEJ (SÃO PAULO, 2013), e os NDVIs foram gerados tomando-se como referências as bandas 4 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo) do sensor OLI, acoplado ao satélite Landsat 8, e disponíveis no *site* EarthExplorer, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

c) Processamento dos dados: A partir das curvas de níveis e da hidrografia processou-se a elaboração da rede triangular irregular (TIN) para a geração do MDE, que foi, posteriormente, convertido em grade retangular em formato raster. Com base no MDE matricial obteve-se os mapas de declividade e de orientação das encostas. Os NDVIs foram gerados para os anos de 2020, 2021 e 2022, e a partir da fuzzificação das classes de suscetibilidade adotadas para a declividade, orientação das encostas e NDVI, obteve-se os membros *fuzzy* que foram sobrepostos pelo operador *Fuzzy Gamma* com o intuito de se gerar os mapas de combustível vegetal. A função de pertinência adotada para a declividade foi a *Fuzzy Large* (Sigmoidal Crescente) (JUVANHOL, 2014), para a orientação das encostas foi a *Fuzzy Linear* (SANTANA, 2014) e para os NDVIs e para o PI com as fitofisionomias foi a função *Fuzzy Gaussiana*. Por fim, realizou-se uma operação de média ponderada entre os mapas de biomassa seca e de fitofisionomias para a geração dos mapas de suscetibilidade à incêndios florestais dos anos de 2020, 2021 e 2022.

A Figura 3 mostra o modelo OMT-G do presente trabalho implementado em ambiente SIG.

Figura 3: OMT-G.

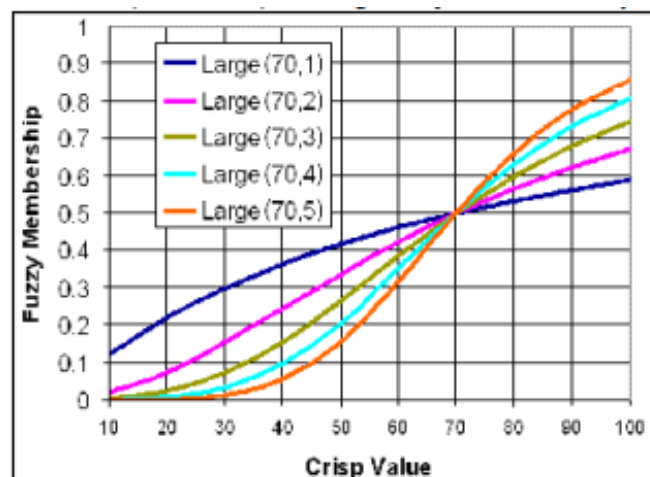


Fonte: O autor (2022).

Fuzzy Large

A função de pertinência Large foi adotada para a declividade, conforme metodologia adotada por Juvanhol (2014). A função Large é também chamada de Função Sigmoidal Crescente, e permite representar o comportamento da variação da imagem raster classificada entre os pesos de 1 a 5 segundo o seu grau de pertinência para o conjunto considerado. A imagem matricial resultante classifica os valores de entrada maiores com a maior possibilidade dessas classes serem membros do conjunto. De acordo com Santana (2014), essa função é empregada quando os valores de entrada estão mais propensos a integrarem o conjunto. A operação de transformação das classes de declividade em membros *fuzzy*, a partir da função sigmoidal crescente, foi realizada em ambiente SIG, através do software ArcGIS, informando-se o valor de *midpoint* de 5 (classe de maior peso) e o valor de *spread* também igual a 5, no intuito de categorizar as maiores classes dentro do grupo e as classes de menor peso como mais distantes de pertencerem ao grupo. A Figura 4 evidencia o comportamento da função para um *spread* de 5 e como o comportamento se modifica de acordo com a variação desse parâmetro.

Figura 4: Função de pertinência Large e variação do comportamento das curvas segundo os parâmetros informados em ambiente SIG.



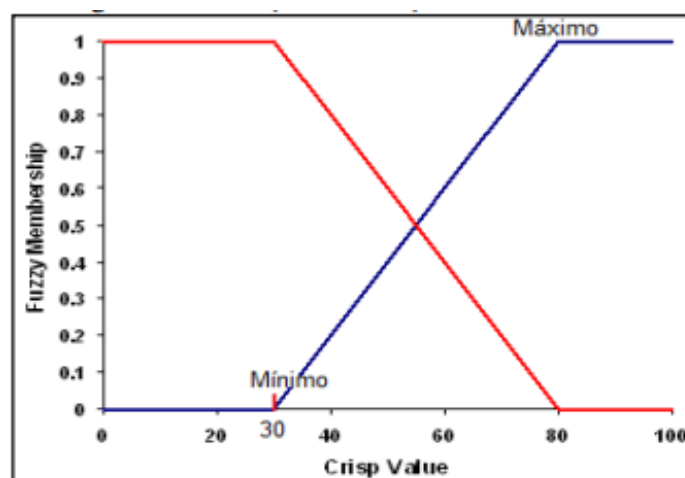
Fonte: ESRI (2011).

Juvanhol (2014) justifica o uso dessa função tendo em vista que a cada 15° de declividade o fogo dobra a sua velocidade de propagação. Para a EEJ, onde o relevo é predominantemente plano, adotou-se a classe de peso 5 (declividade > 20%) por ser a que engloba essa declividade em graus, que em porcentagem representa 26%.

Fuzzy Linear

Para a conversão das orientações das encostas em membro *fuzzy* foi aplicada a função de pertinência Linear, pois, conforme explica (SANTANA, 2014), essa função se caracteriza por preservar a estrutura algébrica da disposição dos valores na matriz raster. O mínimo e máximo do conjunto são importantes, visto que os valores transformados seguirão a fórmula $y=ax+b$, em que valores próximos a 0 correspondem a áreas pouco influenciadas e valores próximos a 1 representam áreas altamente influenciadas, sendo que entre o mínimo e o máximo acontece uma gradação linear com valores de influência intermediários. O mapa de orientação das encostas que, antes de ser convertido em membro *fuzzy*, foi fatiado de acordo com a suscetibilidade das faces dispostas a determinadas direções sobre o ressecamento vegetal, mostra que, segundo o ângulo da orientação das faces, tem-se influências diferentes. A Figura 5 ilustra o comportamento do gráfico com a função Linear.

Figura 5: Função de pertinência Linear e sua variação segundo os valores da amplitude da matriz raster.



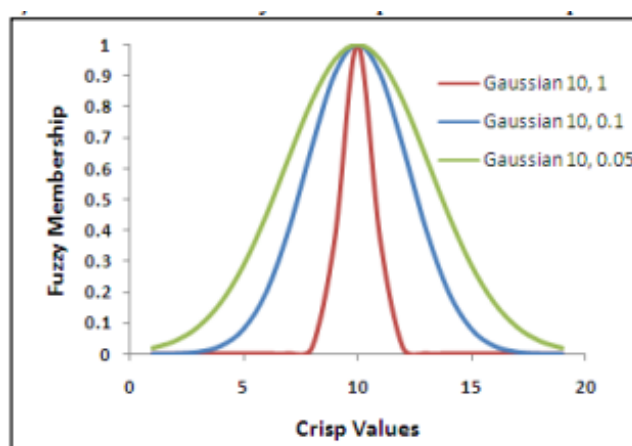
Fonte: ESRI (2011).

Observando a figura é possível explicar que todos os valores que forem inferiores ao mínimo informado não são categorizados como membros do conjunto (assumem valor 0), enquanto todos os valores que forem iguais ou superiores ao máximo se enquadram como membros verdadeiros do conjunto (assumem valor de 1), sendo a zona de transição entre o mínimo e o máximo correspondente aos valores intermediários. Em ambiente SIG, os valores mínimos e máximos informados foram 1 e 5, devido às classes fatiadas de influência das encostas no ressecamento vegetal.

Fuzzy Gaussiana

A função de pertinência Gaussiana foi adotada para a conversão das classes de influências das camadas de NDVI e fitofisionomias, pois essa função transforma os valores originais em uma distribuição normal padrão. O parâmetro *midpoint* designa o melhor ponto para a definição do conjunto *fuzzy*, sendo que o valor adotado foi o correspondente à classe de influência muito forte representada pelo valor 5. Dessa forma, ao se converter os NDVI e as fitofisionomias em membros *fuzzy*, esperou-se que as classes de maiores influências se aproximassem ao valor 1, enquanto as classes de menores influências se aproximassem ao valor 0, segundo uma transição correspondente à cauda esquerda da distribuição normal. O parâmetro *spread* adotado foi o de 0,05. A Figura 6 ilustra o comportamento dessa função de acordo com valores de *spread* diferentes e a distribuição esperada para o valor adotado.

Figura 6: Função de pertinência Gaussiana e sua variação segundo valores diferentes (1, 0,1 e 0,05) do parâmetro *spread*.



Fonte: ESRI (2011).

O *midpoint* é ao grau de pertinência 1. O *spread* corresponde à inclinação da curva. A metodologia foi adaptada de Juvanhol (2014), que, em seu trabalho, aplicou a função Gaussiana para a modelagem do uso e ocupação da terra. O *midpoint* foi adotado para se estimar a distribuição unicaudal à esquerda das classes inferiores à de peso 5, sendo que, quanto mais próximo a 1, maior é a pertinência da classe no conjunto *fuzzy*. Com isso, esperou-se que as classes de menores influências assumissem valores semelhantes, enquanto a classe 3 se enquadrasse no range intermediário e as classes 4 e 5 correspondessem a um intervalo superestimado.

Fuzzy Gamma

A partir dos membros *fuzzy* obtidos pela transformação das classes de influências através das funções de pertinência explicitadas anteriormente, realizou-se a inferência *fuzzy* por meio da função *Fuzzy Overlay* do ArcGis. O operador *fuzzy* adotado nesse procedimento foi o *Fuzzy Gamma*, que é composto por dois termos, definido por: $\mu = (\text{soma algébrica fuzzy})^\mu * (\text{produto algébrico fuzzy})^{1-\mu}$. Nesse operador é possível definir a importância de cada um dos dois termos, através do parâmetro μ , sendo que em $\mu = 1$ a combinação dependerá apenas da soma algébrica, e em $\mu = 0$ a combinação dependerá somente do produto algébrico. Quando $0 < \mu < 0,35$ ocorre a redução do valor *fuzzy* em relação aos valores de entrada, quando $0,35 < \mu < 0,8$ ocorre a redução do valor *fuzzy* entre o valor mínimo e máximo de entrada e quando $0,8 < \mu < 1$ ocorre o aumento do valor do membro *fuzzy* em relação à entrada, representando, dessa forma, valores maiores do que os valores de entrada.

No presente estudo foi adotado um valor de $\mu = 0,9$, visto que esse valor distingue mais classes de influências e reduz à importância das classes mais restritivas, permitindo individualizar mais áreas que se classificam no range entre as classes de muito fraca influência e de muito forte influência. Portanto, com base na sobreposição *fuzzy* realizada pelo operador gamma, foi possível gerar mapas de combustível vegetal a partir dos membros *fuzzy* de declividade, orientação das encostas e dos NDVI de 2020, 2021 e 2022. Apesar de não terem sido gerados diferentes cenários variando os valores de gamma, recomenda-se esse procedimento para futuros trabalhos em vistas à uma modelagem mais próxima à realidade.

Weighted Sum

A função *Weighted Sum* foi empregada para o processamento das médias ponderadas das camadas de combustível disponível e fitofisionomias sobrepostas. Essa operação calcula uma soma ponderada entre células sobrepostas de diferentes planos de informação segundo o peso de influência de cada camada fuzzificada, cujo range varia de 0 a 1. A operação foi definida por: suscetibilidade à incêndios florestais = (combustível disponível * 0,8) + (fitofisionomias * 0,2). Reconhece-se nesse trabalho que os pesos, apesar de serem inferidos de acordo com a leitura de artigos sobre os fatores que influenciam o fogo no Cerrado, retratam uma escolha arbitrária do próprio autor, e, desse modo, podem não corresponder às reais influências de cada PI.

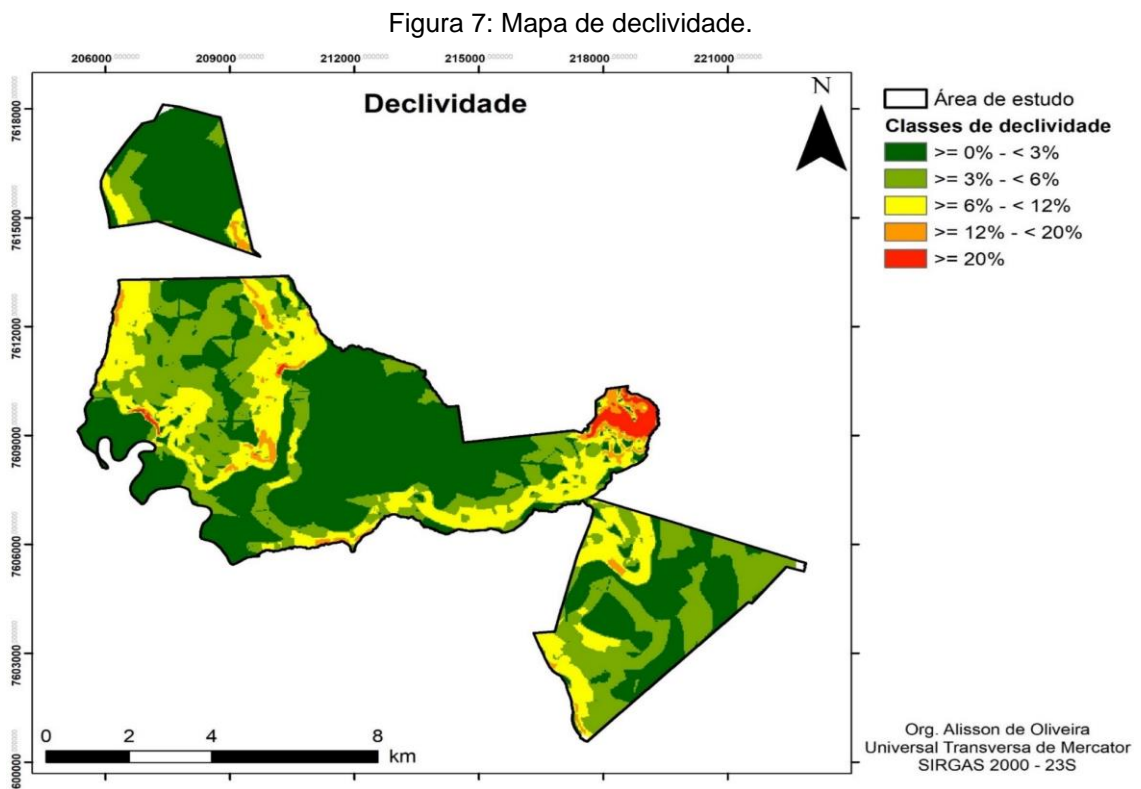
d) Análise dos dados: processou-se a construção de tabelas e gráficos concernentes às informações físicas e de extensão espacial dos mapas gerados e foram obtidos, pelo site FIRMS (*Fire Information for Resource Management Systems*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), os focos de calor identificados pelos sensores MODIS e VIIRS durante os incêndios de 2020 e 2021, que ocorreram na EEJ, a fim de representar o comportamento do fogo em ambos os anos e de buscar correlações com os mapas de suscetibilidade à incêndios florestais gerados. Os focos de calor identificados pelo MODIS, e disponibilizados pelo FIRMS, correspondem à pixels de 1 km, enquanto os focos identificados pelo VIIRS correspondem à pixels de 375 m, sendo, portanto, produtos diferentes originados de sensores diferentes.

e) Passo 5: Por fim, procedeu-se a estruturação e a escrita do artigo.

3 Resultados e discussão

a) Declividade

A Figura 7 apresenta o mapa de declividade da EEJ.



Fonte: O autor (2022).

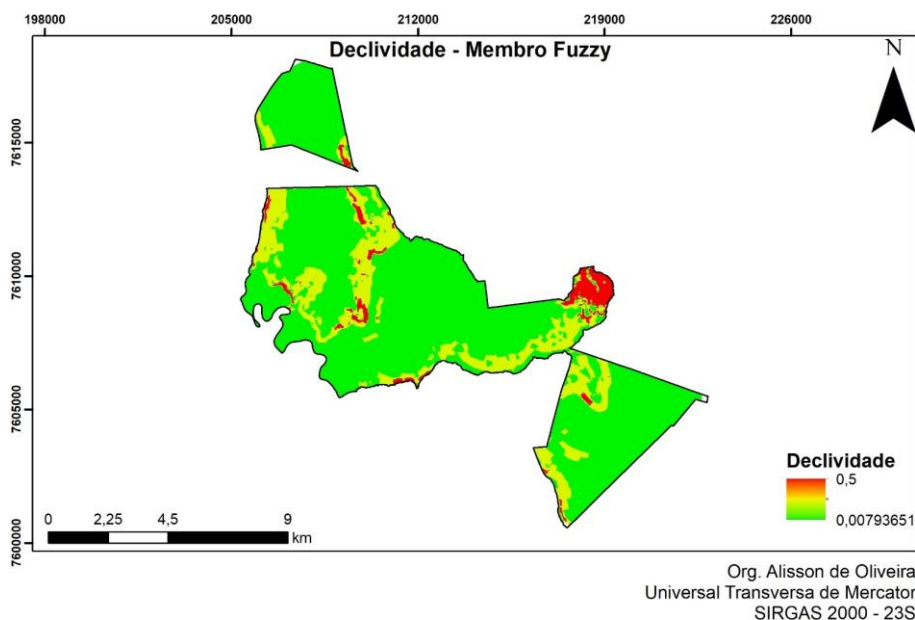
O fatiamento das classes de declividade foi adaptado do estudo de Juvanhol (2014), pois a EEJ apresenta um relevo relativamente plano, com poucas áreas com declividade maior do que 12%. A Tabela 1 contém os pesos atribuídos às classes de declividade, e a Figura 8 mostra o mapa após a conversão para membro *fuzzy*.

Tabela 1 - Pesos atribuídos à declividade.

Peso	Classe	Declividade em %
1	Muito fraco	0 – 3
2	Fraco	3 - 6
3	Médio	6 - 12
4	Forte	12 - 20
5	Muito forte	20 – 45

Fonte: Adaptado de Juvanhol (2014).

Figura 8: Mapa da transformação da declividade em membro *fuzzy*.

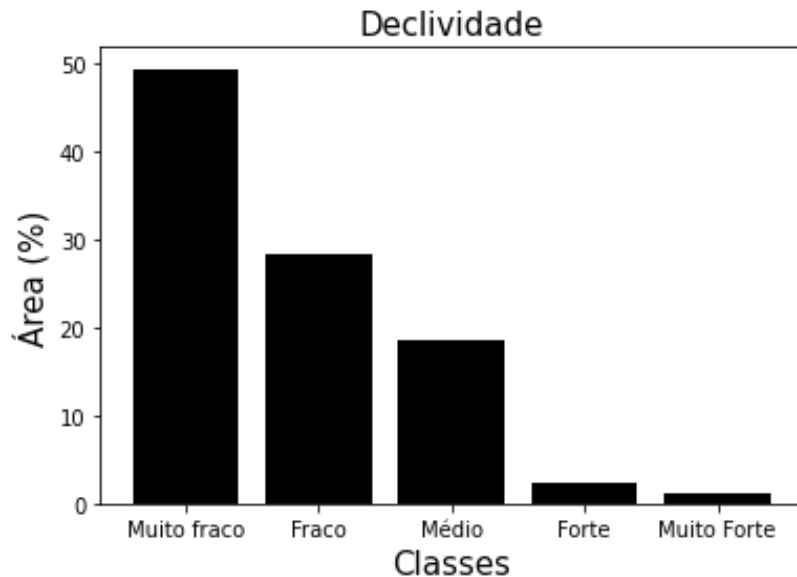


Fonte: O autor (2022).

Os pesos e as classes referem-se às influências da declividade no processo de ressecamento vegetal, pois, quanto maior a declividade, maior é o escoamento da água por gravidade e menor é, por consequência, o seu tempo de residência no solo. A Figura 9 ilustra a representatividade das classes de declividade no interior da EEJ. Pode-se visualizar a preponderância da classe Muito Fraco (0 a 3%), que ocupa quase 50% da UC. As classes Forte (12 a 20%) e Muito Forte (> 20%) representam, juntas, cerca de 5% da área. A declividade, além de influenciar o ressecamento da vegetação, é um fator que se relaciona, também, à propagação do fogo, pois em aclive o fogo

propaga com maior rapidez. Porém, a declividade nesse trabalho foi processada apenas para se analisar sua influência sobre a biomassa seca disponível.

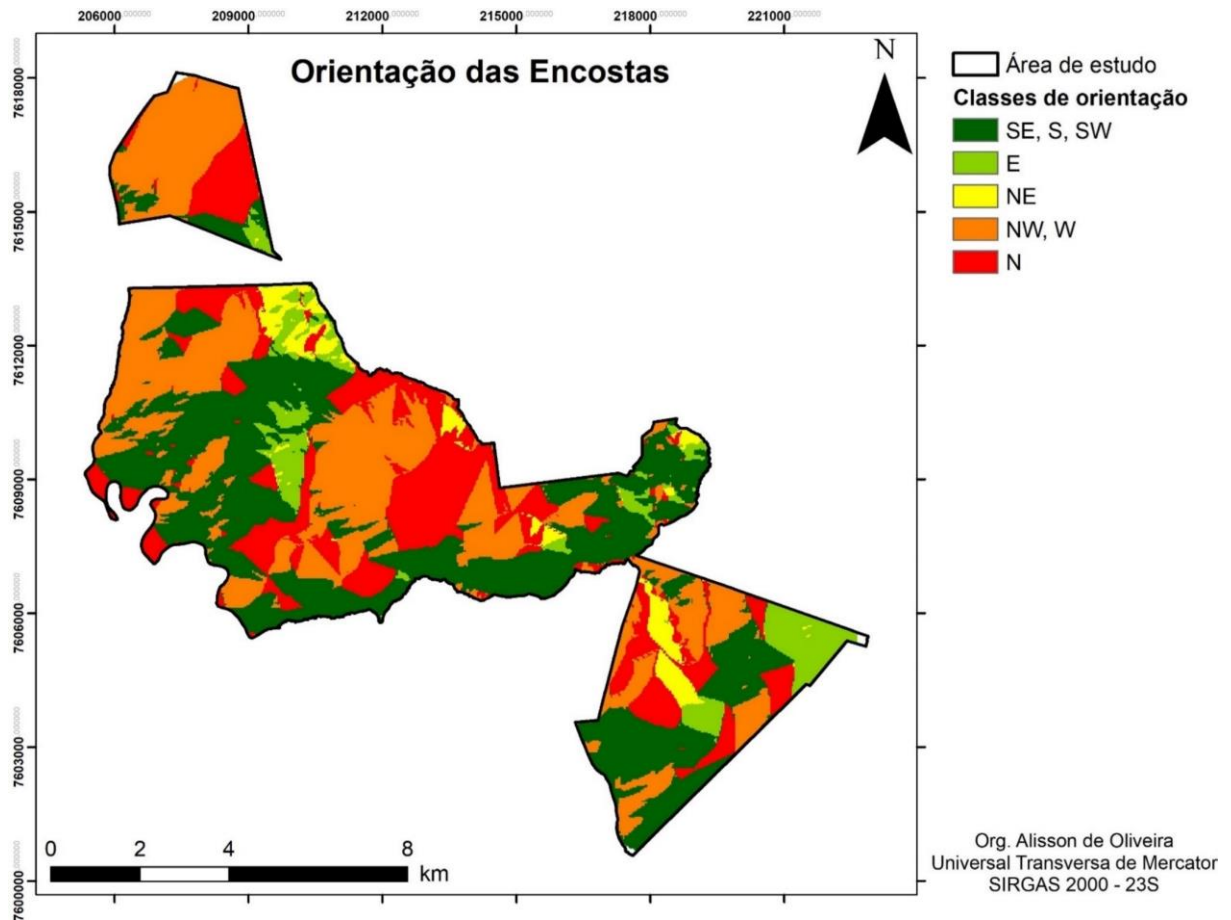
Figura 9: Representatividade em hectares (%) das classes de declividade.



b) Orientação das encostas

A Figura 10 apresenta o mapa das orientações das encostas. A influência dessa variável está associada à maior e mais constante incidência da luz solar em determinadas encostas orientadas a direções específicas. Portanto, a vegetação que ocupa encostas orientadas às direções norte, noroeste e oeste, tendem a receber maior irradiação solar, fazendo com que, em períodos de estiagem, as espécies vegetais percam mais água do que a vegetação orientada à sudeste, sul e sudoeste, pois essas encostas, no geral, tendem a ser mais sombreadas (ASSIS *et al.*, 2013).

Figura 10: Mapa de orientação das encostas.



Fonte: O autor (2022)

A Tabela 2 mostra os pesos atribuídos às classes fatiadas do mapa que contém as orientações do relevo, segundo a metodologia proposta por Assis *et al.* (2013) e exposta no artigo intitulado “Uso de Geotecnologias na Locação Espacial de Torres para Detecção de Incêndios Florestais no Semiárido Nordestino”, válida para os relevos do hemisfério sul.

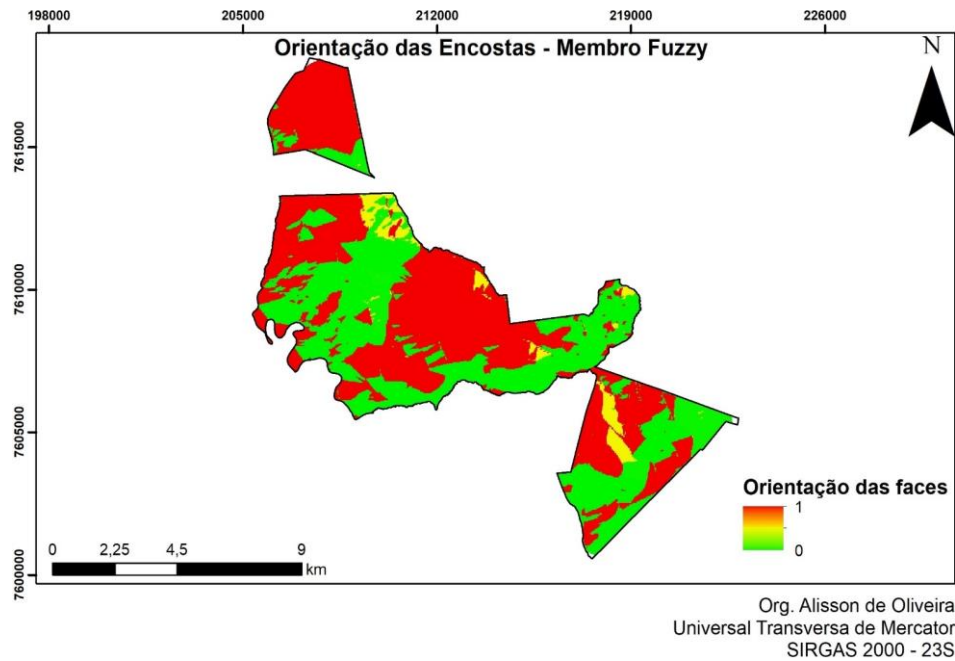
Tabela 2 - Pesos atribuídos à orientação das encostas.

Pesos	Classes	Orientação em graus
1	SE/S/SW	112,5° – 247,5°
2	E	67,5° – 112,5°
3	NE	22,5° – 67,5°
4	NW/W	247,5° – 337,5°
5	N	337,5° – 22,5°

Fonte: Assis *et al.* (2013).

A Figura 11 mostra a transformação do mapa de orientação das encostas em membro *fuzzy*.

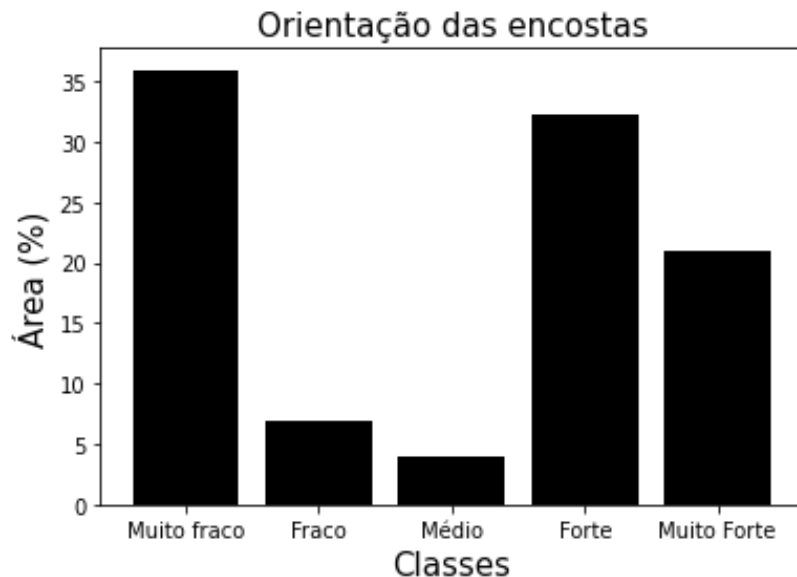
Figura 11: Mapa da transformação da orientação das encostas em membro *fuzzy*.



Fonte: O autor (2022).

A Figura 12 contém a representatividade em porcentagem da extensão das classes da Tabela 2.

Figura 12: Representatividade em hectares (%) das classes de orientação das encostas.



Pode-se perceber que em contraste às classes de declividade, no caso das orientações das vertentes, as classes Forte e Muito Forte ocupam cerca de 52% da EEJ, evidenciando, dessa forma, que a maior parte da UC apresenta um relevo

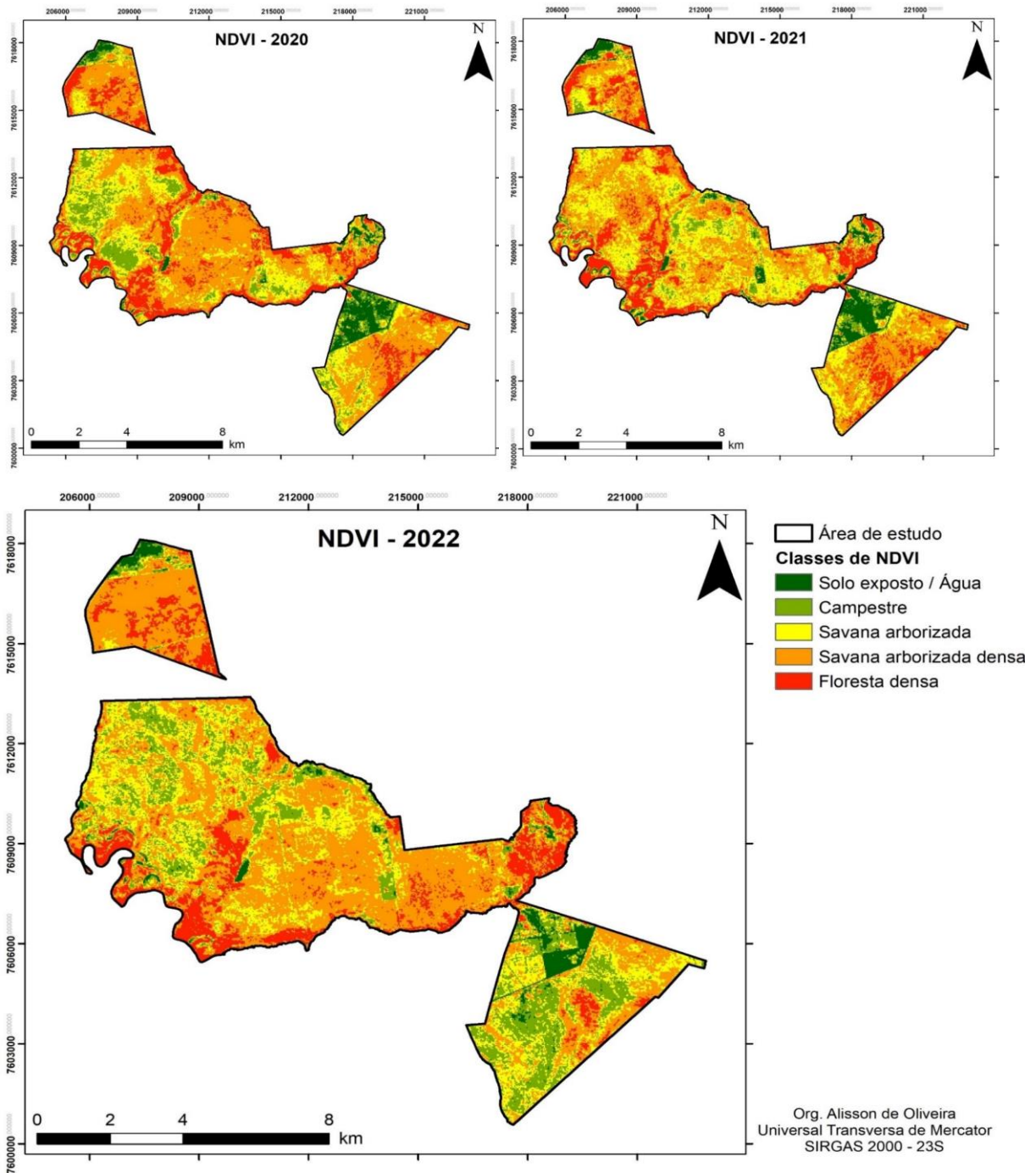
consideravelmente voltado às faces noroeste, oeste e norte, o que intensifica o processo de perda de água pelas células vegetais e o acúmulo de vegetação seca.

c) NDVI (2020, 2021 e 2022)

Os mapas de NDVI foram gerados a partir da observação dos histogramas dos NDVIs dos anos de 2020, 2021 e 2022. Não se adotou um fatiamento único capaz de representar as classes vegetais para os anos em questão, pois, apesar de as imagens obtidas para 2020 e 2021 corresponderem ao mês de julho, a radiância não é a mesma devido à fatores como distância Terra-Sol e efeitos atmosféricos. Nesse sentido, optou-se por gerar o fatiamento tendo como base os intervalos dos histogramas obtidos de forma empírica. Portanto, as classes definidas correspondem a: Solo exposto/Água; Campestre (campos abertos e áreas em regeneração ou com presença de capim exótico); Savana Arborizada (campos densos, cerrado sensu-stricto e cerradão com pouco adensamento); Savana Arborizada Densa (cerradão); e Floresta Densa (floresta estacional semidecidual e matas de galeria)

A Figura 13 mostra os mapas fatiados com o NDVI de 2020, 2021 e 2022.

Figura 13: NDVIs de 2020, 2021 e 2022.



Fonte: O autor (2022).

Os intervalos dos índices definidos para as classes citadas anteriormente são mostrados na Tabela 3, bem como os pesos atribuídos. Os pesos caracterizam a influência da concentração vegetal para a definição das áreas com maior possibilidade de se ter combustível vegetal, visto que quanto maior a biomassa, maior é, por conseguinte, a disponibilidade de combustível no ambiente.

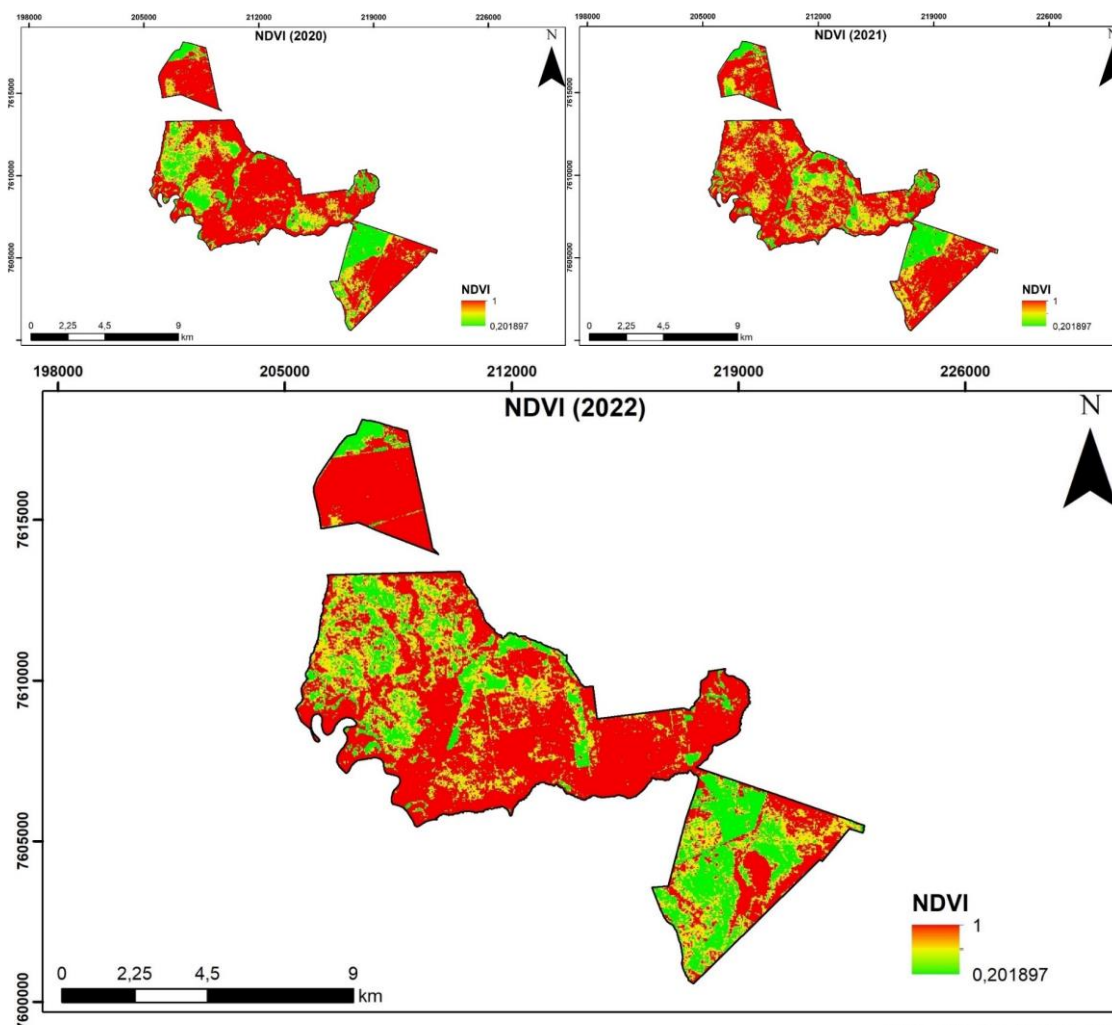
Tabela 3 - Pesos atribuídos aos NDVIs.

Pesos	Classes	Intervalos NDVI (2020)	Intervalos NDVI (NDVI 2021)	Intervalos NDVI (NDVI 2022)
1	Solo Exposto/Água	-0,0187 – 0,175	0,002 – 0,164	0,013 – 0,189
2	Campestre	0,175 – 0,213	0,164 – 0,196	0,189 – 0,229
3	Savana Arborizada	0,213 – 0,243	0,196 – 0,225	0,229 – 0,250
4	Savana Arborizada Densa	0,243 – 0,295	0,225 – 0,261	0,250 – 0,294
5	Floresta Densa	0,295 – 0,437	0,261 – 0,402	0,294 – 0,437

Fonte: O autor (2022).

A Figura 14 mostra a transformação dos mapas de NDVI em membros *fuzzy*.

Figura 14: Mapa da transformação dos NDVI em membros *fuzzy*.

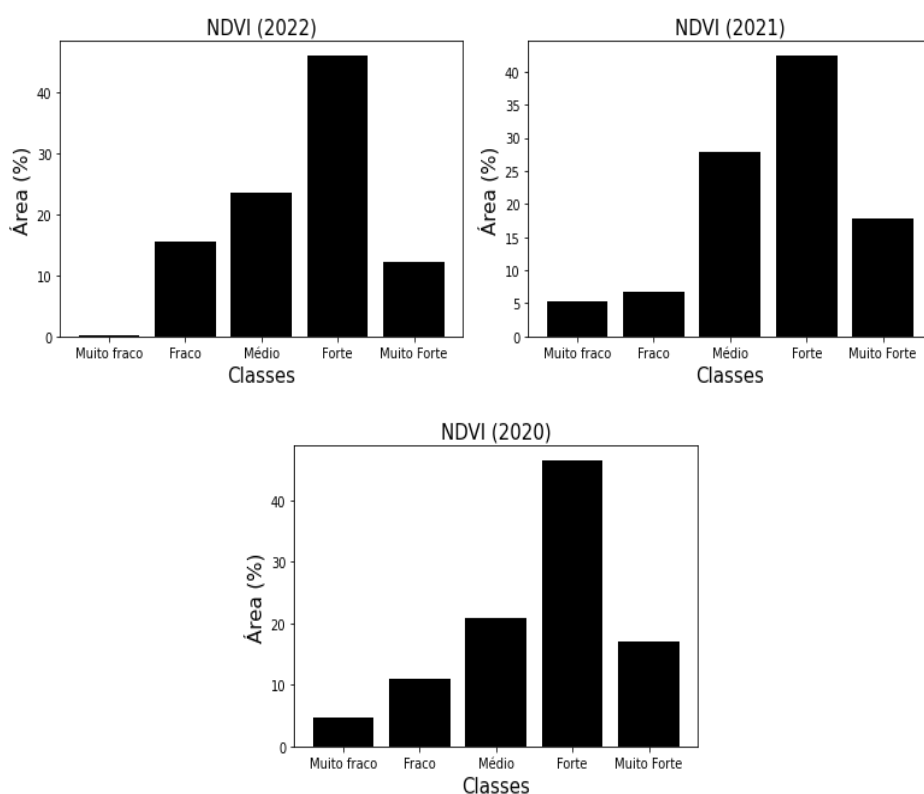


Org. Alisson de Oliveira
 Universal Transversa de Mercator
 SIRGAS 2000 - 23S

Fonte: O autor (2022).

A Figura 15 elenca os gráficos de barras referentes às classes de influências identificadas nos mapas de NDVI. No geral, pode-se constatar que em 2020, 2021 e 2022, a classe Forte, representada por Savana Arborizada Densa, é a que prepondera na UC, pois o Cerradão é a fitofisionomia mais significativa da EEJ e se caracteriza por uma alta densidade vegetal em comparação às outras fitofisionomias do domínio do Cerrado. A segunda classe mais representativa é a que designa a presença de Savana Arborizada, a qual detém influência média sobre a biomassa disponível.

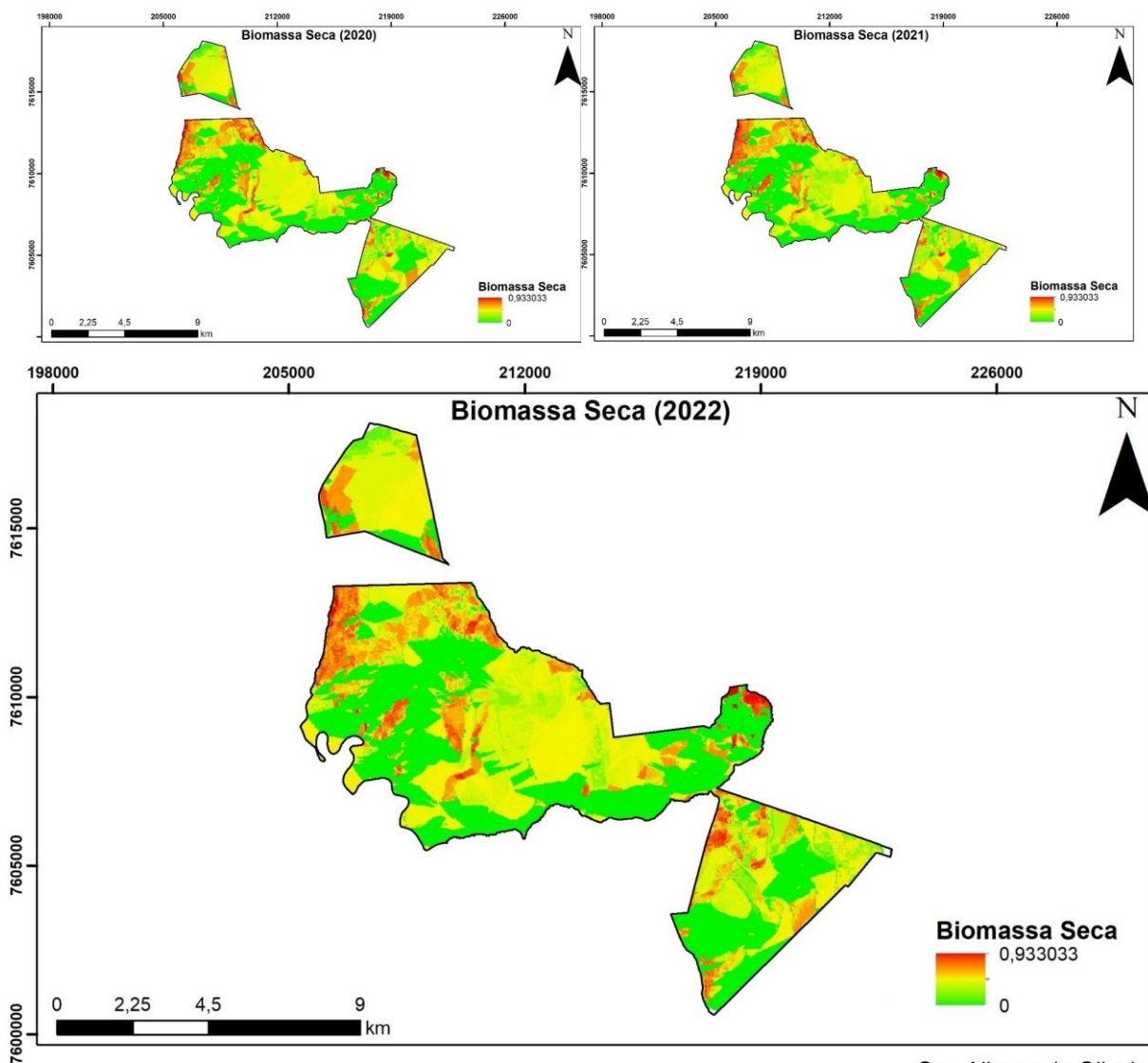
Figura 15: Representatividade em hectares (%) das classes de NDVI para os anos de 2020, 2021 e 2022.



d) Combustível vegetal

A partir da conversão para membros *fuzzy* dos mapas de declividade, orientação das encostas e NDVIs, segundo as funções de pertinência mencionadas no tópico dos procedimentos metodológicos, tornou-se possível a geração de mapas de combustível disponível para os anos de estudo com base no operador *Fuzzy Gamma*. Nessa parte do processamento adotou-se o valor padrão de gamma igual a 0,9. A Figura 16 mostra os mapas obtidos depois da inferência *fuzzy gamma* e a Figura 17 apresenta os mapas de biomassa seca fatiados referentes a 2020, 2021 e 2022.

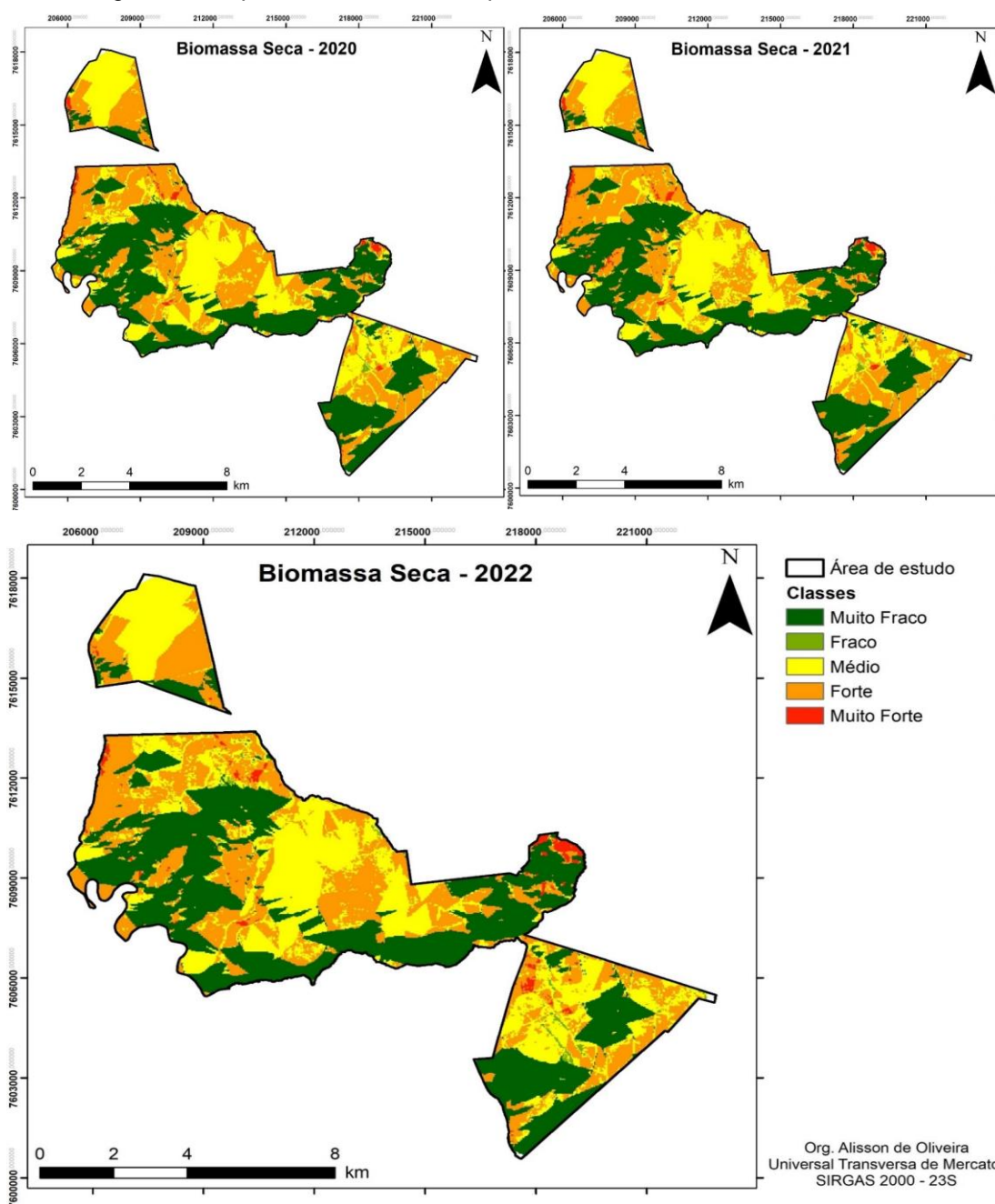
Figura 16: Transformação dos mapas de biomassa seca em membros *fuzzy*.



Org. Alisson de Oliveira
Universal Transversa de Mercator
SIRGAS 2000 - 23S

Fonte: O autor (2022).

Figura 17: Mapas do combustível disponível nos anos de 2020, 2021 e 2022.

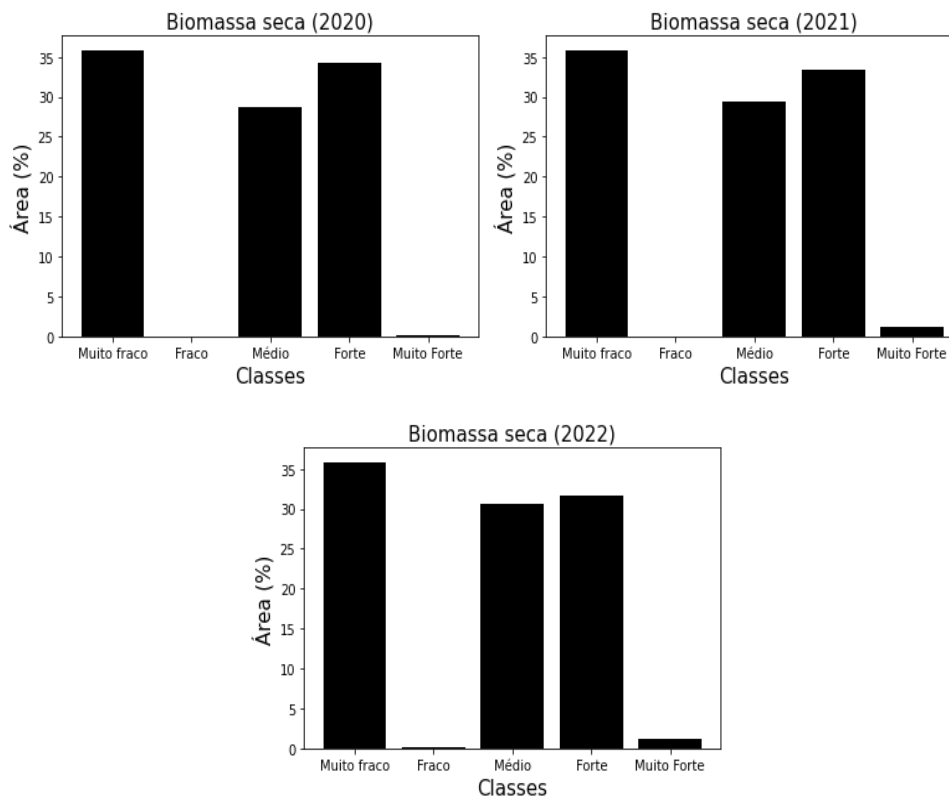


Fonte: O autor (2022).

A Figura 18 contém a porcentagem da ocupação em hectares de cada classe definida nos mapas de biomassa seca. Constata-se que, para os três anos analisados (2020, 2021 e 2022), existe uma alta presença das classes Muito Fraco (35,86%, 35,86% e 35,86% respectivamente), Médio (28,58%, 29,32% e 30,69) e Forte (34,27%, 33,31% e 31,73%). Percebe-se que a extensão em porcentagem de hectares ocupados pela classe Muito Fraco não se alterou para os anos considerados.

Juntas, as classes Médio e Muito Forte somam, respectivamente para os anos de 2020, 2021 e 2022, 62,95%, 62,63% e 62,42%.

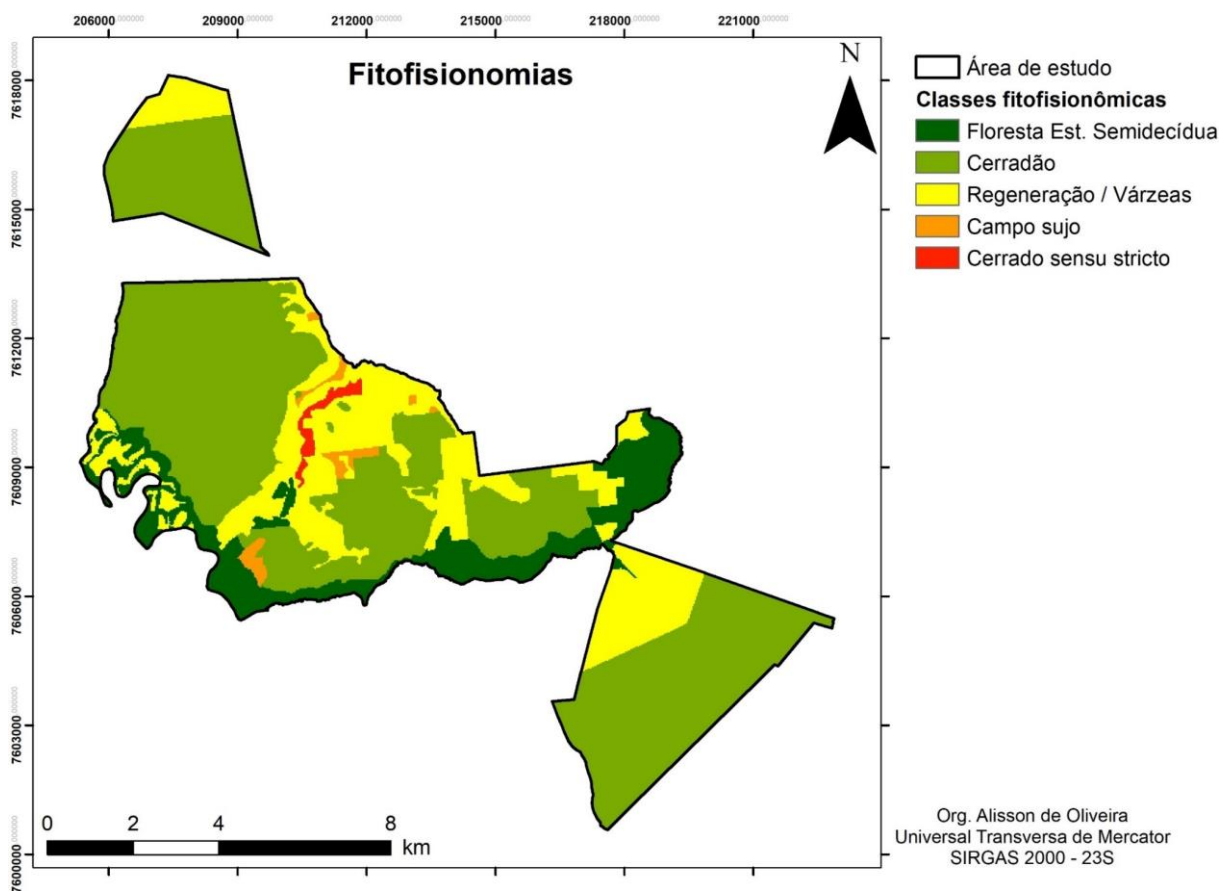
Figura 18: Representatividade em hectares das classes de combustível vegetal para os anos de 2020, 2021 e 2022.



e) Fitofisionomias

A Figura 19 refere-se ao mapa das fitofisionomias existentes no interior da EEJ. O Cerrado é um domínio que evolutivamente se adaptou sob a presença de eventos de incêndios naturais. Algumas fitofisionomias possuem, no entanto, uma maior dependência do fogo para manter o seu equilíbrio ecológico, como as fitofisionomias campestres e savânicas. No caso do Cerradão, que ocupa mais de 60% da EEJ, existe uma menor suscetibilidade e maior fragilidade frente à presença do fogo por se tratar de um ecossistema florestal em que, em comparação com outras fitofisionomias, eventos de incêndios naturais são mais raros. De igual forma, a Floresta Estacional Semidecidual também apresenta baixa suscetibilidade a incêndios, contudo, detém uma alta fragilidade.

Figura 19: Mapa das fitofisionomias da Estação Ecológica de Jataí.



Fonte: O autor (2022).

A Tabela 4 contém os pesos atribuídos às diferentes fitofisionomias da área de estudo.

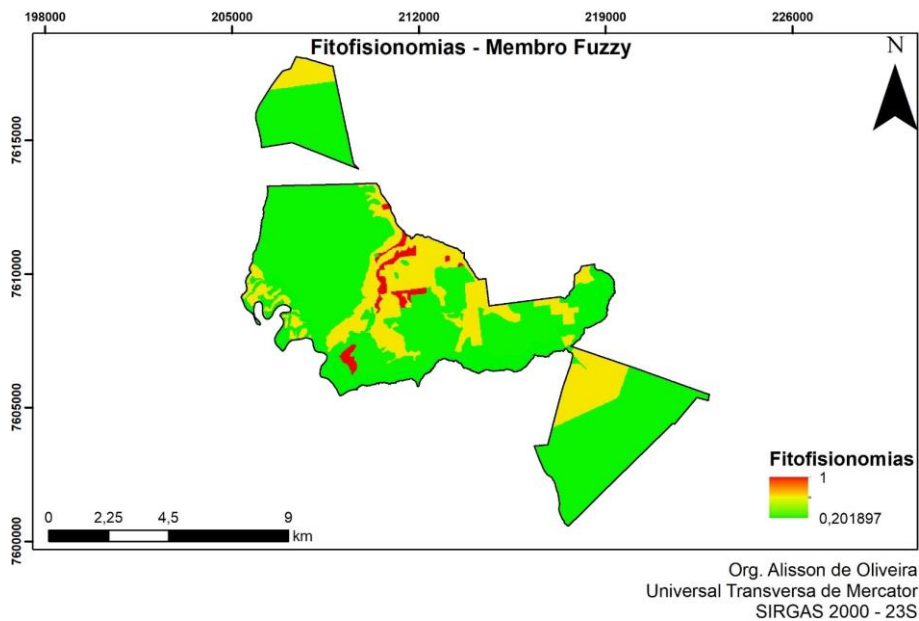
Tabela 4 - Pesos atribuídos às fitofisionomias.

Classe	Fitofisionomia
1	Floresta Estacional Semidecidual
2	Cerradão
3	Área em recuperação
3	Cerrado em regeneração
3	Várzea
4	Campo sujo
5	Cerrado sensu stricto

Fonte: Adaptado de Durigan et al. (2020); Fidelis et al. (2018).

A Figura 20 mostra a transformação do mapa de fitofisionomias em membro *fuzzy* obtido pela função gaussiana.

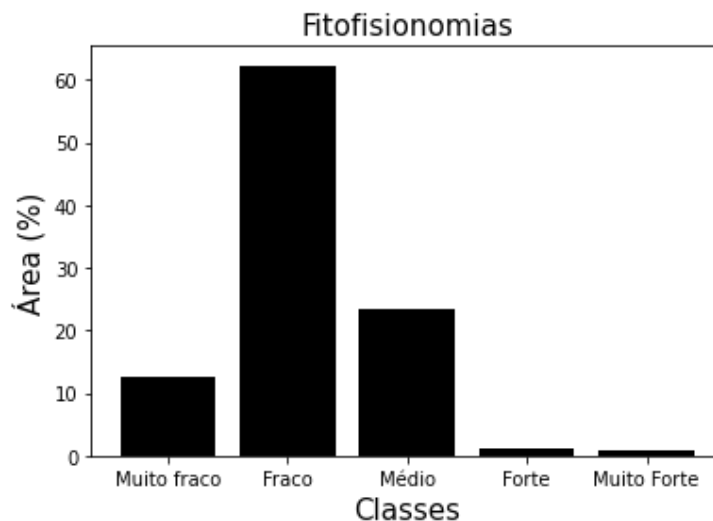
Figura 20: Mapa da transformação da fitofisionomia em membro *fuzzy*.



Fonte: O autor (2022).

A Figura 21 mostra o gráfico da representatividade de cada classe exposta na tabela anterior. Percebe-se que, no que tange à influência das fitofisionomias em eventos de incêndios, a classe Fraco ocupa mais de 60% da UC e está relacionada à presença do Cerradão. A segunda classe mais extensa é a Médio, que, basicamente, retrata a presença de áreas de campos nativos ou áreas em regeneração/recuperação onde podem existir gramíneas exóticas. A classe Muito Fraco, relacionada à Floresta Estacional Semidecidual e às matas de galeria, presentes em áreas de morro e nas proximidades de corpos d'água, ocupa 12,44% da área de estudo.

Figura 21: Representatividade em hectares das classes de fitofisionomias.

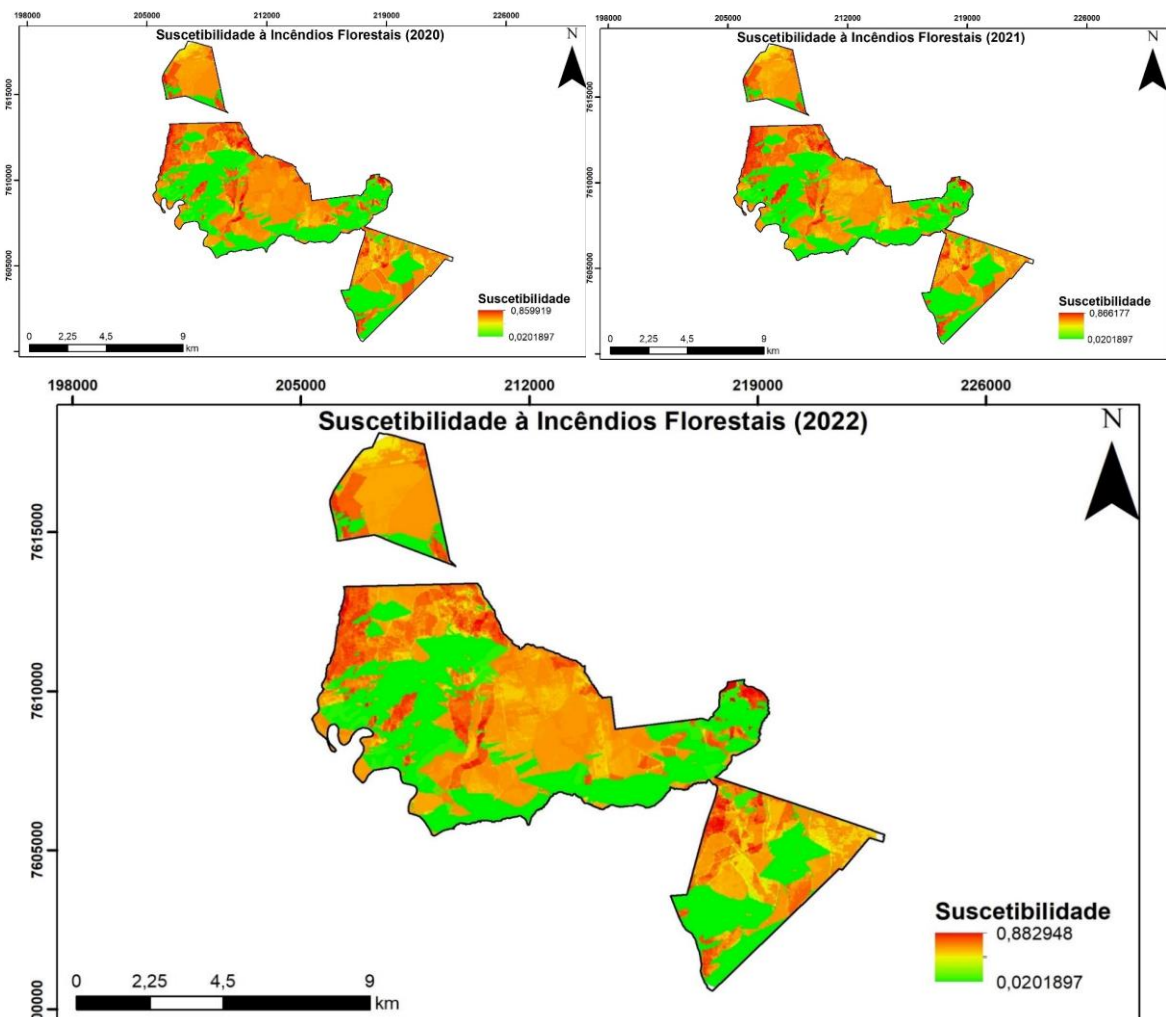


f) Suscetibilidade à incêndios

Com base nos mapas de biomassa seca e da fuzzificação do mapa de fitofisionomias, gerou-se, a partir de uma média ponderada, em que o mapa de biomassa seca assumiu o peso 0,8 e o mapa de fitofisionomias o peso 0,2, os mapas de suscetibilidade à incêndios florestais para os anos de 2020, 2021 e 2022.

Foram processados, em um primeiro momento, os mapas de suscetibilidade de 2020 e 2021, visto que nesses anos a EEJ foi atingida por eventos severos de incêndios durante a época da estiagem, mais especificamente entre os meses de agosto e de setembro. A Figura 22 apresenta os mapas das suscetibilidades à incêndios florestais obtidos através da função Weighted Sum.

Figura 22: Mapas de suscetibilidades à incêndios florestais obtidos por sobreposição de médias ponderadas entre os mapas de biomassa seca e de fitofisionomias.

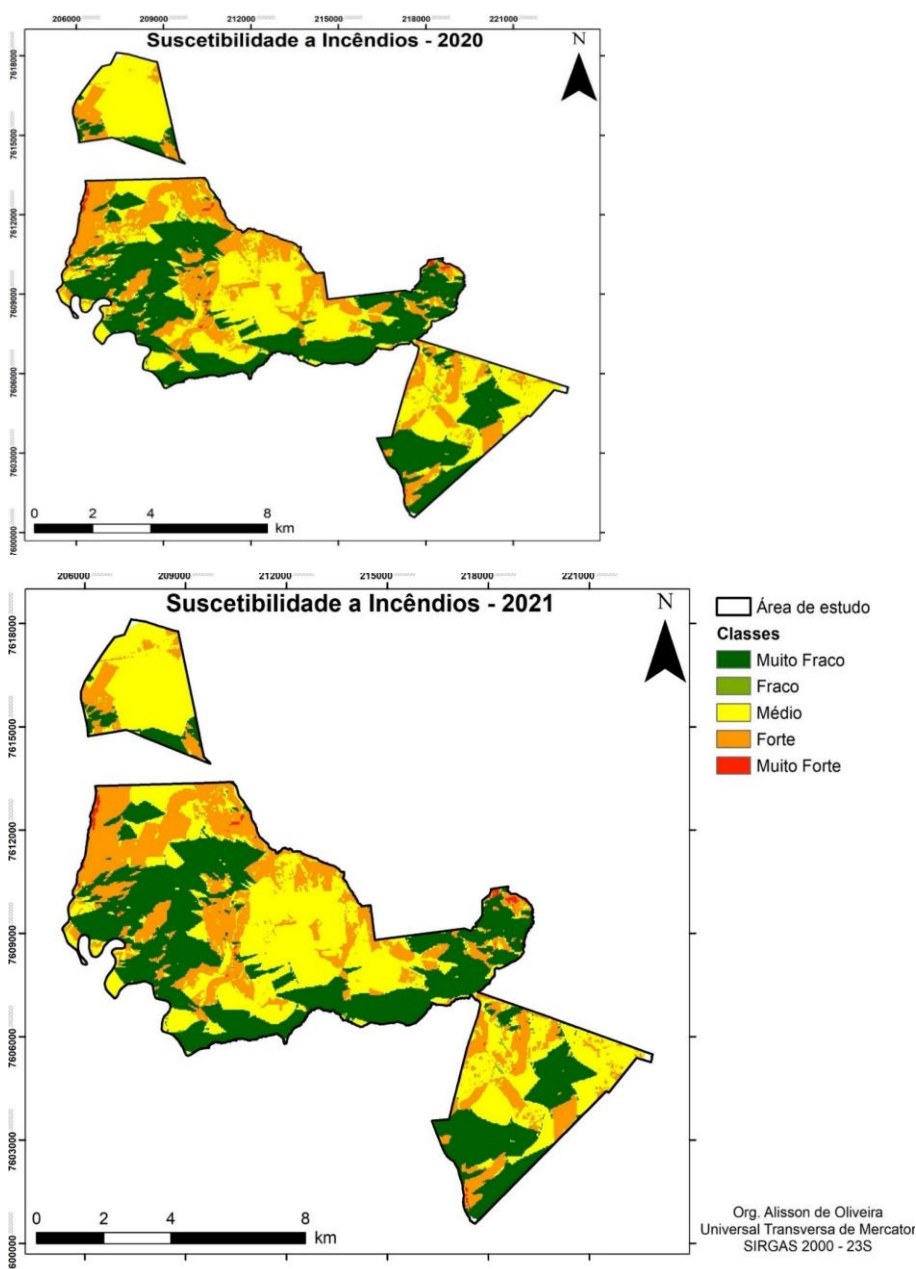


Org. Alisson de Oliveira
Universal Transversa de Mercator
SIRGAS 2000 - 23S

Fonte: O autor (2022).

A Figura 23 apresenta, por classe de suscetibilidade, os mapas fatiados de 2020 e 2021. Constata-se, pela análise visual, que apesar de serem semelhantes, é possível identificar, no mapa de 2020, uma concentração maior da classe Forte na região que se localiza no centro da principal gleba da UC. Essas manchas classificadas com suscetibilidade forte podem representar áreas que até 2020 encontravam-se mais adensadas, e a perda desses fragmentos, que em 2021 são classificadas com suscetibilidade média, talvez seja explicada pelo incêndio de 2020, que atingiu intensamente essa localidade.

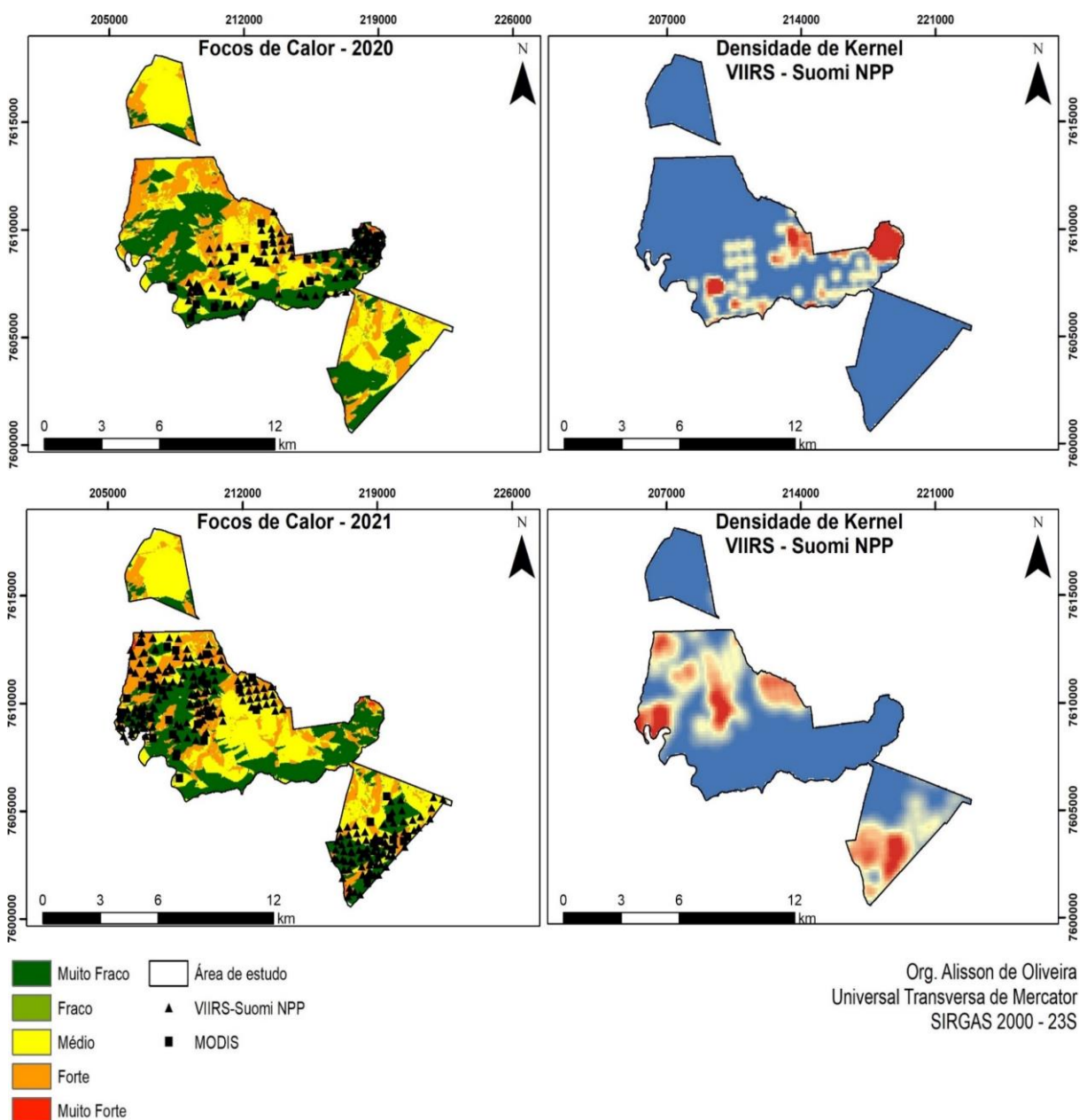
Figura 23: Mapas de suscetibilidade à incêndios florestais dos anos de 2020 e 2021.



Fonte: O autor (2022).

Para ilustrar o comportamento e os impactos dos incêndios de 2020 e 2021 foram obtidos do site FIRMS, da NASA, os focos de calor em arquivos vetoriais concernentes aos anos em questão. O FIRMS realiza o monitoramento de focos de calor em nível global a partir da utilização dos dados adquiridos pelos sensores MODIS e VIIRS. A Figura 24 contém os focos de calor sobrepostos sobre os mapas de suscetibilidade dos dois anos, além dos mapas gerados com base nos arquivos vetoriais que elucidam a densidade dos focos de calor, por meio da análise da densidade de Kernel.

Figura 24: Focos de calor identificados pelos sensores MODIS e VIIRS referentes aos incêndios florestais de 2020 e 2021.



Org. Alisson de Oliveira
 Universal Transversa de Mercator
 SIRGAS 2000 - 23S

Fonte: O autor (2022).

A análise dos focos de calor de 2020 evidenciam que o incêndio atingiu exclusivamente a gleba central da UC, espalhando-se pelas regiões correspondentes aos limites orientais e meridionais com uma considerável densidade na área *core* dessa gleba, que é a maior da EEJ. A área *core* corresponde, majoritariamente, aos fragmentos classificados entre média e forte suscetibilidade. A análise da Tabela 5 permite constatar que do total dos 25 focos de calor identificados pelo sensor MODIS, 14 foram sobre áreas de suscetibilidade muito fraca, sete foram sobre áreas de média suscetibilidade e quatro foram sobre áreas de forte suscetibilidade. No que tange aos 94 focos de calor do VIIRS, 42 foram identificados em áreas de suscetibilidade muito fraca e 51 focos correspondem à soma das áreas de média e forte suscetibilidade. Em 2020 o incêndio aconteceu entre os dias 31 de agosto e 9 de setembro.

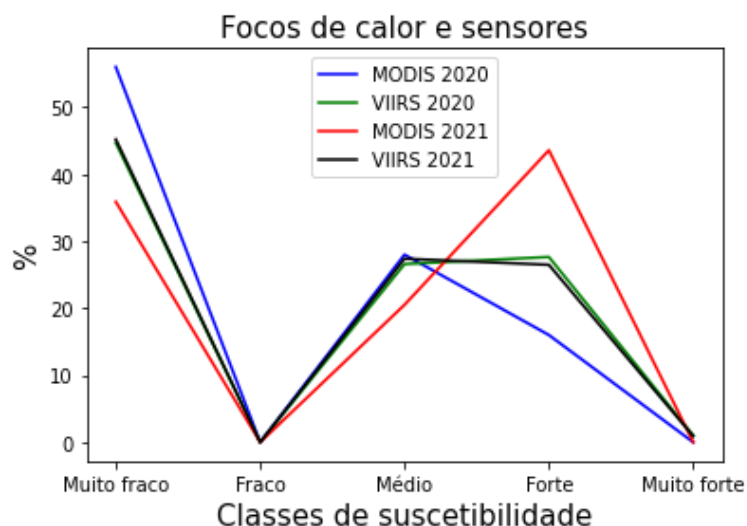
Tabela 5: Focos de calor identificados na EEJ em 2020 e 2021.

Classe	Quantidades de focos de calor			
	Modis 2020	VIIRS 2020	Modis 2021	VIIRS 2021
1	14	42	14	99
2	0	0	0	0
3	7	25	8	60
4	4	26	17	58
5	0	1	0	2
Total	25	94	39	219

Constata-se, a partir da análise do comportamento do fogo de 2021, uma dinâmica diferente, pois os focos de calor se concentraram em áreas não atingidas pelo incêndio de 2020. Assim, o mapa da densidade de Kernel, elaborado com os dados do VIIRS, ilustra uma concentração dos focos de calor à oeste e à norte da maior gleba da EEJ, espalhando-se à área *core* no lado oposta ao atingido em 2020. Além disso, constata-se que a gleba à sudeste da EEJ também foi fortemente atingida. De fato, em 2021 dois eventos de incêndios ocorreram sobre a UC, o primeiro, que aconteceu entre 19 de agosto a 27 de agosto, atingiu a gleba central, e o segundo evento, que ocorreu entre 5 de setembro a 7 de setembro, atingiu a gleba à sudeste. A Tabela 5 mostra que dos 39 focos de calor do MODIS, 14 foram identificados em áreas de muito fraca suscetibilidade, enquanto as áreas de média e forte suscetibilidade contabilizaram, juntas, 25 focos, dos quais 17 foram sobre áreas de forte suscetibilidade. O VIIRS identificou 219 focos de calor em 2021, sendo 99 sobre áreas de muito fraca suscetibilidade, 60 em áreas de média suscetibilidade e 58 sobre áreas de forte suscetibilidade.

A Figura 25 retrata a porcentagem dos focos de calor identificados para cada classe de suscetibilidade de acordo com os dois sensores nos anos de 2020 e 2021.

Figura 25: Percentual de focos de calor detectados sobre as classes de suscetibilidade à incêndios florestais nos anos de 2020 e 2021.

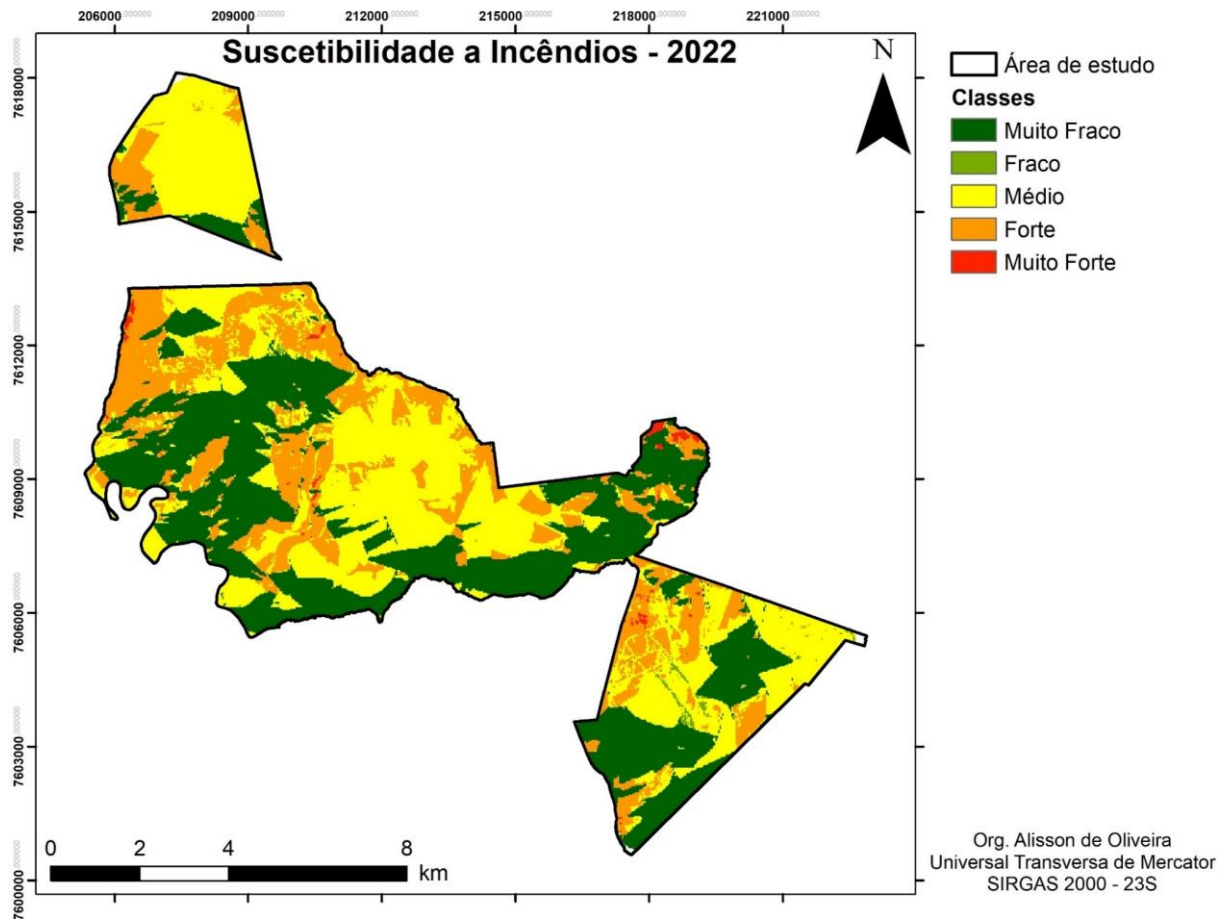


No que se refere ao MODIS, 56% dos focos identificados em 2020 concentraram-se em áreas de muito fraca suscetibilidade, enquanto 28% corresponderam à classe de média suscetibilidade e 16% à classe de forte suscetibilidade. Em 2021, 35,89% dos focos de calor ocorreram sobre áreas de muito fraca suscetibilidade, 20,51% em áreas de média suscetibilidade e 43,58% em áreas de forte suscetibilidade. Assim, percebe-se que o mapa de suscetibilidade à incêndios florestais de 2021 retornou uma concentração de focos de calor mais condizente com o esperado em relação ao mapa de 2020, visto que em 2021 a classe forte concentrou o maior número de focos ativos.

Para o VIIRS é possível constatar que em 2020 a classe de muito fraca suscetibilidade contabilizou 44,68% dos focos identificados, enquanto a classe de média suscetibilidade representou 26,59% dos focos ativos e a classe de forte suscetibilidade representou 27,65%. Em 2021, 45,2% dos focos foram constatados na classe de muito fraca suscetibilidade, 27,39% na classe de média suscetibilidade e 26,48% na classe de forte suscetibilidade. Caso se considere a somatória dos focos de calor ocorridos nas classes de média e forte suscetibilidade, tem-se que, em 2020, 54,25% concentraram-se nessas classes, e em 2021 a porcentagem foi de 53,87%.

A Figura 26 mostra o mapa de suscetibilidade à incêndios florestais para o ano de 2022.

Figura 26: Mapa de suscetibilidade à incêndios florestais para o ano de 2022.



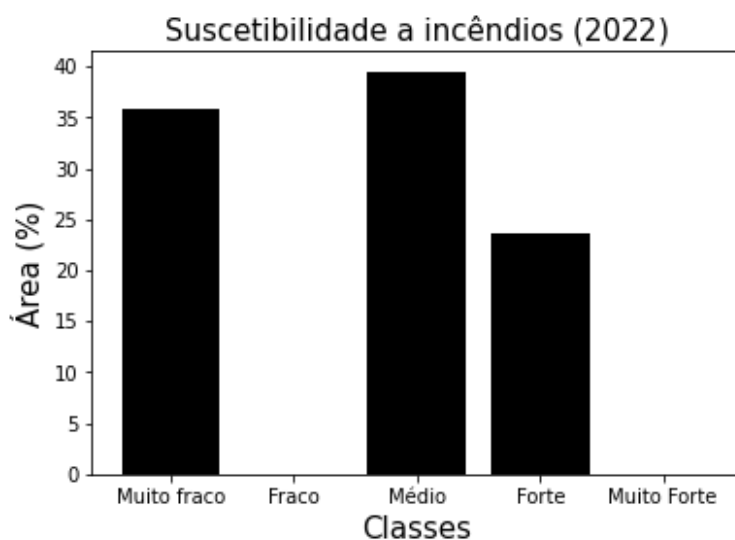
Fonte: O autor (2022).

A Estação Ecológica de Jataí detém áreas classificadas com suscetibilidade muito fraca à incêndios, média e forte, sendo que as áreas correspondentes às classes média e forte estão localizados na região central e norte da gleba ao sul, nas regiões centrais e à norte da principal gleba e quase que ocupam integralmente à gleba à noroeste, que não foi atingida por incêndios nos anos de 2020 e 2021, e, portanto, pode-se esperar que essa gleba é composta por uma vegetação mais densa e é, atualmente, uma das áreas mais suscetíveis à incêndios florestais dentro da Unidade de Conservação, requerendo, por parte da gestão da UC, atenção especial. Com base nos incêndios de 2020 e 2021, pode-se identificar que a EEJ apresenta quatro áreas prioritárias de atenção devido à suscetibilidade ao fogo, sendo a área *core* e a área norte da gleba central e a gleba à sudeste, onde há preponderância da classe de

média suscetibilidade. A quarta área é justamente a gleba situada à noroeste, onde prepondera, atualmente, a classe de média suscetibilidade.

A Figura 27 apresenta o gráfico com a representatividade em porcentagem de extensão em hectares das classes de suscetibilidade.

Figura 27: Representatividade em hectares das classes de suscetibilidade à incêndios florestais para o ano de 2022.



Atualmente, 35,8% da UC está classificada na classe de muito fraca suscetibilidade à ocorrência de incêndios, enquanto a classe de média suscetibilidade, que é a mais representativa, ocupa 39,5%, e a classe de forte suscetibilidade à incêndios se estende por 23,6%. Apenas 0,053% da UC está classificada em fraca suscetibilidade e 0,057% em muito forte suscetibilidade.

4 Considerações finais

Conclui-se, pela análise dos mapas de suscetibilidade dos anos de 2020 e 2021, que a classe de muito fraca suscetibilidade apresentou o maior número de focos de calor identificados pelos sensores MODIS e VIIRS, excetuando-se os focos de calor captados pelo MODIS em 2021. Constata-se, também, que essas três classes são preponderantes dentro da Estação Ecológica de Jataí, uma vez que a presença do Cerradão e o relevo consideravelmente plano podem exercer influências para a categorização das áreas de muito fraca suscetibilidade.

As classes de orientação das encostas e as categorias de NDVI podem exercer influências sobre as áreas de média e forte suscetibilidade, pois, de fato, 32% da UC

são áreas com as faces voltadas ao noroeste e à oeste, enquanto 20,89% do relevo está orientado ao norte, classe de maior influência sobre o ressecamento vegetal, enquanto que a vegetação, por mais que seja de Cerradão, com menor propensão ao fogo do que outras fitofisionomias do Cerrado, é, no geral, mais denso por se tratar de uma fitofisionomia tipicamente florestal.

A análise do percentual ocupado pelas classes de suscetibilidade à incêndios florestais do ano de 2022 evidencia que 38,5% é representado pela classe de média suscetibilidade, seguida pela classe de fraca suscetibilidade e pela classe de forte suscetibilidade. De forma geral, o comportamento do fogo em 2020 e em 2021 permite compreender que existem alguns *hotspots* prioritários de atenção no interior da unidade de conservação, sendo elas a gleba à sudeste, a área *core* e a área norte da gleba principal e, principalmente, a gleba à noroeste, pois esse local não foi atingido pelos incêndios recentes e, portanto, espera-se que apresente um alto adensamento vegetal.

Os produtos cartográficos gerados para os anos de 2020 e 2021 tiveram o intuito de analisar onde os focos de calor se concentraram de acordo com as diferentes classes de suscetibilidade, estas categorizadas a partir das variáveis selecionadas para a construção do modelo. O mapa referente ao ano de 2022, foi desenvolvido com base nas mesmas variáveis utilizadas para o desenvolvimento dos mapas anteriores, excetuando-se a variável NDVI, que foi calculada para o referido ano. Dessa forma, sobre este último resultado, tratando-se de teste iniciais, observa-se a necessidade de novas avaliações com base na variação dos valores de *gamma*, para assim ser possível a mensuração das incertezas associadas aos produtos de diferentes cenários.

5 Referências

ASSIS, F. R. V. et al. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 133-142, 2013.

DATAGEO – SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA. Base Territorial Ambiental Unificada. Disponível em: <datageo.ambiente.sp.gov.br>. Acesso em: 17 mar. 2020.

DURIGAN, G *et al.* No net loss of species diversity after prescribed fires in the Brazilian savanna. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 13, p. 1-15, 2020.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop: Release 10**. Redlands, CA. 2011.

FIDELIS, A *et al.* The year 2017: megafires and management in the Cerrado. **Fire**, v. 1, n. 49, p. 2-11, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Portal de Mapas**. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br>. Acesso em: 22 mai. 2022.

JUVANHOL, R. S. **Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais**. 2014. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro, 2014.

PIVELLO, V. R *et al.* Understanding Brazil's catastrophic fires: causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, July-September, p. 233-255, 2021.

SANTANA, C. J. **O uso da lógica Fuzzy no estudo das áreas potenciais ao processo erosivo na bacia do Ribeirão Cambé, Londrina - PR**. 2014. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, 2014.

SANTOS, L. A. C; MIRANDA, S. C; SILVA-NETO, C. M. Fitofisionomias do Cerrado: definições e tendências. **Élisée, Rev. Geo. UEG**, v. 9, n. 2, p. 1-30, 2020.

SÃO PAULO. **Plano de Manejo da Estação Ecológica de Jataí**. São Paulo, 302 p. 2013.