

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS - MG

Instituto de Ciências da Natureza
Curso de Geografia - Bacharelado

Guilherme da Silva Rios

**Regeneração pós-fogo de fitofisionomias de Cerrado no
Parque Nacional da Serra da Canastra**



Alfenas - MG

2022

Guilherme da Silva Rios

**Regeneração pós-fogo de fitofisionomias de Cerrado no
Parque Nacional da Serra da Canastra**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de **Bacharel** em Geografia, pelo Instituto de Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas - MG, sob orientação do Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Latuf.

Alfenas - MG
2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Latuf
Universidade Federal de Alfenas
(Orientador)

Prof. Dr. Roberto Marques Neto
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Rodrigo José Pisani
Universidade Federal de Alfenas

Alfenas (MG), 07/03/2022

Resultado

Epígrafe

“A crise ambiental não é crise ecológica, mas crise da razão. Os problemas ambientais são, fundamentalmente, problemas do conhecimento. Daí podem ser derivadas fortes implicações para toda e qualquer política ambiental, que deve passar por uma política do conhecimento, e também para a educação. Aprender a complexidade ambiental não constitui um problema de aprendizagens do meio, e sim de compreensão do conhecimento sobre o meio” (LEFF, 2001, p. 217).

Dedicatória

Dedico este trabalho a todas as pessoas que, de algum modo, me deram forças para que tal sonho se tonasse possível. Obrigado a minha família, pelo apoio incondicional e pela paciência. Sem vocês nada disso seria possível! (T.U.C.).

Agradecimentos

Nesta, venho expressar toda minha gratidão à entidade que me formou, e dizer que tudo passa, inclusive momentos de incerteza como esses últimos em que vivemos. Obrigado, Unifal-MG! Também não poderia me esquecer de meu orientador, Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Latuf, e demais professores, que forneceram todo suporte intelectual, para que aos poucos, eu me tornasse o geógrafo que sou hoje.

Resumo

O Brasil apresenta variações de biomas, com vasto mosaico vegetacional resultante das diferentes condições climáticas, pedogeomorfológicas e antropogênicas. Nas últimas décadas, condições climáticas extremas e pressão antrópica sobre áreas florestais para atividades agropastoris e minerárias, contribuíram para que a ocorrência de incêndios florestais aumentasse em todo território brasileiro, inclusive em áreas de proteção. O Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), localizado no estado de Minas Gerais, sofre com incêndios florestais recorrentes e degradação ambiental. Dessa maneira, o presente trabalho tem por objetivo analisar espectro-temporalmente a regeneração pós-fogo de fitofisionomias de Cerrado inseridas no PNSC, entre 2013 e 2020, por meio da interpretação do perfil espectro-temporal via imageamento orbital. Para a obtenção do índice espectral, utilizou-se de processamento em nuvem realizado na plataforma Google Earth Engine, com produtos do satélite Landsat 8 (sensor OLI), enquanto para a obtenção das cicatrizes e mapa de recorrência de incêndios recorreu-se aos produtos MapBiomas Fogo. Os resultados apontam que a fitofisionomia Cerrado necessita de 6 meses no geral, 6,4 meses nas amostras alocadas em áreas de baixa recorrência e 5,6 meses em alta recorrência. Durante as análises pluviométricas, observou-se que a sazonalidade climática anual interfere no comportamento do NDVI nas 3 fitofisionomias, chegando por vezes, a induzir a ocorrência de incêndios. As análises demonstraram que o NDVI é capaz de detectar a diferença sazonal do vigor vegetativo ao longo dos meses, entre as estações seca e chuvosa, bem como entre a vegetação pós-fogo e não queimada.

Palavra-chave: Incêndios Florestais, Sensoriamento Remoto, Google Earth Engine, MapBiomas Fogo, NDVI.

Abstract ou Resumen

Brazil presents variations in biomes, with a vast vegetation mosaic resulting from different climatic, pedogeomorphological and anthropogenic conditions. In the last decades, extreme climatic conditions and human pressure on forests for agropastoral and mining activities, territory for the occurrence of forest fires increased throughout Brazil, including in protected areas. The Serra da Canastra National Park (PNSC), located in the state of Minas Gerais, suffers from recurrent forest fires and environmental degradation. In this way, the temporal-spectrum analysis is presented through the temporal-spectrum interpretation through the interpretation of the Cerrado profile, between 2013 and the temporal-spectrum, between 2013 and 2020. To maintain the spectral index, we used of cloud processing carried out in Google Earth Engine, with products from the Landsat 8 satellite platform (OLI sensor), while for the maintenance of scars and recurrence of fires, MapBiomas Fogo products are used. The results indicate that the Cerrado phytophysiognomy needs 6 months in general, 6.4 months in areas of low recurrence and 5.6 months in high recurrence. During the occurrence of pluviometric occurrences, the seasonality of the occurrence of annual occurrences can interfere with the behavior of the physiognomy in the 3 phytonomies, arriving at an occurrence of the occurrence of annual occurrences. The surveys as well as long-term showed that the NDVI is able to detect the difference in seasonal vegetative vigor to months, between dry and rainy seasons, between dry and rainy seasons, between post-fire and non-burning.

Keywords ou Palabra-clave: Forest Fires, Remote Sensing, Google Earth Engine, MapBiomas Fogo, NDVI.

Lista de figuras

Figura 01 – Regiões do espectro eletromagnético.....	27
Figura 02 – Desequilíbrio Climático de Bertrand.....	36
Figura 03 – Mapa de localização do Parque Nacional da Serra da Canastra.....	38
Figura 04 – Mapa fitofisionômico do Parque Nacional da Serra da Canastra.....	41
Figura 05 – Fluxograma metodológico.....	38
Figura 06 – Distribuição espacial das cicatrizes de incêndio no PNSC (2013 a 2020).....	48
Figura 07 – Recorrência de incêndios no PNSC (2013 a 2020).....	49
Figura 08 – Mapa de recorrência de incêndio na fitofisionomia Campo Limpo.....	51
Figura 09 – Mapa de recorrência de incêndio na fitofisionomia Campo Rupestre.....	53
Figura 10 – Mapa de recorrência de incêndio na fitofisionomia Cerrado.....	54
Figura 11 – Mapa de localização das amostras.....	55
Figura 12 – Fitofisionomia Campo Limpo no PNSC.....	60
Figura 13 – Resultado do teste t para amostras de baixa e alta recorrência na fitofisionomia Campo Limpo.....	63
Figura 14 – Fitofisionomia Campo Rupestre no PNSC.....	72
Figura 15 – Resultado do teste t para amostras de baixa e alta recorrência na fitofisionomia em Campo Rupestre.....	73
Figura 16 – Fitofisionomia Cerrado no PNSC.....	82
Figura 17 – Resultado do teste t para amostras de baixa e alta recorrência em na fitofisionomia Cerrado.....	84

Lista de quadros

Quadro 01 – Campo Limpo Baixa Recorrência.....	64
Quadro 02 – Campo Limpo Baixa Recorrência.....	65
Quadro 03 – Campo Limpo Baixa Recorrência.....	66
Quadro 04 – Campo Limpo Alta Recorrência.....	67
Quadro 05 – Campo Limpo Alta Recorrência.....	69
Quadro 06 – Campo Limpo Alta Recorrência.....	70
Quadro 07 – Campo Rupestre Baixa Recorrência.....	74
Quadro 08 – Campo Rupestre Baixa Recorrência.....	76
Quadro 09 – Campo Rupestre Baixa Recorrência.....	77
Quadro 10 – Campo Rupestre Alta Recorrência.....	78
Quadro 11 – Campo Rupestre Alta Recorrência.....	80
Quadro 12 – Campo Rupestre Alta Recorrência.....	81
Quadro 13 – Cerrado Rupestre Baixa Recorrência.....	84
Quadro 14 – Cerrado Rupestre Baixa Recorrência.....	86
Quadro 15 – Cerrado Rupestre Baixa Recorrência.....	87
Quadro 16 – Cerrado Rupestre Alta Recorrência.....	89
Quadro 17 – Cerrado Rupestre Alta Recorrência.....	90
Quadro 18 – Cerrado Rupestre Alta Recorrência.....	91

Lista de tabelas

Tabela 01	– Classes de recorrência para cada fitofisionomia de Cerrado do PNSC.....	44
Tabela 02	– Coordenadas das amostras.....	56
Tabela 03	– Número de dias necessários à regeneração em Campo Limpo no PNSC.....	62
Tabela 04	– Número de dias necessários à regeneração em Campo Rupestre no PNSC.....	72
Tabela 05	– Número de dias necessários à regeneração em Cerrado no PNSC.....	83

Lista de Gráficos

Gráfico 01 – Estimativa de área queimada no PNSC entre 2013 e 2020.....	47
Gráfico 02 – Estimativa de área queimada na fitofisionomia Campo Limpo (2013 e 2020).....	50
Gráfico 03 – Estimativa de área queimada na fitofisionomia Campo Rupestre (2013 e 2020).....	52
Gráfico 04 – Estimativa de área queimada na fitofisionomia Cerrado (2013 e 2020.....	
Gráfico 05 – Precipitação média mensal do PNSC (2013 a 2021).....	58
Gráfico 06 – Precipitação média anual entre 2013 e 2021.....	59
Gráfico 07 – Correlação entre cicatrizes de incêndios e precipitação no PNSC (2013 a 2020).....	60

Lista de siglas

APP – Área de Preservação Permanente

AR – Afloramento Rochoso

ARD – Analysis Ready Data

ASPRS – American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

CHIRPS – Climate Hazards Group InfraRed Precipitation

CL – Campo Limpo

CR – Campo Rupestre

DF – Distrito Federal

DNBR – Differenced Normalized Burn Ratio

ESA – Agência Espacial Européia

EVI – Índice de Realce da Vegetação

GEE – Google Earth Engine

IAF – Índice de Área Foliar

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF – Instituto Nacional de Florestas

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MVC – valor máximo composto

NBR – Normalized Burn Ratio

NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

PNSC – Parque Nacional da Serra da Canastra

SAVI – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

SLAR – Side-Looking Airborne Radar

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

UC – Unidade de Conservação

UICN – União Internacional para a Conservação da Natureza

UNIFAL – Universidade Federal de Alfenas

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 PROBLEMA.....	14
3 HIPÓTESE.....	14
4 OBJETIVOS.....	14
4.1 Objetivo geral.....	14
4.2 Objetivos específicos.....	14
5 JUSTIFICATIVA.....	14
6 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
6.1. O conceito de natureza e sua abordagem nos estudos geográficos.....	18
6.2. As unidades de conservação no Brasil.....	22
6.3. Sensoriamento remoto da vegetação.....	26
6.4. Sucessão ecológica e regeneração da vegetação.....	34
7 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
8 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
9 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
9.1. Distribuição espaço-temporal de incêndios no PNSC.....	46
9.2. Regeneração espectral da vegetação no PNSC.....	55
9.2.1. Regeneração em Campo Limpo.....	60
9.2.2. Regeneração em Campo Rupestre.....	71
9.2.3. Regeneração em Cerrado.....	82
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS... ..	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

1. INTRODUÇÃO

Por se tratar de um país de escala continental, o Brasil apresenta variações de biomas, e até mesmo heterogeneidade dentro desses biomas, devido às diferentes condições climáticas, pedogeomorfológicas e antropogênicas. O mosaico vegetacional resultante e suas dinâmicas, com diferentes escalas e interrelações, faz com que a pesquisa realizada *in situ* se torne mais difícil, principalmente, em tempos de pandemia. Nesse sentido, o monitoramento orbital da vegetação é um método eficaz, que possibilita a observação de extensas áreas geográficas de maneira uniforme e contínua.

Nas últimas décadas, condições climáticas extremas, pressão antrópica sobre áreas florestais para atividades agropastoris e minerárias, somadas à negligência, ausência e insuficiência por parte do poder público em diversas ocasiões, contribuíram para que a ocorrência de incêndios florestais aumentasse em todo território brasileiro, inclusive em áreas de proteção, como nas Unidades de Conservação.

Inserido no Bioma Cerrado, o Parque Nacional da Serra da Canastra é uma Unidade de Conservação Federal, localizada em Minas Gerais, que apresenta fragilidades ambientais como a presença de incêndios florestais frequentes, contemplando três fitofisionomias de Cerrado em seu território. Os impactos causados por tal distúrbio trazem à tona, a necessidade de se estudar a relação do incêndio com as diferentes fitofisionomias e suas consequências.

Um dos métodos utilizados para a detecção de incêndios são os índices espectrais, pois possuem expressivo potencial no que diz respeito ao monitoramento da vegetação e, partir deles, detectar, qualificar e quantificar com maior precisão tais características.

Por meio da capacidade do sensoriamento remoto em obter informações sobre áreas afetadas pelo fogo de forma contínua, em diferentes escalas, a extração de séries temporais torna-se possível. Nesse contexto, a utilização de séries temporais em áreas afetadas pelo fogo fornece não só aspectos como área queimada, quantidade de cicatrizes e severidade, mas também aspectos posteriores à ocorrência, que viabilizam a análise de processos de regeneração vegetal.

Todo o processamento do presente estudo está pautado na utilização de produtos MapBiomas Fogo (versão beta), em imagens Landsat 8 (sensor OLI) para obtenção de índice espectral (NDVI) processadas em plataforma de computação em nuvem e, na estimativa do tempo de regeneração de amostras alocadas nas fitofisionomias de Cerrado do PNSC, por meio de análise de perfis espectro-temporais, aliadas à análise estatística, para comparar áreas que apresentam baixa e alta recorrência de incêndios.

2. PROBLEMA

A regeneração pós-fogo de formações vegetais de Cerrado no Parque Nacional da Serra da Canastra pode ser detectada, por meio do processamento de índices espectrais via imageamento orbital?

3. HIPÓTESE

Incêndios florestais causam a queima de biomassa e, a análise temporal de índices espectrais de condições pré e pós-fogo por imageamento orbital, permite a verificação do processo de regeneração de áreas com cicatrizes de queimadas.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Avaliar a regeneração vegetativa pós-fogo das fitofisionomias de Cerrado no Parque Nacional da Serra da Canastra entre 2013 e 2021, por meio da análise do índice de vegetação por diferença normalizada, subsidiando ações voltadas à conservação da Natureza.

4.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar a dinâmica espaço-temporal das cicatrizes de queimadas;
- Selecionar amostras das fitofisionomias de Cerrado;
- Processar perfis espectro-temporais a partir da plataforma *Google Earth Engine*;
- Avaliar a regeneração de fitofisionomias do Cerrado em condições de pós-fogo.

5. JUSTIFICATIVA

O bioma do Cerrado tem uma extensão de aproximadamente 200 milhões de hectares, e é o segundo maior bioma da América do Sul em extensão e biodiversidade, ficando atrás apenas da Amazônia (MMA, 2018), entretanto é o maior produtor de grãos e, por isso, apresenta severos danos antrópicos (SANO, 2007). Culturas agrícolas presentes em tal bioma correspondem a 40% da produção nacional, além da considerável participação na criação de carnes de corte (BOLFE et al., 2020).

O grau de endemismo e raridade são importantes critérios na determinação de áreas com potencial para conservação e devem ser uma preocupação nos estudos de flora e fauna regionais

(ROMERO, 1999). A adoção de medidas para preservação e manejo racional dos recursos existentes, no entanto, depende de um maior conhecimento científico sobre os variados fatores envolvidos na ecologia da região.

Para Bolfe et al. (2020), devido sua abrangência no âmbito territorial que envolve 12 estados mais o Distrito Federal (DF), o Cerrado apresenta marcantes características econômicas, sociais e ambientais, fortalecendo ainda mais a necessidade de preservação e manutenção de sua biodiversidade, pois conta com um expressivo gradiente vegetacional entre árvores, arbustos, subarbustos e estruturas herbáceas (EITEN, 1972), além de abrigar aproximadamente 12.300 espécies de plantas (SANO et al., 2008).

Suas fitofisionomias são constantemente modificadas e adaptadas ao fogo, devido a sazonalidade climática bem definida, pois, em períodos com baixa disponibilidade hídrica, o fogo surge como uma das resultantes de tal fenômeno. Além do fogo natural no Cerrado, que é um fator antigo e característico de tal bioma, existe também incêndios de cunho antrópico, geralmente para renovação de pastagens (SANO, 2007). Entre 1985 a 2019, a vegetação nativa do bioma Cerrado passou de 135 milhões para 106 milhões de hectares, enquanto a área ocupada com agricultura e pastagens passou de 62 milhões para 90 milhões de hectares (MAPBIOMAS, 2020).

O fogo é um fenômeno marcante no bioma e, segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a média mensal de focos de calor detectados pelo satélite de referência no período de 1998 até julho de 2021 foi de 68.440, com máxima de 137.918 para o ano de 2010 (INPE, 2021).

Por estar inserido no domínio climático Tropical, apresenta duas estações bem definidas, sendo a chuvosa de outubro a abril, contendo até 90% das chuvas anuais e a seca, de maio a setembro. O Cerrado apresenta vegetação com variadas fitofisionomias, sendo elas resultantes de fatores como a condição pedoclimática e o próprio fogo natural. Dentre as fitofisionomias do Cerrado estão o campo limpo, o campo sujo, campo cerrado, cerrado *stricto sensu*, cerradão e as veredas (COUTINHO, 2006).

A criação de unidades de conservação (UCs) é considerada como a principal ação de governo, cujo objetivo é a preservação e conservação da biodiversidade. A delimitação de áreas prioritárias à preservação de seus elementos naturais evoluiu ao longo da história, a partir de suas raízes em atos e práticas das primeiras sociedades humanas, cujo objetivo principal era a simples proteção de recursos envolvendo animais, água, plantas e outras matérias-primas (MILLER, 1997).

Enquadra-se neste contexto, o Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), criado em 1972 através do Decreto n.º 70.355 de 3 de abril. O parque contribui com a proteção de aproximadamente 3,8% da área protegida de Cerrado sob as UCs federais e tem área de 197.971,96 hectares (BRASIL, 2005).

O parque apresenta formações campestres nos interflúvios e formações florestais nos fundos de vales (SANTOS, 2014). Presente no interior do parque, localiza-se a região de nascentes que dão origem ao rio São Francisco, sendo considerado o rio de integração nacional, evidenciando ainda mais a necessária proteção da área (ANA, 2002) e, devido sua função social e ambiental, a preservação das nascentes presentes no interior do parque é de fundamental importância.

O plano de manejo do PNSC destaca algumas atividades conflitantes tais como: atividades agropecuárias, com uso de insumos agroquímicos sintéticos e manejo inadequado do solo, na área não indenizada; bem como, a ocorrência de incêndios criminosos e queima não controlada; supressão da vegetação nativa e substituição por espécimes exóticas. Um dos principais elementos indutores de distúrbios na região é o fogo e, conforme o plano de manejo, encontra-se frequentemente associado à atividade pecuária, pois com o manejo realizado de forma incorreta para a renovação de pastagens, diversos hectares de campo são queimados todos os anos, por vezes atingindo o interior do PNSC (BRASIL, 2005).

Magalhães (2012) investigou os Relatórios de Ocorrência de Incêndios Florestais do Parque Nacional Serra da Canastra no período de 1988 a 2008 e constatou que 40,18% dos incêndios acontecem de forma natural por raios, 32,42% por incendiários, apenas 10,50% partem de limpeza de pastagem e 16,89% por causas não identificadas. Analisando a área total queimada, a maior porcentagem tem como responsáveis os incendiários, com 73,75%, seguido dos incêndios por causas naturais com 12,41%, para limpeza de pastagem com 9,31% e 4,53% não identificada.

Uma das variáveis na caracterização da queima de biomassa é a verificação do tamanho da área afetada. Para determinação desta variável é possível utilizar dados oriundos de sensores remotos, que permitem o monitoramento temporal e a espacialização destes eventos (ANDERSON, 2005). Segundo a autora, a detecção de polígonos de cicatrizes de áreas queimadas é realizada por meio de imagens capturadas por sensores em diversas regiões do espectro eletromagnético.

Ao utilizar cenas pré e pós-fogo, por meio da análise de produtos da série histórica do imageamento orbital, é possível diferir imagens de áreas queimadas e não queimadas, via

índices espectrais, pois constituem um método acessível e dinâmico no mapeamento de áreas de vegetação afetadas pelo fogo. Os índices que melhor enfatizam áreas queimadas provêm das regiões do espectro eletromagnético vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio (PEREIRA, 2016).

Nesse sentido, a utilização de índices de vegetação como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Realce da Vegetação (EVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) entre outros, possibilitam a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do espectro eletromagnético do infravermelho, que pode fornecer importantes dados sobre o índice da porcentagem de clorofila nas plantas (BORATTO, 2013).

O uso de produtos adquiridos via sensoriamento remoto permite a obtenção de dados que contribuem na análise do estado da cobertura vegetal, antes e após a ocorrência de alguma perturbação natural ou antrópica, como o fogo, por exemplo. Por outro lado, através dos níveis de reflectância das folhas é possível avaliar se a região conseguiu se recuperar do distúrbio e estimar o tempo de recuperação (OLIVEIRA, 2017).

Os índices de vegetação são provavelmente, a maneira mais simples e eficiente de se realçar a resposta da vegetação à radiação eletromagnética (FERREIRA, 2008). Pereira et al. (2016) avaliaram índices espectrais e sua interação com o Cerrado e concluíram que, em áreas queimadas e não queimadas, os índices espectrais que obtiveram maior capacidade de diferenciar queimadas de outros alvos, são aqueles que utilizam as bandas do infravermelho de onda curta, como o *Normalized Burn Ratio* (NBR), por exemplo.

Estudos recentes têm utilizado diferentes produtos orbitais, como a série Landsat, (FRANKS et al., 2013; TONBUL et al., 2016), Sentinel-2 MSI (STANKOVA et al., 2018; AMOS et al., 2019), MODIS (LANDI et al., 2017) e SPOT-VEGETATION (LHERMITTE et al., 2011), para analisar a recuperação da vegetação pós-incêndio. Tais estudos adotaram diferentes técnicas e metodologias no processamento de imagens, tais como de classificação de imagens, análise de mistura espectral e índices de vegetação (FRANKS et al., 2013; AU YEUNG et al., 2018).

O monitoramento da dinâmica de regeneração da cobertura vegetal no período pós-incêndio é crucial, tanto para a estimativa dos povoamentos florestais, quanto para o manejo florestal. Segundo Lhermitte et al. (2011), além dos diferentes efeitos nas escalas espaciais, o impacto temporal dos incêndios também pode variar consideravelmente, pois em diferentes

fitofisionomias há diferença expressiva no período necessário para sua recuperação (NEPSTAD et al., 1999; ECKHARDT et al., 2000).

O conhecimento sobre a regeneração da vegetação é, portanto, essencial para estimar os efeitos do fogo na dinâmica ecológica e para entender as interações da ecologia do fogo. Portanto, pretende-se com o presente trabalho, avaliar a regeneração vegetativa pós-fogo do Cerrado no Parque Nacional da Serra da Canastra, por meio de índices de vegetação, subsidiando ações voltadas à conservação da Natureza.

6. REFERENCIAL TEÓRICO

6.1. O conceito de natureza e sua abordagem nos estudos geográficos

Torna-se inviável pensar em natureza sem revisar tal conceito cronologicamente, analisando antigas sociedades e alguns marcos históricos, filosóficos e epistemológicos que se relacionam diretamente com o conceito de natureza.

Segundo Montibeller (2004), a primeira utilização do conceito aconteceu em culturas arcaicas, na qual o ser humano era visto como parte de um grande organismo concebido como totalidade divina. Desta maneira, o ser humano era condicionado de acordo com tais histórias e mitologias, orientando-se de acordo com deuses.

As transformações ocorridas na Grécia nos séculos VII e V aC, ocasionaram diretamente no nascimento e na institucionalização da filosofia. A *physis* pré-socrática corretamente traduzida pela palavra “Natureza”, estava mais ligada à cosmologia. Entretanto, a atual concepção da palavra Natureza está bem distante desta, pois era compreendida como “um princípio único que ligava todas as coisas” (SPRINGER, 2010).

Segundo Springer (2010), as transformações ocorridas durante as idades Média e Moderna, transformaram o entendimento sobre o conceito de Natureza, como mostra em seu trabalho:

A transição entre as concepções de mundo predominantes durante a Idade Média e as novas teorias da Idade Moderna, coexiste a acontecimentos como: renascimento cultural, grandes navegações, os descobrimentos e consolidação do capitalismo como principal modo de produção. Neste contexto, tem-se uma série de transformações nas relações entre os homens e entre estes e a Natureza, cuja estrutura é caracterizada ideologicamente por uma nova concepção de universo, de Natureza e consequentemente de ciência (SPRINGER, 2010, p.163).

Retoma-se então correntes da geografia, como as de Friedrich Ratzel e Carl Ritter, que entendiam que o ser humano é fundamental na compreensão do ambiente. A naturalização com

Paul Vidal de la Blache ocorre a partir da preocupação do expansionismo Alemão, que gerou consequências ambientais, pois os recursos naturais atuavam apenas como base para o crescimento da sociedade (ALBUQUERQUE, 2020).

Suertegaray (2021) contribui acerca do conceito de natureza:

A natureza e a nossa própria natureza se transfiguram, porque transfigurar significa, conforme Maffesoli (1995), transformar uma figura em outra. Esta transfiguração, no caso da natureza, muitas vezes, ocorre como subordinação pelos processos sociais de apropriação e de exploração, no contexto político, que norteia as práticas sociais em nossa sociedade. Portanto, no significado de transfiguração subjaz uma relação de poder (SUERTEGARAY, 2021, p.55).

Como exemplo, pode-se relembrar a rápida internacionalização da economia dos Estados Unidos, vencedor do grande conflito mundial, que buscou expandir suas empresas em outros países superprotegendo o seu mercado interno, não se preocupando com os problemas gerados pela exploração dos recursos naturais e humanos. Tal processo é evidenciado por Mendonça (1993):

Em busca do acréscimo da produtividade de matérias-primas muito se destruiu em termos de sociedade e de ambiente dos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, e a industrialização – que neles deveria promover desenvolvimento social – acabou por garantir a situação de dependência atual onde estão presentes desempregos, analfabetismo, êxodo rural, epidemias, violência, subnutrição, degradação ambiental, etc. e onde a luta em defesa do meio ambiente não consegue – e por coerência nem deveria – suplantar lutas por direitos básicos de vida e cidadania (Mendonça, 1993, p.38).

O cenário pós Segunda Guerra Mundial implicou transformações nas categorias social, política, econômica e cultural, que atingiu a Ciência Geográfica e conduz a uma nova forma de tratar os aspectos naturais. Surge então, um movimento de renovação na geografia, que foi causado primeiramente pela alteração da base social que originou os fundamentos da Geografia Tradicional, a burguesia e o capitalismo concorrencial, que haviam sido derrubados pelo capitalismo monopolista e pela ação do Estado no planejamento econômico e territorial (FARENZENA et al., 2001).

O expressivo crescimento industrial e, conseqüentemente, a concentração populacional em determinadas áreas sem infraestrutura adequada, ocasionou a uma pressão sob o ecossistema local e reduziu ainda mais o nível da qualidade ambiental e de vida, como afirma Andrade (1987).

Torna-se necessário uma rápida passagem pelas correntes da geografia ao longo do século XX, pois em cada uma, a temática ambiental era vista sob perspectivas diferentes, como

no caso da geografia teórica, que engendra pós 2ª Guerra Mundial, com o intuito de planejar o espaço. Nesse ponto, a Natureza é cada vez mais tratada como recurso para uso imediato ou posterior, como já citado anteriormente na explicação sobre expansão territorial (SOUZA, 2007).

Já a Geografia Crítica, adotou o método Marxista, que enxerga o homem como continuação da natureza, e entende o trabalho - ou técnica - como mediador de tal relação (CASSETI, 1991). Com todo o avanço da modernidade relacionado ao progresso na ciência e a valorização do indivíduo e do mercado, torna-se cada vez mais evidente os riscos que isso poderia trazer à sociedade, via escassez de recursos naturais, conflitos em aspectos econômicos e riscos nucleares.

A Geografia Crítica então incorpora uma variedade vasta de temas, incluindo os de cunho ambiental e, segundo Mendonça (1993), passa a ter expressiva importância no final dos anos 1980 após ocorrer a promulgação da Constituição Federal de 1988, que normatiza as atividades relacionadas ao meio ambiente.

Portanto, a partir da evolução do conceito de Natureza e de seu estudo sistemático, a sociedade passa a utilizar o conceito de meio, somado ao de ambiente. De acordo com Moraes (2007) a Geografia começou a ser constituída por um conjunto de premissas, que de certa forma, inicia o pensamento sobre a questão ambiental.

O princípio da unidade terrestre – Terra é um todo que só pode ser compreendido numa visão de conjunto; princípio da individualidade – cada lugar tem uma feição que lhe é própria e que não se reproduz de modo igual em outro lugar; princípio da atividade – tudo na natureza está em constante dinamismo; princípio da conexão – todos os elementos da superfície terrestre e todos os lugares se inter-relacionam; princípio da comparação – a diversidade dos lugares só pode ser apreendida pela contraposição das individualidades; princípio da exaustão – todo fenômeno manifesta-se numa posição variável do planeta; princípio da localização – a manifestação de todo fenômeno é passível de ser delimitada (MORAES, 2007, p. 42-43).

Assumindo uma concepção analítica, que decorre da relação “sociedade x natureza”, assume-se que esta pode ser entendida como uma formação econômico-social, formada ao longo do tempo na sociedade capitalista (SUERTEGARAY, 2021). Para a autora:

Em outras palavras, pretende-se ir além da visão do homem como agente, direta ou indiretamente responsável pela ação de transformação da natureza. Entende-se, essa relação, como decorrente de uma dada formação social (SUERTEGARAY, 1987, p.25).

Assim, o imaginário de que a natureza é algo externo ao homem se inicia e evolui, juntamente com a corrente crítica da Geografia, embasada em Marx e Engels, onde questões

sociais e ambientais estavam diretamente ligadas. Apesar da compreensão natural externa ao homem, via-se, por outro lado, que ela também era fundamental para a existência humana. Suertegaray é fundamental para a compreensão da pauta ambiental no Brasil, desde a década de 1960, e mostra que a Geografia está sim diretamente ligada à questão ambiental e, que o ambiente, não é objeto de estudo para apenas uma ciência (SUERTEGARAY, 2021).

Uma abordagem histórica acerca dos conceitos de ambiente e meio ambiente é ampla, pois é multidisciplinar. Por ambiente, de maneira ampla, entende-se como o

Conjunto de condições que envolvem e sustentam os seres vivos na biosfera, como um todo ou em parte desta, abrangendo elementos do clima, solo, água e de organismos”, e por meio ambiente a “soma total das condições externas circundantes no interior das quais um organismo, uma condição, uma comunidade ou um objeto existe. O meio ambiente não é um termo exclusivo; os organismos podem ser parte do ambiente de outro organismo (ART, 1998 p.583).

Santos (1996), durante discussão acerca do conceito de sustentabilidade, considera que o conceito de ambiente se refere à base física e material da vida, e que a infraestrutura possibilita a sua existência em toda e qualquer escala. Entretanto, alguns autores consideram que natureza não se resume ao físico, pois ela é antes de tudo, um produto ou resultado da percepção que o homem tem sobre ela, enquanto o meio ambiente não se resume ao seu sentido estático, pois é constituído de relações dinâmicas entre seus componentes, bióticos ou abióticos (DULLEY, 2004).

De modo geral, observando-se tanto o senso comum, como o debate intra e extra academia, a ideia geral que se tem é de que a abordagem do meio ambiente está diretamente relacionada à natureza. Mesmo com o aumento das atividades humanas, o ser humano ainda continua ligado a concepção naturalista e, o homem socialmente organizado, ainda se posiciona mais como fator do que elemento do ambiente. Esse processo, cabe ao fato de que devido à concepção naturalista, cria-se uma relação cultural para com o meio ambiente, que exclui a sociedade da situação de sujeito ou componente e a inclui como fator (MENDONÇA, 2015; SUERTEGARAY, 2021).

Pode-se então associar o “início” de crises ambientais com o modo de produção capitalista, principalmente após as décadas de 1960 e 1970, período que ocorreram expressivas mudanças no cenário técnico e econômico. A conferência realizada em 1972 em Estocolmo, colocou de maneira efetiva, o meio ambiente na agenda internacional (PASSOS, 2009).

Com a problemática envolvida acerca dos conceitos ambiente e meio ambiente, inicia-se o emprego da palavra socioambiental, que “mescla” as palavras sociedade e ambiente. A separação sociedade/natureza dificulta o entendimento de vários processos que se originam no

íntimo destes dois conceitos e, a união deles, ajuda no imaginário que somos apenas uma mesma coisa, indispensável na problemática ambiental vigente. O conceito foi atualizado na Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento e Meio Ambiente, também denominada Rio-ECO/92 (MENDONÇA, 1993).

Voltando ao expressivo emprego dos conceitos relacionados às pautas ambientais no último quarto do século XX, associa-se todo o processo com a crise da modernidade e a chegada da pós-modernidade (SOUZA, 2007).

6.2. As unidades de conservação no Brasil

Com a ascensão do modo de produção capitalista transformações políticas, culturais, econômicas, sociais e ambientais se tornaram notáveis e, a utilização exacerbada de recursos naturais como mercadoria, deram início à problemática ambiental (OLIVEIRA, 1998).

Os Estados Unidos da América, após o quase extermínio das comunidades indígenas e a expansão das fronteiras para o oeste no final do séc. XIX, passaram pela primeira vez, a empregar efetivamente o conceito de parque nacional como área natural selvagem. Objetivava-se com isso reservar extensas áreas naturais para fins de recreação, pois com o avanço da antropização, tais áreas eram vistas como refúgios naturais. Em 1872 foi criada a primeira área com a condição de Parque Nacional do mundo, o de *Yellowstone*, tornando-se uma região reservada e proibida de ser colonizada, ocupada ou vendida segundo as leis norte-americanas (BRITO, 2000).

Tais porções territoriais são definidas segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) como sendo:

Uma superfície de terra ou mar consagrada à proteção e manutenção da diversidade biológica, assim como dos recursos naturais e dos recursos naturais associados, e manejada através de meios jurídicos e outros eficazes (UICN, 1994, p. 185).

Para Brito (2000), o pretexto para a criação de áreas protegidas era garantir a socialização do usufruto, por todas e todos, das belezas naturais contidas nessas porções territoriais. Com o passar do tempo, foram incorporados vários outros objetivos, superando a ideia de apenas garantir a segurança da beleza natural, como por exemplo, a introdução do conceito de biodiversidade (GHIMIRE, 1993).

Além do exemplo do parque de *Yellowstone*, outros parques foram criados pelo mundo, como no Canadá (1885), na Nova Zelândia (1894), na Austrália e na África do Sul (ambos em 1898), todos seguindo o modelo de *Yellowstone*, pois tinham em comum o contexto econômico,

político e ambiental (QUINTÃO, 1983). O primeiro parque brasileiro criado foi o Parque Nacional do Itatiaia em 1937, nas montanhas da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro (AXYMOFF, 2011).

O Código Florestal de 1934 fomentou o marco legal dos parques nacionais no Brasil via Decreto 23.793 de 23 de janeiro de 1934. Em seu capítulo primeiro, das disposições gerais, comportam dois artigos dispostos a seguir:

Art. 1º As florestas existentes no território nacional, consideradas em conjunto, constituem bem de interesse comum a todos os habitantes, do país, exercendo-se os direitos de propriedade com as limitações que as leis em geral, e especialmente este código, estabelecem.

Art. 2º Aplicam-se os dispositivos deste código assim às florestas, como às demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem (BRASIL, 1934, p.1)

Sancionada em 15 de setembro de 1965, a Lei nº 4.771 instituía então o “novo” Código Florestal Brasileiro, que estabeleceu limitações ao direito de propriedade no que se refere ao uso e exploração do solo e das florestas. O texto também incluía as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e, posteriormente, após alteração feita em 1986, para áreas de Reserva Legal. Para Laureano et al. (2015):

Enquanto o Código de 1934 tratava de proteger as florestas contra a dilapidação do patrimônio florestal do país, limitando aos particulares o irrestrito poder sobre as propriedades imóveis rurais, o Código de 1965 reflete uma política intervencionista do Estado sobre a propriedade imóvel agrária privada, na medida em que as florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, são consideradas bens de interesse comum a todos os habitantes do País (LAUREANO et al., 2015).

Mercadante (2001) afirma que o processo de criação de unidades de proteção tornou-se mais eficaz a partir da década de 1970, onde constatou-se os primeiros resultados do Código Florestal de 1965. Segundo o autor:

Em 1976 foi concluído o trabalho “Uma Análise de Prioridades em Conservação da Natureza na Amazônia”. Este documento fundamentou a elaboração do “Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil”, cuja primeira etapa foi publicada em 1979 e a segunda em 1982 (MERCADANTE, 2001, p.1).

Assim, a divisão das unidades de proteção em categorias antecede o inciso III do art. 225 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), que garante a criação de espaços territoriais e seus componentes para proteção especial, além de determinar o processo de usufruto ou qualquer outro tipo de alteração. Observa-se a partir desse período, a instituição das áreas de reserva legal como forma de garantir a execução dos objetivos constitucionais de proteção do meio ambiente.

Com isso, a Constituição Federal de 1988 determinou que políticas ambientais abrangessem também os estados e municípios, para que estes passassem a ter competência para formularem suas próprias políticas, reorganizando em várias instâncias a estruturação por parte do setor público, conforme Vieira et al. (2007) afirma:

No plano institucional, a área ambiental do Estado, influenciada pela Constituição de 88, transformava-se com a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em 1989, que passa a ter a missão de formular, coordenar e executar a Política Nacional de Meio Ambiente. Logo após, em 1992, foi criado o Ministério do Meio Ambiente, órgão de hierarquia superior que passa a ter a missão de formular a Política de Meio Ambiente no Brasil e o IBAMA passa a ter uma atuação mais voltada para fiscalização (VIEIRA et al., 2007, p.132)

Dentre os espaços de proteção territorial, as Unidades de Conservação passam então a ser regulamentadas com a criação da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que define e regulamenta as categorias de unidades de conservação no Brasil, divididas nas instâncias federal, estadual e municipal, que são separadas em dois grupos: Unidades de Conservação de Uso Sustentável e Unidades de Conservação de Proteção Integral (BRASIL, 2000). Define-se Unidade de Conservação como:

(Um) Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000, p.5).

As Unidades de Uso Sustentável têm como objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parte dos seus recursos naturais. É composta por 7 categorias: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural (BRASIL, 2000).

Já as Unidades de Proteção Integral possuem o objetivo de preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos em Lei, subdivididas em 5 categorias incluindo Estação Ecológica, Reserva Biológica, Refúgio de Vida Silvestre, Monumento Natural e Parque Nacional (BRASIL, 2000).

O Parque Nacional é uma categoria de Unidade de Conservação de Proteção Integral e tem como objetivo:

A preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico (BRASIL, 2000, p. 10).

Segundo o SNUC, após a implementação do Parque Nacional toda área é de posse e domínio públicos e, como previsto em lei, toda terra particular será desapropriada para regularização da unidade de conservação (BRASIL, 2000).

No que tange às esferas administrativas, três principais órgãos fazem a gestão das unidades de conservação (UCs) no Brasil, são eles: Órgão central: o Ministério do Meio Ambiente - MMA, com a finalidade de coordenar o Sistema; Órgão consultivo e deliberativo: o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA; Órgãos executores: o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), com a função de implementar o SNUC.

Toda unidade de conservação deve contar com um plano de manejo, documento técnico no qual a partir de diagnóstico e prognóstico de cada uma das demandas ambientais e sociais, determina-se seu zoneamento, regras de uso dos recursos naturais e liberação para qualquer tipo de mudança na paisagem cênica. O plano de manejo, segundo o SNUC, deve conter toda a “área da unidade de conservação, sua zona de amortecimento e os corredores ecológicos, incluindo medidas com o fim de promover sua integração à vida econômica e social das comunidades vizinhas” (BRASIL, 2000, p. 23).

Segundo o Art. 27, §1º do SNUC, todas as unidades de conservação devem dispor de um Plano de Manejo adequado à realidade em que se encontra. O documento regula todo tipo de ação dentro e nos arredores das unidades de conservação, como por exemplo, a visitação ao público, a permanência de populações tradicionais em áreas florestais, a exploração de recursos (BRASIL, 2000). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2021):

O Plano de Manejo é elaborado sob um enfoque multidisciplinar, com características particulares diante de cada objeto específico de estudo. Ele deve refletir um processo lógico de diagnóstico e planejamento. Ao longo do processo devem ser analisadas informações de diferentes naturezas, tais como dados bióticos e abióticos, socioeconômicos, históricos e culturais de interesse sobre a Unidade de Conservação e como estes se relacionam (MMA, 2021, p.1)

Cabe destacar, o parágrafo 10º, Art. 4º do SNUC, objetiva-se por “proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental” (BRASIL, 2000, p. 2).

6.3. Sensoriamento remoto da vegetação

A coleta de dados sobre a paisagem e suas características é de suma importância no auxílio a medidas voltadas à conservação da biodiversidade e dos recursos naturais. A exemplo da cobertura vegetal, destacam-se duas técnicas que são capazes de coletar tais dados: a primeira, medição *in situ*, ocorre quando a coleta de dados é realizada em campo, através de equipamentos específicos para cada tipo de finalidade, como o captômetro, que mede o Índice de Área Foliar (IAF) e o espectrorradiômetro, utilizado na medição da refletância espectral (JENSEN, 2009). A segunda, é por meio do processamento de dados orbitais ou sub-orbitais, através do sensoriamento remoto, que foi formalmente definido pela *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) como:

A medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com objeto ou fenômeno em estudo (COLWELL, 1983, p. 23).

Para Figueiredo (2005), início do sensoriamento remoto está ligado a invenção da câmera fotográfica e quase sempre ao uso militar. A “revolução” do sensoriamento remoto, que passara pela utilização de pombos, balões, dirigíveis e aviões portando câmeras fotográficas, se dá no início da década de 1970, com o lançamento dos satélites de recursos naturais terrestres. Segundo o autor, a evolução de quatro segmentos tecnológicos principais determinou o progresso do sensoriamento remoto via satélite, como no caso dos sensores, do sistema de telemetria, de processamento e dos lançadores (FIGUEIREDO, 2005).

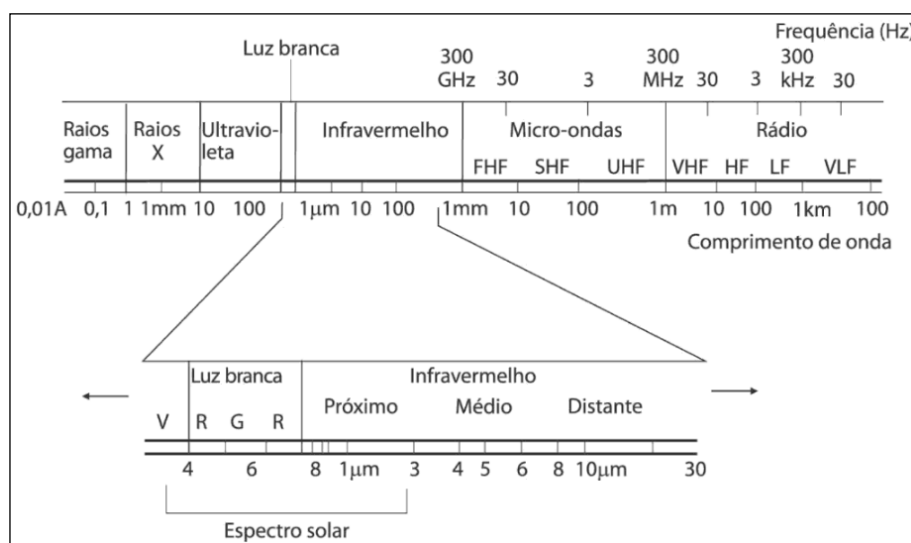
O sensoriamento remoto é utilizado para diversas aplicações, tais como análise de imagens de cunho médico (raios-x, por exemplo), avaliação não destrutiva de produtos em determinada linha de montagem e análise dos recursos naturais terrestres, voltados à detecção de vegetação, solos, minerais, rochas, topografia, água e infraestruturas urbanas terrestres, bem como características atmosféricas. Tais dados são úteis para a modelagem dos ciclos biogeoquímicos do carbono, da biologia e bioquímica dos ecossistemas, previsão do tempo, estimativas populacionais e monitoramento da mudança da cobertura e uso da terra, como estimativas de perda de coberturas vegetal dentre outras (JOHANNSEN, 2003).

A cobertura vegetal da terra é um dos mais importantes componentes dos ecossistemas e o monitoramento através do sensoriamento remoto, fornece conhecimentos sobre as variações entre espécies, padrões de distribuição das comunidades vegetais, modificações na fisiologia e na morfologia da planta e alterações dos ciclos fenológicos (WEIERS et al., 2004; JENSEN, 2005).

O processo monitoramento realizado via sensoriamento remoto necessita de dois itens fundamentais para realização de tal processo, (a) Energia, na maioria das vezes utiliza-se a energia eletromagnética ou radiação eletromagnética e (b) Sensores, que são sistemas fotográficos ou óptico-eletrônicos capazes de detectar e registrar, sob a forma de imagens ou não, o fluxo de energia radiante refletido ou emitido por objetos distantes (FLORENZANO, 2007; JENSEN, 2009).

No que se refere a energia eletromagnética, esta é dividida em diferentes regiões espectrais, são elas: raios gama, raios x, ultravioleta, visível, infravermelho, microondas e ondas de rádio. A região do visível está compreendida entre os seguintes comprimentos de onda: violeta: 390 a 455nm; amarelo: 577 a 597nm; azul: 455 a 492nm; laranja: 597 a 622nm; verde: 492 a 577nm; e vermelho: 622 a 720nm. Já a região do infravermelho divide-se em três classificações, que são, infravermelho próximo (0,7 a 3 μ m), infravermelho médio (3 a 6 μ m) e infravermelho distante (6 a 1.000 μ m), como observado na Figura 01 (FERREIRA, 2006; FLORENZANO, 2007).

Figura 01. Regiões do espectro eletromagnético



Fonte: Ferreira (2006).

No Brasil, os primeiros ensaios de sensoriamento remoto no estudo da vegetação iniciaram-se com mapeamentos temáticos ainda produzidos a partir de fotografias aéreas, na década de 1940. Com o intuito de conhecer a topografia, a vegetação, a geologia e a natureza dos solos da Amazônia e do Nordeste brasileiro, deu-se início ao Projeto RADAM em junho de 1971 (FERREIRA et al., 2015).

Baseado em um método pouco convencional à época, o imageamento por radar de visada lateral (*Side-Looking Airborne Radar - SLAR*), foi um marco nas pesquisas espaciais brasileiras. Em julho de 1975, a responsabilidade pelo mapeamento integrado dos recursos naturais passou a ser do projeto RADAMBRASIL, que expandiu o levantamento de radar para o restante do território nacional (ALLEVATO, 1979).

A década de 1980 destaca-se pelo início da capacitação de profissionais de diversas áreas na aplicação e no desenvolvimento do sensoriamento remoto, a partir do lançamento da série Landsat, que dispunha de sensores que operavam em variadas regiões espectrais. Como exemplo, destaca-se a região do infravermelho, responsável pela captura de dados sobre a vegetação. Ainda nos anos de 1980, algumas tentativas de mapeamento extensivo de classes específicas da cobertura vegetal já aconteciam (FERREIRA et al., 2008).

Os anos de 1990 foram marcados pelo avanço tecnológico em diversas áreas, incluindo as pesquisas envolvendo o sensoriamento remoto. A tecnologia e os avanços dos estudos, segundo Ponzoni et al. (2015), propiciaram o estabelecimento de “correlações entre parâmetros geofísicos do meio ambiente e/ou biofísicos da vegetação, como Índice de Área Foliar (IAF) e a biomassa, com dados radiométricos extraídos de imagens orbitais”.

Para melhor compreensão acerca do tema proposto, torna-se necessário entender como o processo se dá, através da interação da vegetação com a radiação eletromagnética. Tal processo é fundamentado na absorção da radiação eletromagnética por parte dos pigmentos fotossintetizantes, como as clorofilas, por exemplo (GUEDES et al., 2018).

Ao observar as folhas de diferentes tipos de vegetação, nota-se que são constituídas por diferentes tecidos, formas, tamanho, dentre outras características. Assim, os três fenômenos que envolvem a interação da radiação eletromagnética com os alvos na superfície terrestre – reflexão, transmissão e absorção – incidem de forma divergente nas folhas heterogêneas, tornando possível simplesmente diferenciá-las ou obter dados sobre o alvo que se pretende trabalhar (PONZONI et al., 2015).

A respeito dos três fenômenos citados anteriormente, Ponzoni et al. (2015) discorre sobre a reflectância:

(...) a reflectância de um objeto é uma propriedade espectral inferida por meio do cálculo de fatores de reflectância, que relacionam a intensidade da radiação refletida por um objeto com a intensidade de radiação incidente em uma dada região espectral (PONZONI et al., 2015, p.23).

As regiões espectrais que melhor respondem à vegetação operam entre 0,4 μ m a 0,72 μ m (região do visível), 0,72 μ m a 1,1 μ m (região do infravermelho próximo), e 1,1 μ m a 3,2 μ m

(região do infravermelho médio), sendo que em cada uma delas, as respostas espectrais são distintas (PONZONI et al., 2015).

A região do visível é caracterizada pelo domínio da reflectância, graças aos pigmentos existentes nas folhas que são responsáveis por tal fenômeno. Na região do infravermelho próximo ocorre absorção pequena de radiação e espalhamento considerável da radiação da parte interna da folha. A absorção de água geralmente é baixa nessa região, e a reflectância é quase ininterrupta. E por último, a região do infravermelho médio destaca-se pela absorção decorrente da água em estado líquido, que afeta a reflectância das folhas nesta mesma região, tornando-se possível a produção de conteúdo envolvendo umidade na vegetação (PONZONI et al., 2015).

Levando-se em consideração que foi dito, sobre as propriedades espectrais das folhas isoladas, torna-se necessária a explicação acerca do estudo dos dosséis vegetacionais, de expressiva importância para o presente trabalho. Há a necessidade de compreensão sobre o processo de interação entre a radiação eletromagnética e os mais variados tipos fisionômicos de dosséis, tais como culturas agrícolas, formações vegetais de porte herbáceo, florestas dentre outros.

Se tratando de folhas isoladas, os valores de reflectância estão ligados ao fator de reflectância direcional-hemisférica, que é determinado mediante a utilização de esferas integradoras. Quando tratamos de dosséis, refere-se ao fator de reflectância bidirecional, pois envolve duas geometrias definidas: iluminação que está ligada à posição do sol, e visada, que está atrelada a posição do sensor utilizado (PONZONI et al., 2015).

Goel (1988), definiu um importante sistema para os estudos da vegetação em sensoriamento remoto, através da interpretação de dados de reflectância de dosséis, constituído pelos seguintes subsistemas:

- I. **Fonte de radiação**, que normalmente se trata do Sol e é definida por uma série de propriedades/parâmetros representados pelo conjunto $\{a_i\}$, que inclui a irradiância espectral E_y e a localização espacial ($0_s = \text{ângulo zenital solar}$ e $os = \text{ângulo azimutal solar}$);
- II. **Atmosfera**, que é caracterizada por uma série de propriedades/parâmetros representados por $\{b_i\}$, incluindo as concentrações especialmente dependentes e as propriedades seletivas de absorção e de espalhamento dos diversos comprimentos de onda por parte de aerossóis, vapor d'água e ozônio;
- III. **Dossel**, que é caracterizado por uma série de propriedades/parâmetros representados por $\{c_i\}$, incluindo os parâmetros óticos (reflectância e transmitância) e estruturais (formas geométricas e posicionamento) dos componentes da vegetação (folhas, galhos, frutos, flores etc.), a geometria de plantio e parâmetros ambientais como temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação. Em geral, esses parâmetros apresentam dependências espectrais, espaciais e temporais;

- IV. **Solo**, que é caracterizado por uma série de propriedades/parâmetros representados por $\{d_i\}$, tais como reflectância e absorvância, rugosidade superficial, textura e umidade;
- V. **Detector**, que é caracterizado por uma série de propriedades/parâmetros representados por $\{e_i\}$, os quais definem sua sensibilidade espectral, abertura, calibração e posicionamento espacial (0_v = ângulo zenital de visada e p_v = ângulo azimutal de visada) (GOEL, 1988, p.2).

Como visto, a estrutura e/ou disposição da cobertura vegetal envolvendo determinado produto de sensoriamento remoto, englobam muitas questões a serem analisadas. Nem sempre o que é captado por sensores pode ser explicado somente pelas propriedades ali presentes em um primeiro momento, tornando-se necessária a averiguação de possíveis interferências e fatores (FERREIRA et al., 2008).

Assim, as técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas para a caracterização da dinâmica da cobertura vegetal em extensas áreas, por exemplo, a partir da disponibilidade e/ou processamento de dados como os índices de vegetação, tornando possível a modelagem de parâmetros biofísicos da vegetação e a análise de detalhes como a radiação, a biomassa verde e a condição geral da vegetação (JENSEN, 2009).

Com isso, alterações temporais do estado da vegetação podem ser detectadas a partir dos índices espectrais, que combinam as regiões do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, como no caso do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (PONZONI, 2015).

Um exemplo interferências causadas na vegetação que são captadas por sensores orbitais são as causadas por incêndios florestais, que podem ser captadas por sensores acoplados a satélites que operam em diversas regiões espectrais. A resposta das plantas ao fogo pode variar expressivamente entre diferentes áreas dentro de um mesmo incêndio ou de evento a evento. Tal resposta, na maior parte dos casos, será em função da interação entre uma série de fatores, descritos por Catry et al. (2010):

O tipo de resposta será na maior parte dos casos variável em função da interação entre uma série de fatores como o regime de fogo (e.g., intensidade do fogo, duração da combustão, época do ano), as características do local (e.g., solos, topografia, clima) e as características de cada planta (e.g., espécie, vigor vegetativo, idade). A capacidade de sobrevivência e de regeneração das comunidades vegetais no período após o fogo depende ainda, da intensidade de ocorrência de fatores adicionais de perturbação (e.g., seca, pastoreio, mobilizações de solo, pragas). O calor recebido pela planta depende simultaneamente da temperatura atingida e do tempo durante o qual os tecidos estão expostos a essa temperatura. A capacidade que as células têm para suportar temperaturas elevadas varia pouco entre espécies e entre tecidos de uma mesma planta. A maior parte das células vegetais morrem se a temperatura atingir aproximadamente 50-55° C (Hare, 1961; Wright e Bailey, 1982), embora alguns tecidos de plantas consigam suportar temperaturas mais elevadas por períodos de tempo muito curtos (CATRY, 2010, p.51).

O índice NDVI, proposto por Rouse et al. (1973), é baseado em duas bandas, sendo calculado pela diferença entre o infravermelho próximo (700-1.300nm) e o vermelho (600-700nm), dividida pela sua soma. Tal índice apresentou efetividade em diversas áreas, como no estudo de áreas de agricultura, bem como no monitoramento de ambientes pós distúrbio, em análises da fenologia da vegetação (MIURA et al., 2001).

Já o EVI, desenvolvido para otimizar o sinal advindo da vegetação, apresenta correções em distorções, causadas por material particulado suspenso no ar que alteram a direção da luz, bem como do solo abaixo do dossel vegetacional. A principal diferença entre o EVI e o NDVI é que o primeiro não satura tão facilmente quanto o segundo, principalmente em áreas que apresentam expressivas quantidades de clorofila (altos índices de área foliar, como as florestas tropicais) (BECERRA, 2009).

O monitoramento de incêndios florestais via produtos orbitais é uma maneira ágil e eficiente para identificação, qualificação e quantificação dos mesmos. Liu (2006) recomenda o uso de sensores orbitais com alta ou média resolução espacial, dentre eles encontra-se disponível a série Landsat, devido sobretudo, à extensão temporal de imagens disponíveis.

A depender do tipo de sensor, haverá ou não, dificuldade de obtenção de imagens devido a cobertura de nuvens. Sensores passivos são mais propensos a terem este tipo de problema, em virtude da estação do ano, principalmente em regiões tropicais. Já os sensores ativos, que trabalham da região das microondas, não são sensibilizados pela cobertura de nuvens, pois as ondas produzidas atingem a superfície terrestre onde interagem com os alvos, e são refletidas de volta ao satélite (FLORENZANO, 2007), possibilitando a obtenção de imagens em regiões com maiores nebulosidades.

Outro fator importante sobre os sensores remotos e a aquisição de seus dados é a resolução temporal, que se refere ao intervalo de tempo que um sistema sensor orbital *demora* em obter duas imagens consecutivas, de uma mesma área da superfície terrestre (MORAES, 2002). Em estudos ambientais, a análise multitemporal a partir das imagens de sensores remotos torna-se uma excelente ferramenta, pois possibilita a extração de dados de uma área em um contexto histórico. Tal análise utiliza imagens de sistemas sensores em períodos distintos, possibilitando comparações e identificação de padrões (ARAUJO et al., 2016).

A exemplo do monitoramento da vegetação a fim de detecção da regeneração, Frazier et al. (2015) afirmam que informações significativas sobre recuperação florestal podem ser derivadas de séries temporais baseadas em imagens de sensoriamento remoto.

Neste sentido, Gouveia (2010) verificou as taxas de regeneração da vegetação utilizando o sensor *Vegetation*, presente na série de satélites SPOT 4 e 5, concluindo que as taxas de recuperação em extensas áreas queimadas dependem fortemente do tipo predominante de vegetação (GOUVEIA, 2010).

Já Lhermitte (2011) avaliou os impactos do fogo sobre a vegetação e, como sua regeneração, se dá em ambientes savânicos presentes no nordeste da África do Sul e sul de Moçambique. Em seu estudo, o autor analisou a severidade do incêndio florestal, possibilitando a análise do quão determinada área de Savana foi alterada após o regime do fogo. Este trabalho foi baseado na correlação entre a severidade do incêndio (dNBR) e a taxa de queima normalizada (NBR), ambos utilizando dados corrigidos atmosféricamente derivados das imagens do Landsat sensor ETM+ (LHERMITTE, 2011).

Sever (2012) realizou seu trabalho no sudeste da Austrália a fim de detectar a regeneração da vegetação através de produtos orbitais do Landsat 5. O autor utilizou imagens multitemporais para comparar a cobertura vegetal antes e depois do incêndio, utilizando os índices NBR (*Normalized Burn Ratio*), que é a diferença normalizada entre o infravermelho próximo e infravermelho médio e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) que é semelhante ao NBR, mas usa a banda do vermelho em vez da banda do infravermelho médio. Os resultados representaram a variação nas taxas de regeneração da vegetação, relacionados a aspectos como os tipos de encosta e precipitação (SEVER, 2012).

De acordo com Hird et al. (2021), o monitoramento da regeneração da vegetação com base no imageamento orbital, baseia-se na análise de comportamentos espectrais em séries temporais de imagens de satélite. Ainda segundo a autora, em pesquisa realizada na regeneração da Floresta Boreal na província de Alberta (Canadá), o tempo para início do processo regenerativo foi de 1 ano e 3 meses, sendo que foram identificadas amostras cujo tempo de regeneração variou entre 2 a 18 anos (HIRD et al., 2021).

Oliveira et al. (2017) analisaram multitemporalmente a regeneração natural da Candeia após ocorrência de incêndio florestal, utilizando imagens do satélite Landsat 5 e NDVI. O estudo embasou-se em um incêndio ocorrido em 1999 ao lado do Parque Nacional da Serra do Cipó em Minas Gerais. Os resultados demonstram que em um período aproximado de 6 anos, a amostra apresentou valores de reflectância próximos àqueles encontrados anteriores ao incêndio.

O estudo realizado por Resende (2015) comparou índices espectrais a fim de identificar processos de regeneração florestal no Parque Nacional Chapada das Mesas, sob domínio do

Cerrado, entre os Estados do Maranhão e do Tocantins. O autor utilizou diferentes índices espectrais de imagens provenientes do satélite Landsat 5, e entre os índices analisados, o NBR se mostrou mais eficaz para detecção de regeneração na área do estudo, corroborando com metodologia proposta por Hird et al. (2021).

Barlow et al. (2012) analisaram a regeneração em fragmento na Amazônia, utilizando o índice por queima normalizada (NBR) com imagens Landsat 5, e constataram que o índice apresenta valores de 0,6 após o incêndio, retornando para valores próximos à 0,7 três anos após a ocorrência.

Já no que tange ao acesso de imagens orbitais para o processamento de índices de vegetação, há diversas plataformas gratuitas de distribuição de imagens, a exemplo do, (a) *EarthExplorer*, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e da Agência Espacial Norte-Americana (NASA), que disponibiliza dentre outros, imagens dos satélites Landsat e do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*); (b) além da plataforma *Open Access Hub*, da Agência Espacial Européia (ESA), que distribui imagens dos satélites Sentinel; e (c) a plataforma da Google (*Google Earth Engine*). Esta última, diferencia-se das demais, pois é uma plataforma de computação em nuvem, onde as imagens são processadas via infraestrutura remota, sem a necessidade de realização de *download* e sem demandar requisitos computacionais em ambiente *desktop*.

Assim, com exceção de empresas, a Sociedade possui acesso gratuito a um número expressivo de catálogos de imagens de sensoriamento remoto, coletadas por diferentes satélites e sensores com distintas resoluções espaciais, temporais, radiométricas e espectrais. Segundo Soille et al. (2018), quase quatro *petabytes* de imagens foram produzidos pelos satélites Landsat 7/8, CBERS-4/4A, Terra/Aqua e Sentinel-1/2/3 no ano de 2018.

A extração de dados de grandes bases de dados geoespaciais (*geo big-data*), exige plataformas inovadoras para lidar com as dimensões de armazenamento, processamento, análise e visualização de dados (SOILLE et al., 2018). Nesse sentido, novas plataformas de *software* foram desenvolvidas a fim de acessar, preparar, indexar e lidar com grandes quantidades de imagens de sensoriamento remoto e cubos de dados, a exemplo do *Google Earth Engine* (GEE) (GORELICK et al., 2017).

No que se refere ao aprimoramento da análise de séries temporais, pesquisadores tem produzido e acessado dados do tipo, “Dados Prontos para Análise”, do inglês *Analysis Ready Data* (ARD) a partir das imagens dos satélites, organizando os dados como uma espécie de cubos de dados multidimensionais (LEWIS et al., 2017).

No Brasil, o *Brazil Data Cube*, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), possui com objetivo, criar cubos de dados multidimensionais prontos para análise a partir de imagens de média resolução espacial de satélites de observação da Terra, para todo o território brasileiro (FERREIRA et al., 2020). Todo o processo gera dados de reflectância de superfície e informações de uso e cobertura do solo, a partir de cubos de dados, usando aprendizado de máquina e análise de séries temporais de imagens de satélites (INPE, 2019).

6.4. Sucessão ecológica e regeneração da vegetação

Como toda ciência, “a Ecologia necessita adotar subdivisões de seu objeto de estudo (a natureza)” (PINTO-COELHO, 2009, p.14). Nesse sentido, a abordagem sistêmica traz a inter-relação de elementos, que de alguma forma, unem-se através da interação, da interdependência e na sensibilidade dos mecanismos reguladores de tal sistema, formando assim um todo unificado (ODUM, 1963). Dentre as divisões, destacam-se os conceitos de: Espécie (conjunto de indivíduos capazes de se reproduzirem); População (conjunto de indivíduos da mesma espécie); e Comunidade (reunião de populações em uma determinada área) (PINTO-COELHO, 2009).

As comunidades apresentam propriedades e atributos essenciais nas análises que envolvem estudos ambientais, tais como: composição específica, diversidade, formas de crescimento, estrutura espacial, associações tróficas, dinâmica temporal e fenômenos de interdependência (PINTO-COELHO, 2009). Duas abordagens tornam-se necessárias no presente estudo: a estrutura espacial, que se refere aos padrões espaciais fitofisionômicos das comunidades presentes na área de estudo; e a dinâmica temporal, importante na análise da recuperação da vegetação pós distúrbio.

Os principais fatores condicionantes para que a paisagem se diferencie e/ou se assemelhe às outras do ponto de vista ecológico são ditados por características locais e/ou regionais, a exemplo dos tipos climáticos e sazonalidade, geologia, presença de distúrbios (CHAZDON, 2016). Os distúrbios são processos que alteram a composição, estrutura e função do ecossistema, em caráter definitivo ou temporário, referindo-se ao desequilíbrio causado por fenômeno e/ou ação dos componentes e dos processos que os conectam. No que se refere à vegetação, limitam a biomassa das plantas causando a sua destruição parcial ou total, além de

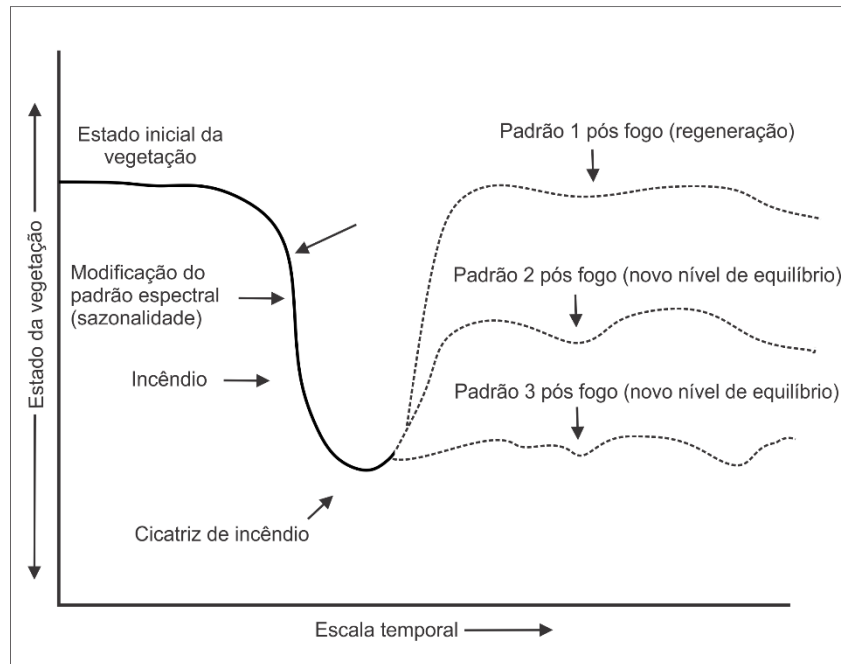
dar início ao processo de crescimento e/ou regeneração, por indivíduos sobreviventes ou novos colonizadores (CHAZDON, 2003).

Os distúrbios podem ser causados por processos naturais, tendo como exemplo erupções vulcânicas (ELIAS; DIAS, 2004), por deslizamentos de encostas (YANG, 2018) e incêndios florestais causados por raios (MAGALHÃES et al., 2012), ou por ações antrópicas, como a compactação do solo pelo uso de máquinas agrícolas (ARAÚJO et al., 2016) e incêndios florestais de origem criminosa ou negligente (FIEDLER, 2006).

Entendendo o ecossistema como unidade não estática, este apresenta até certo ponto, certa elasticidade do ponto de vista adaptacional, perante as alterações ambientais de curto, médio e longo prazo. Os conceitos de *resiliência e estabilidade* dizem respeito ao processo supramencionado, uma vez que: *resiliência* remete-se à capacidade do ecossistema de se recuperar de alterações provocadas por distúrbios naturais ou antrópicos; enquanto, que o ecossistema *estável* reage a um distúrbio absorvendo o impacto sofrido, não sofrendo alterações e englobando aos seus processos ecológicos (TIVY, 1993).

Em teoria proposta por Bertrand (1968), os subsistemas litosfera, atmosfera e hidrosfera do qual faz parte relevo, clima e hidrologia, são atrelados ao conceito *potencial ecológico*. Quanto à biosfera, o conceito utilizado foi o de *exploração biológica*, no qual fazem parte vegetação, solo e fauna. O equilíbrio existente entre o *potencial ecológico* e a *exploração biológica* caracteriza o *equilíbrio climático*, que pode ser rompido pela intervenção antrópica durante a exploração biológica, como por exemplos os incêndios florestais (BERTRAND, 1968).

O esquema apresentado na Figura 2 ilustra um ambiente em equilíbrio ecológico num momento inicial, que após o distúrbio, pode apresentar diferentes respostas que estão ligadas às condições locais e regionais.

Figura 02. Desequilíbrio climácico de Bertrand

Fonte: Adaptado de Bertrand (1991)

Tais respostas podem ser: (a) regeneração, onde há a recuperação dos padrões do equilíbrio dinâmico anterior ao distúrbio; e (b) novos níveis de equilíbrio dinâmico, quando não há o retorno aos padrões anteriores, pois a pressão exercida ou a falta de capacidade de *resiliência* local, fazem com que uma nova situação de equilíbrio surja, com características diferentes do estado inicial.

A exemplo, após a ação do fogo, causador da ruptura do equilíbrio por meio da queima da biomassa, repercute no comportamento do potencial ecológico. As perturbações que alteram a dinâmica de determinada paisagem por algum período ou de forma permanente, sejam por causas naturais ou antrópicas, promovem mudanças na cadeia ecossistêmica da paisagem afetada, apresentando diferentes graus de intensidade (AGNES, 2007). A compreensão de seus efeitos na vegetação é necessária, pois a variedade, intensidade, frequência e extensão do distúrbio provocam alterações na resposta sobre a diversidade, parâmetro relacionado à regeneração florestal (CHAZDON, 2003).

O conceito de *regeneração* responde ao processo de recuperação de tecidos ou órgãos vegetais, após danos ou perdas provocadas pelos distúrbios, podendo ser representado por diferentes níveis de escala, referindo-se a uma única árvore, uma comunidade ou um ecossistema como um todo. Na regeneração natural, as espécies que sustentam a comunidade de plantas devem ser espontâneas, uma vez que estas se estabelecem sem a intervenção humana

na área em restauração (PEREIRA et al., 2008), podendo ser tanto espécies nativas como exóticas (MORO et al., 2012).

Considerando a sucessão secundária, a principal forma das espécies de se regenerarem após um distúrbio acontece através da disponibilidade de sementes no solo. O banco de sementes, assim conhecido, atua como uma espécie de reservatório, utilizado para restaurar zonas que sofreram algum tipo de distúrbio, como o fogo, ou simplesmente recuperar espécies da flora que estão em via de extinção (PERES et al., 2009).

Segundo PIAIA et al. (2017) o banco de sementes expressa o desempenho natural da vegetação, além de indicar o potencial de resposta frente aos distúrbios naturais ou antrópicos, pois a partir de sucessivas queimadas, pode-se impactar negativamente o estoque deste banco, o que irá promover a diminuição gradual da capacidade de regeneração, seja na diversidade de espécies, ou mesmo, propiciando o avanço de espécies exóticas.

As espécies exóticas podem prejudicar a restauração ecológica, pois se trata de espécies potencialmente invasoras e competidoras superiores de recursos (DAMASCENO et al., 2018). Já as espécies nativas, contribuem para o reestabelecimento da diversidade e da biomassa na comunidade vegetal, que são componentes primordiais para a manutenção das condições do solo, como na disponibilidade de nutrientes e na retenção de umidade (ARAUJO et al., 2013; HOFMAN et al., 2003).

A sucessão ecológica é “um processo ligado à comunidade de espécies que compõem um determinado ecossistema” (CHAZDON, 2016, p. 20). Segundo o autor, a regeneração ocorre em todos os estágios da sucessão, seja em populações, espécies ou comunidades. Para Pinto-Coelho (2009), a definição de sucessão ecológica refere-se:

“a uma mudança que se superpõe às flutuações e ritmos mais breves, como progressiva ocupação do espaço e aumento da complexidade estrutural. À medida que avança a sucessão, a intensidade dos ritmos e flutuações tendem a diminuir” (PINTO-COELHO, 2009, p.125).

Toda base intelectual para a formação do conceito de sucessão ecológica foi estabelecida por Clements (1916; 1936), que dividiu as fases de sucessão em primária (espécies pioneiras), secundária (ocorre em comunidades preexistentes), estágio seral (estágios mais ou menos definidos a depender de variações locais) e clímax (etapa de maior maturidade).

Quanto às regularidades da sucessão, a síntese de Odum (1972) vem sendo amplamente utilizada desde sua criação. O autor propôs uma comparação entre os estágios serais pioneiros e fases mais maduras da sucessão, utilizando diferentes atributos dos ecossistemas, tanto

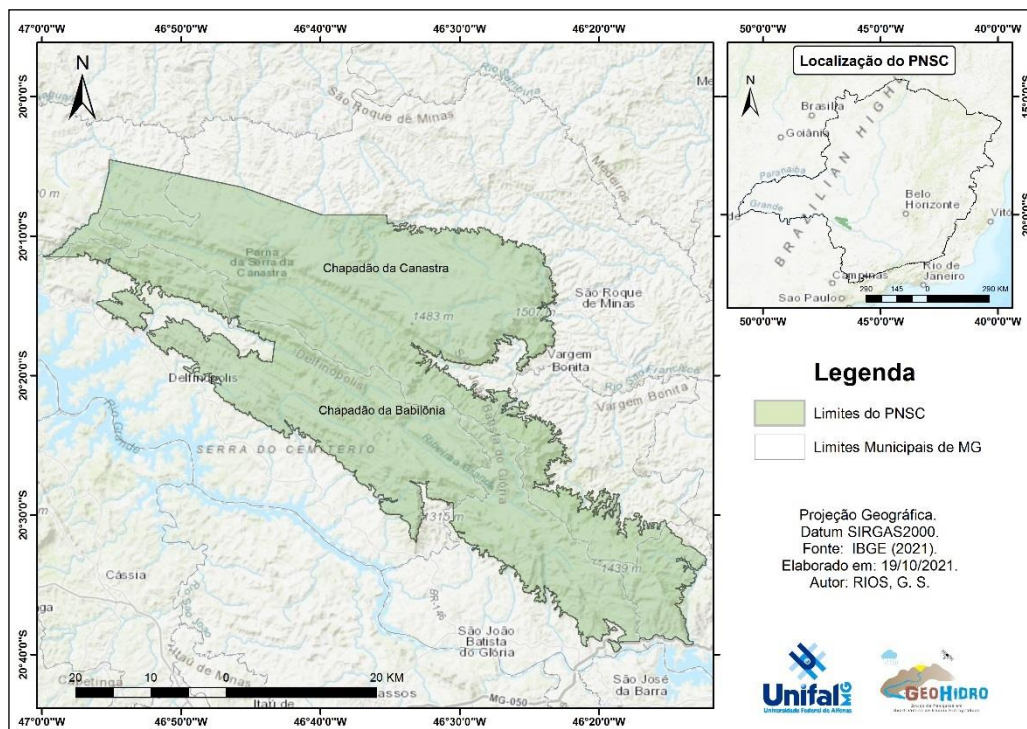
estruturais (diversidade, estratificação e zonação), quanto atributos dinâmicos (produção, ciclagem e homeostasia).

Em síntese, é preciso oferecer subsídios ao conhecimento sistemático dos sistemas naturais, procurando entendê-los sempre num processo de interação e interconexão, onde o homem se faz presente. Assim, a multidisciplinaridade envolvendo questões relativas à atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera, a partir de um ponto de vista sistêmico e, tendo o homem como agente responsável pela produção, ajudam em uma maior compreensão acerca da organização e modificação do espaço social.

7. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC) localiza-se na região sudoeste do estado de Minas Gerais (Figura 2) e abrange os municípios de Delfinópolis, São Roque de Minas, São João Batista da Glória, Sacramento, Vargem Bonita e Capitólio (MESSIAS, 2017).

Figura 03. Localização do Parque Nacional da Serra da Canastra



Fonte: Autor (2021).

O PNSC foi criado em 1972 através do Decreto n.º 70.355, de 3 de abril, possui área total de 197.787ha (BRASIL, 1972), sendo que, de acordo com Ferreira (2015), aproximadamente somente 86.000ha encontram-se regularizados. A zona regularizada é

constituída pelo Chapadão da Canastra e por pequenas áreas no Chapadão da Babilônia, esta última, doada para compensação de reserva legal a partir de 2010 (FERREIRA, 2015).

O PNSC encontra-se sob o Grupo Canastra indiviso (MP3ci) datado no final do Mesoproterozóico (1,2-1,0 bilhão de anos); sob o Subgrupo Paraopeba indiviso (NP2bp) datado no Criogeniano (850-650 milhões de anos); sob paraconglomerados adjuntos à Formação Samburá, datados no Criogeniano (850-650 milhões de anos); e sob colúvio-eluviais e lateríticas (NQd), que datam do início do Quaternário (1,75 milhão de anos) (BRASIL, 2003; NOVAES et al., 2011). O parque situa-se na convergência entre a porção meridional da Faixa de Dobramentos Brasília e a borda sudoeste do Cráton São Francisco, e que apresentam lineamentos na direção NW-SE, responsáveis por falhas normais e de empurrão, e pela variação entre litologias modificadas por processos denudacionais (MAURO et al., 2018).

O resultado desse arranjo geológico regional se expressa no relevo, através dos planaltos e serras em níveis altimétricos elevados, proporcionados pelas camadas de quartzitos, e as depressões, cuja gênese se vincula à incisão da rede de drenagem ao longo de zonas de fraqueza, falhas e fraturas e da menor resistência das rochas. A litologia da região constitui-se em um dos mais importantes atributos para a avaliação do comportamento dos fluxos de água, responsáveis pela morfodinâmica da área (SOARES, 1978).

A geomorfologia é reflexo de ações endógenas e exógenas da região, tendo sua morfodinâmica através de ações, principalmente do ciclo hidrológico, que atua diretamente nos processos de intemperização, desprendimento, transporte e deposição dos materiais superficiais. Segundo dados do IBGE (2009), o Parque Nacional da Serra da Canastra está sob os Cinturões Móveis Neoproterozóicos, relacionados a extensas áreas de planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas.

O PNSC apresenta uma alternância de platôs, encostas escarpadas e vales encaixados. Pode-se especificar a presença de duas regiões: o amplo platô do maciço da Canastra, que constitui a fisionomia predominante coberta por formações campestres, denominada Chapadão da Canastra e, o Chapadão da Babilônia, de relevo mais movimentado, ambas formações com altitude entre 700 e 1.400 metros (BRASIL, 2005).

Os solos, segundo estudos desenvolvidos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2010) seguem as seguintes tipologias: Cambissolo Háptico eutrófico (CXbe) (913ha, 0,46%); Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) (4.064ha, 2,05%); Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAe) (9ha, 0,005%); Cambissolo Háptico distrófico (CXbd) (36.597ha, 18,50%); Plintossolo Argilúvico distrófico (FTd) (61.963ha, 31,31%); Latossolo Vermelho

distrófico (LVd) (16.461ha, 8,32%); e Neossolo Litólico distrófico (RLd) (67.154ha, 33,95%). Cerca de 10.680ha pertencem aos afloramentos Rochosos (AR), que representam 5,40% da área do parque (UFV, 2010).

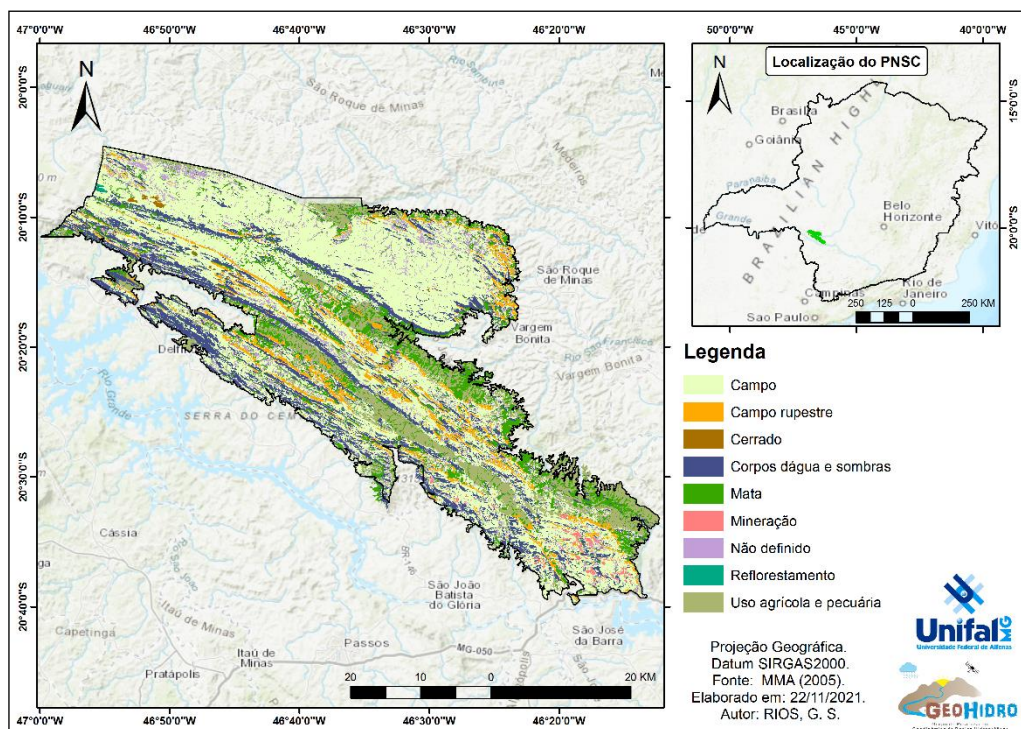
A Serra da Canastra tem como clima predominante o Tropical, que apresenta maiores valores pluviométricos em meses mais quentes (geralmente entre outubro e abril) e em meses mais frios, valores pluviométricos menores, entre maio e setembro (ALVES et al., 2011). Segundo Novaes et al. (2018) a pluviosidade anual varia entre 1.000 e 1.800mm, enquanto as temperaturas encontram-se entre 18°C (média do mês mais frio) e 22°C (média do mês mais quente). Segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a predominância dos ventos é Norte-Sul, principalmente no período da tarde, podendo chegar a 80km/h em alguns meses (IBAMA, 2007b).

O parque age como o divisor de águas que envolve as bacias hidrográficas do rio São Francisco e do rio Paraná, esta última sendo representada pelas bacias do rio Grande, ao sul, e do rio Paranaíba, ao norte, que recebe aportes das cabeceiras do rio Araguari. Sua rede de drenagem é considerada densa, pois apresenta diversos tributários e diversas de nascentes responsáveis por alimentar os cursos d'água. Pode-se dividir a região em dois grandes domínios: as zonas de recarga delimitadas pelos altos topográficos e as zonas de descarga, que quase coincide as áreas do entorno (BRASIL, 2005).

A nascente histórica do rio São Francisco encontra-se no interior do parque (Chapadão do Diamante), ressaltando ainda mais a importância para com sua preservação. A bacia do rio São Francisco abrange os estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e o Distrito Federal, enquanto a bacia do Paranaíba está associada à porção noroeste da Serra da Canastra e envolve os estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal (CBH ARAGUARI, 2013; CBH PARANAÍBA, 2013).

A área do parque e seu entorno inserem-se no domínio fitogeográfico do Cerrado (Figura 04). Segundo a terminologia proposta por Coutinho (2006), a maior parte da Serra da Canastra é coberta pelas seguintes formações campestres: Campo Rupestre, Cerrado Rupestre, Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado Sentido Restrito, Mata de Galeria e Campo Úmido (COUTINHO, 2006; COUTO et al., 2010).

Figura 04. Mapa fitofisionômico do Parque Nacional da Serra da Canastra



Fonte: Adaptado BRASIL, 2005a, p. 170.

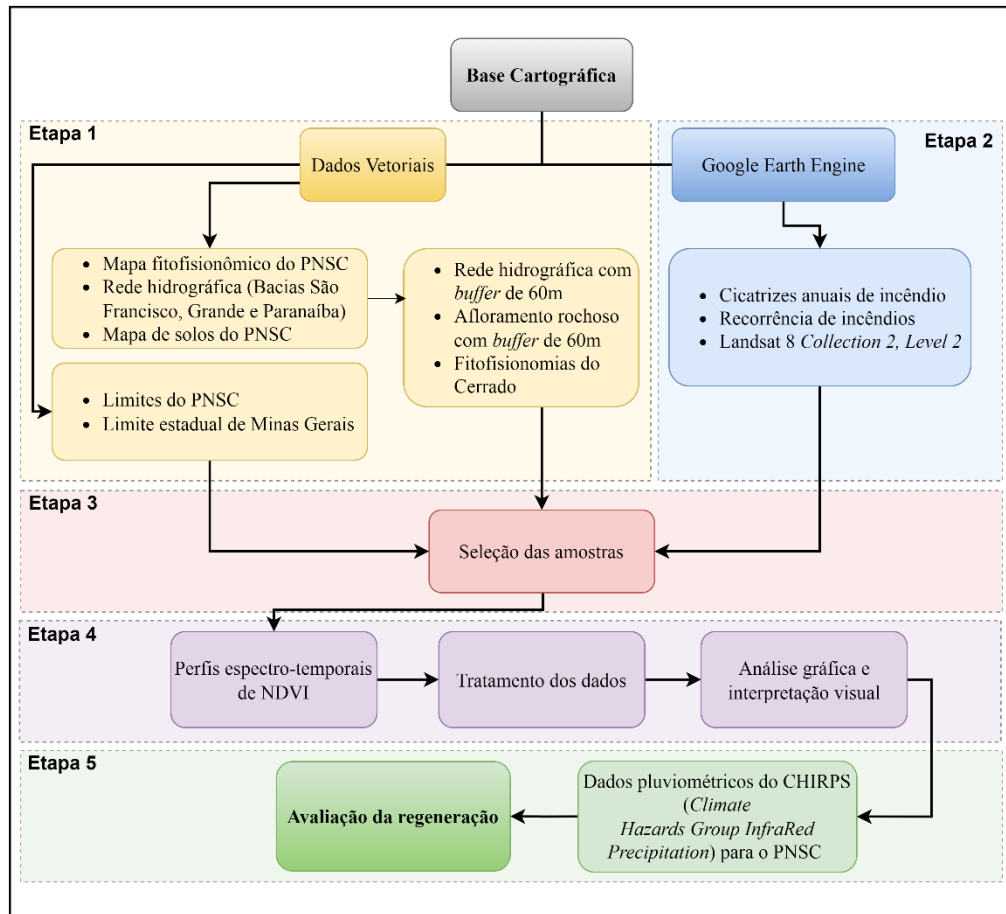
A predominância fitofisionômica encontrada no PNSC segundo Couto et al. (2010) são dos tipos Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Rupestre, ocupando 61,23% da área (COUTO et al., 2010). Ainda segundo Couto et al. (2010)

os campos úmidos muitas vezes se desenvolvem ao longo de zonas de fratura que proporcionam armazenamento de água e acúmulo de umidade; os ambientes rupestres (Campo Rupestre e Cerrado Rupestre) foram encontrados nas bordas da serra e em topos de planalto acima de 1.300 metros; o Campo Sujo apresentou maior variação de declividade que o Cerrado Sentido Restrito, sendo que essa diferença pode estar relacionada à formação de solo, ambos se situam entre 1.400 e 1.500m; o Campo Limpo é constituído predominantemente pelo estrato herbáceo com poucos arbustos e ausência de árvores, caracteriza-se por uma vegetação não fotossinteticamente ativa na época da seca. Além disso, demonstra a maior variação altimétrica dentre as fitofisionomias e uma menor variação de declividade, predominantemente, em relevo plano a suave ondulado, variando entre 1.300 e 1.500m (COUTO et al., 2010, p.61-63).

8. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho estruturou-se em 5 etapas, dispostas no fluxograma metodológico (Figura 05).

Figura 05. Fluxograma metodológico



Fonte: Autor (2022)

A etapa 1, denominada “Obtenção e tratamento de dados vetoriais”, iniciou-se a partir da obtenção de dados vetoriais no formato *shapefile* das Unidades da Federação (IBGE, 2021), disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio>, limites do PNSC (SISEMA, 2021), disponível em <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>, mapa de solos de Minas Gerais (UFV, 2010), disponível em https://www.dps.ufv.br/?page_id=742, rede hidrográfica das bacias do rio São Francisco, Grande e Paranaíba (ANA, 2021), disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home> e mapa de fitofisionomias do PNSC (BRASIL, 2005), sendo processados via Sistema de Informação Geográfica (SIG), no software ArcMap™ 10.6.1.

A etapa 2, “Processamento de dados na plataforma *Google Earth Engine*”, envolveu a aquisição dos dados sobre recorrência e cicatrizes de incêndio no PNSC, por meio da base de dados do Projeto MapBiomias Fogo (versão Beta), abrangendo a série histórica do presente estudo (2013 a 2021). O produto MapBiomias Fogo (versão Beta) está disponível na plataforma GEE, através de *toolkit* disponibilizado no site do MapBiomias, <https://mapbiomas.org/download> (MAPBIOMAS, 2021).

Quanto aos produtos orbitais, recorreu-se à coleção de dados do satélite Landsat 8, sensor OLI, cenas 219/74 e 220/74, Coleção 2 e Nível 2 (*Collection 2, Level 2*), de resolução espacial 30m e com correções geométrica e atmosférica, esta última pelo método LaSRC versão 3.0 (ZANTER, 2019). Foi processada, ainda em ambiente do GEE, a correção do fator de escala e, logo após, aplicada a todas as imagens da coleção uma máscara de cobertura e sombra de nuvem gerada pelo algoritmo Função de Máscara (Fmask), disponível no *Developers Guide* do GEE (ZHU et al., 2014), sendo excluídos da análise os valores de reflectância contendo estas feições. Após a aplicação da máscara de nuvens, criam-se regiões de *nodata* (sem dados) nas imagens, principalmente em datas em que o PNSC apresenta grande volume de chuvas e, conseqüentemente, de nuvens.

A etapa 3, responsável pela “Seleção das amostras”, levou em consideração fatores condicionantes capazes de gerar alterações no NDVI. A etapa de seleção das amostras é parte fundamental, pois a escolha aleatória das mesmas poderia resultar em uma expressiva diferença de reflectância causadas, tanto por interferências de solo, que afetam o NDVI, como áreas de afloramento rochoso e solos rasos (ELMORE, 2000), quanto pela proximidade de cursos d’água, que altera o conteúdo de água nas folhas (FURQUIM, 2018). Desta forma, delimitou-se um raio 60m de distância (2 pixels de 30m), de áreas de afloramentos rochosos e da rede hidrográfica para minimizar possíveis influências.

Optou-se por utilizar 6 amostras para cada fitofisionomia de Cerrado: Campo Limpo, Campo Rupestre e Cerrado, com janelas de 3x3 pixels, correspondendo a quadrículas de 90m por 90m e área de 8.100m². Além da seleção por fitofisionomias, decidiu-se por incluir na análise o mapa de recorrência de incêndios advindo do produto MapBiomas Fogo (versão Beta), onde das 6 amostras para cada fitofisionomia em questão, alocou-se 3 em áreas com alta recorrência e 3 em áreas de baixa recorrência, a fim de comparar se há diferença na regeneração entre tais áreas.

Assim, elaborou-se mapas de recorrência para cada fitofisionomia de Cerrado do PNSC, com o intuito de identificar as mínimas e as máximas recorrências, bem como identificar sua espacialização. Manteve-se um padrão para áreas de baixa recorrência entre as 3 fitofisionomias, porém o mesmo não pôde ser realizado para alta recorrência, primeiro, em virtude de diferentes representatividades em área, e segundo, pelos reduzidos polígonos com os máximos de recorrência, que nem sempre coincidiam com a delimitação das fitofisionomias entre os anos da série histórica abordada no presente trabalho.

O arquivo de recorrência (2013-2021), exportado do GEE, foi processado no SIG ArcMap™ 10.6.1, onde, por meio do módulo *Extract by mask*, extraiu-se a recorrência com o recorte espacial para cada fitofisionomia de Cerrado do PNSC. As 8 classes de recorrência detectadas foram divididas de acordo com a quantidade de ocorrências por fitofisionomia (Tabela 01).

Tabela 01. Classes de recorrência para cada fitofisionomia de Cerrado do PNSC

Fitofisionomia	Baixa recorrência	Alta recorrência
Campo Limpo	1 a 2 ocorrências	6, 7 e 8 ocorrências
Campo Rupestre	1 a 2 ocorrências	4, 5 e 6 ocorrências
Cerrado	1 a 2 ocorrências	3 e 4 ocorrências

Fonte: Autor (2022)

Após, o arquivo *raster* foi convertido para *shapefile* através do módulo *Raster to Polygon*, sendo aplicado posteriormente o módulo *Erase*, que subtraiu para cada fitofisionomia, a rede hidrográfica e afloramento rochoso com o *buffer* de 60m, com o objetivo de minimizar os efeitos supramencionados. Como resultado, obteve-se 3 *shapefiles* de recorrência: (a) Campo Limpo, (b) Campo Rupestre e (c) Cerrado, sendo estes, importados posteriormente para ambiente GEE.

Os arquivos *shapefile* de recorrências por fitofisionomia serviram como base para a elaboração das amostras, realizada através de vetorização em tela, de acordo com a classificação em baixa e alta recorrência supramencionada. Ao final deste processo foram selecionadas 18 amostras.

Na etapa 4, o processamento de imagens orbitais na plataforma GEE foi realizado por meio da elaboração de código na linguagem *JavaScript*, para obtenção dos valores de NDVI no PNSC entre 2013 e 2021, sendo possível seu acesso via <https://code.earthengine.google.com/0dfb0e560d99066be34790541d11ce17>.

O NDVI é utilizado para quantificar o verde presente na vegetação e avaliar a saúde das plantas, e em ambiente GEE, pode ser processado para toda uma coleção de imagens (SCHMID, 2017), de maneira otimizada. É calculado através da razão entre os valores da reflectância de superfície das bandas do vermelho (R), banda 4 - sensor OLI, e infravermelho próximo (NIR), banda 5 - sensor OLI, conforme proposto por Rouse (1973) na Equação 1:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (1)$$

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (adimensional)

NIR: Reflectância de superfície do infravermelho próximo (adimensional)

R: Reflectância de superfície do vermelho (adimensional)

Quando o NDVI apresenta valor próximo a 1, maior é o vigor vegetativo, enquanto valores negativos ou próximos a zero, indicam áreas de solo exposto ou onde há pouca atividade clorofiliana e, conseqüentemente, baixa quantidade de vegetação (PONZONI; GOLTZ et al., 2007).

Para a obtenção dos perfis espectro-temporais, também utilizou-se da plataforma GEE, conforme apresentado no Guia de Desenvolvedores (*Developers Guide*), disponível em https://developers.google.com/earth-engine/guides/charts_datatable (GORELICK et al., 2017), por meio da função *ui.Chart.image.seriesByRegion*, representando a média do NDVI a partir do conjunto de cada amostra. As tabelas contendo os dados sobre o comportamento espectro-temporal do NDVI ao longo da série, foram obtidas através de *download* em formato CSV, para posteriormente serem trabalhadas em ambiente de planilha eletrônica.

A análise gráfica e inspeção visual consistiram na identificação do lapso temporal entre a ocorrência do incêndio, comprovado por meio de inspeção de imagens em cada uma das amostras, e a retomada de valores de NDVI pretéritos ao incêndio, sendo estabelecido um valor de linha de base adquirido pelo cálculo da média dos valores de NDVI nas imagens pré incêndio e imagens de regeneração. A inspeção das imagens foi realizada por meio de composição falsacolor (R6/G5/B4) para imagens pré e de regeneração, enquanto as imagens pós incêndio foram inspecionadas pela composição de bandas R7/G5/B4, que de acordo com Liu (2006), facilitam a identificação da ocorrência.

Na etapa 5, avaliou-se a regeneração da vegetação, apoiado no conceito de “regeneração espectral” de Hird et al. (2021), considerando-se apenas a resposta do NDVI para as áreas de amostras. O decaimento do NDVI no PNSC ocorre em função de duas possibilidades: (a) questões meteorológicas e (b) ações antrópicas, a partir da redução das chuvas ou fenômenos como os incêndios florestais, respectivamente.

O cálculo de regeneração foi realizado em ambiente de planilha eletrônica, onde observou-se graficamente o comportamento do NDVI ao longo da série histórica. A partir da identificação de registros expressivamente baixos, foi realizada a inspeção na imagem com o objetivo de detectar se houve ou não a ocorrência de incêndio florestal naquela passagem.

Identificado o incêndio, o procedimento iniciava com a obtenção do valor de pico do NDVI pré incêndio, sendo este valor a representação da vegetação sadia ou sem perturbação espectral advinda de fatores externos. Logo após, inspeciona-se o comportamento temporal do índice na amostra, até que fosse encontrado um registro de NDVI igual ou superior àquele obtido em condições pré fogo.

Desta forma, calculou-se a regeneração com base na análise espectral, a partir do tempo gasto por amostra na retomada de valores espectrais de NDVI pré incêndios, para cada evento detectado ao longo de 2013 a 2021. Porém, como há 3 amostras para áreas de baixa e alta recorrência (6 no total) por fitofisionomia, optou-se pela estimativa da média dos tempos de regeneração, em função das diferentes classes de recorrência.

Aplicou-se ainda, por meio do *software* RStudio versão 1.3.1073, o teste t de *Student* ao nível de 95% de probabilidade, a fim de comparar as diferenças entre o tempo médio de regenerações entre baixa e alta recorrência por fitofisionomia, com o intuito de verificar se há diferença estatística no tempo de regeneração entre áreas com diferentes registros de recorrências.

Para um maior controle da qualidade da análise, foram interpretados dados de precipitação, pois a disponibilidade hídrica interfere na resposta espectral e, conseqüentemente, na regeneração vegetal (FURQUIM, 2018).

Desta forma, utilizou-se os dados pluviométricos do satélite CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation*), uma vez que não há estação no PNSC cadastrada na rede hidrometeorológica nacional da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Os dados pluviométricos mensais foram adquiridos através da estação CHIRPS 2.0 (FUNK et al., 2015), pelo endereço https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/global_monthly/tifs/, que foram tratados no ArcMap™ 10.6.1, no recorte do PNSC através da ferramenta *Extract by mask* e, posteriormente, trabalhados em ambiente de planilha eletrônica.

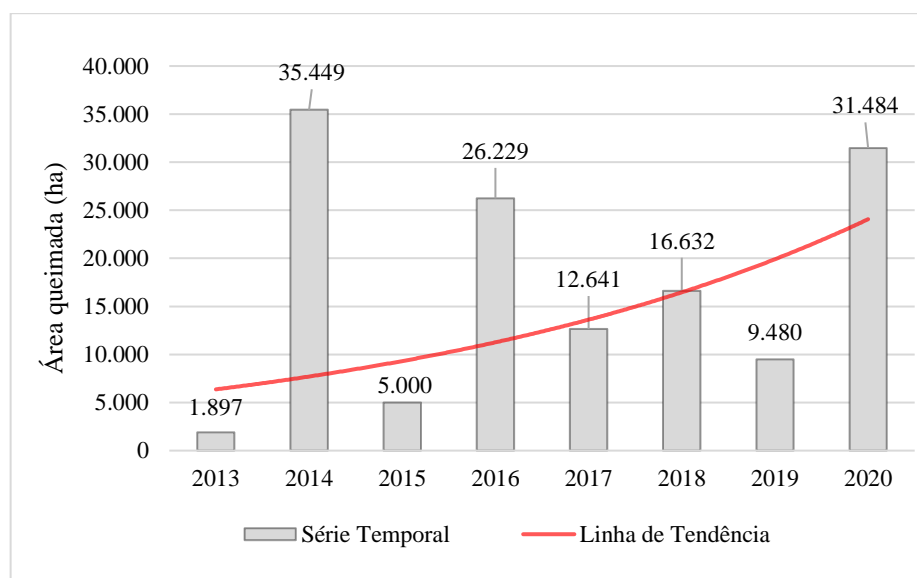
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.1. Distribuição espaço-temporal de incêndios no PNSC

O Parque Nacional da Serra da Canastra obteve entre 2013 e 2020, 70,2% de seu território afetado ao menos uma vez pelo fogo, com área total de incêndios de 138.810ha. No que se refere à distribuição temporal das cicatrizes de incêndio, os anos que se destacam por apresentarem as maiores extensões em área queimada foram: 2014, com 35.449ha (17,9% do

PNSC); 2016, com 26.229ha (13,3% do PNSC); e 2020, com 31.484ha queimados (15,9% do PNSC). O Gráfico 01 contém a estimativa anual de área queimada entre 2013 e 2020, onde evidencia-se uma tendência de crescimento médio das áreas de cicatrizes no parque, obtendo-se uma média anual de 17.352ha, com desvio padrão de 12.433ha.

Gráfico 01. Estimativa de área queimada no PNSC entre 2013 e 2020



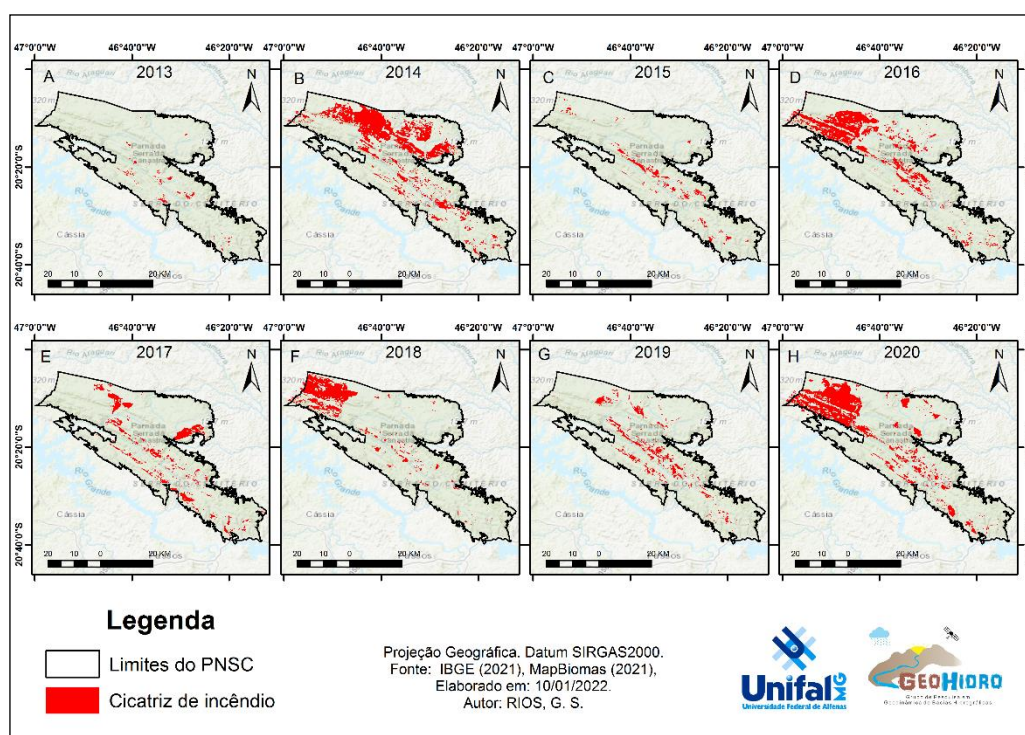
Fonte: MapBiomias Fogo (2021)

O ano de 2015 apresentou a maior queda em área queimada em relação ao ano anterior, com aproximadamente 86%, porém destacam-se como os maiores incrementos os anos de 2014 e 2016, com registros de 1.768,7% e 424,6%, respectivamente, quando comparados aos anos anteriores (2013 e 2015). Avaliações realizadas por Latuf et al. (2022) analisaram espaço-temporalmente as cicatrizes de incêndios ocorridas em Minas Gerais entre 2001 e 2020, sendo possível identificar que 2014 apresentou a maior área queimada em Unidades de Conservação do Estado, considerando apenas a série temporal do presente estudo.

No que se refere ao quantitativo dos polígonos de cicatrizes de incêndios, 2.352 foram detectados no PNSC ao longo da série temporal de 8 anos (2013 a 2020), de acordo com dados do Projeto MapBiomias (2021). Em média, 294 polígonos de cicatrizes são registrados anualmente no PNSC, com destaque para os registros históricos dos anos de 2013 e 2014, com respectivamente, 124 e 459 polígonos, referente aos anos de menor e maior detecção. Dividindo-se a média anual de área queimada pela média dos registros de polígonos de cicatrizes, obtêm-se o valor médio de 59ha queimados por cicatriz, na série temporal de 2013 a 2020.

A distribuição espacial dos incêndios (Figura 06) é condicionada por variadas características ambientais regionais, a exemplo de diferentes tipologias de vegetação e da disponibilidade de material inflamável, da sazonalidade climática, da topografia, da direção e velocidade dos ventos, além de fatores antrópicos, como o manejo inadequado de culturas, ou mesmo, pela conversão e/ou manejo da cobertura e uso da terra utilizando-se do fogo (MATOS, 2014).

Figura 06. Distribuição espacial das cicatrizes de incêndio no PNSC (2013 a 2020)



Fonte: Autor (2022)

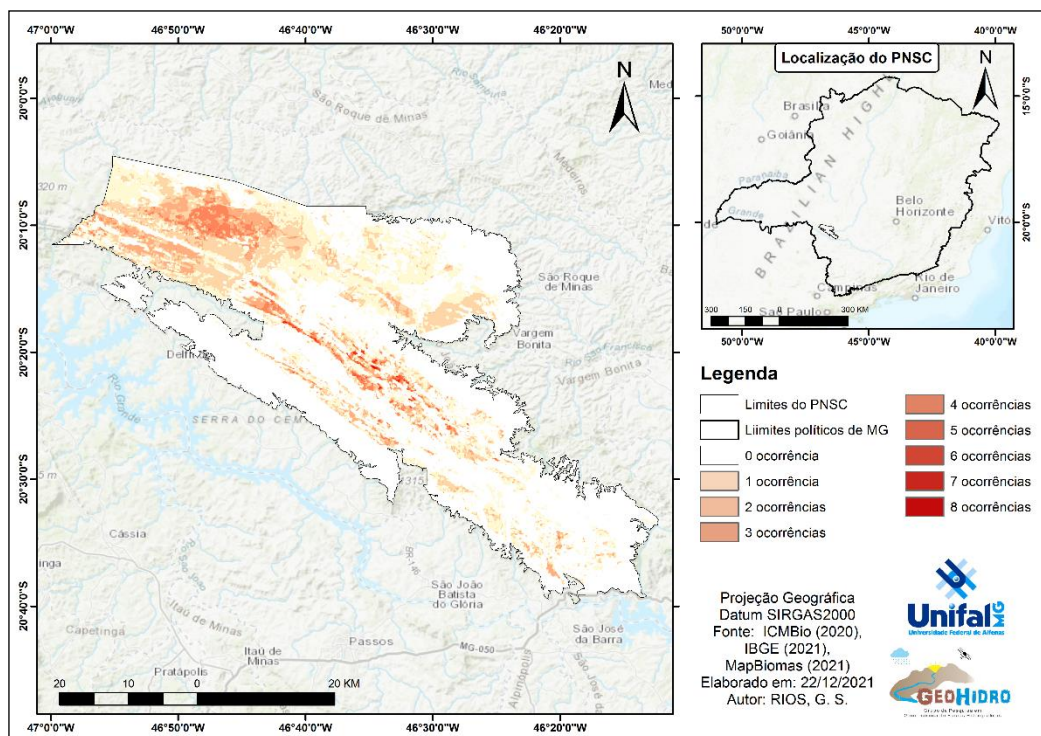
A distribuição das cicatrizes no parque evidencia algumas áreas onde a extensão dos incêndios tende a ser maior, como observado nas Figuras 06b, 06d, 06f e 06h. Incêndios de expressivas proporções foram detectados na área do Chapadão da Canastra, principalmente na região noroeste do parque.

A partir de mapeamentos sucessivos, há a possibilidade de avaliação da recorrência espacial destes fenômenos e, desta forma, nos auxilia na detecção de regiões com maiores frequências de registros e, podem apontar, direcionamentos quanto ao combate e prevenção, bem como no manejo e práticas na recuperação da vegetação, que podem ser utilizados para tomadas de decisão por parte do poder público, pois de acordo com o Art. 4º do Sistema Nacional de Unidades de Conservação, tem como objetivo contribuir para a preservação e a

restauração da diversidade de ecossistemas naturais e recuperar ou restaurar ecossistemas degradados (BRASIL, 2000).

No PNSC a espacialização da recorrência de incêndios no período de 2013 a 2020 (Figura 07), com base em dados do Projeto MapBiomass Fogo (2021), evidencia a região do Chapadão da Babilônia como a região onde registram-se as maiores recorrências de incêndios e, por outro lado, o Chapadão da Canastra destaca-se pelas expressivas extensões das cicatrizes.

Figura 07. Recorrência de incêndios no PNSC (2013 a 2020)



Fonte: Autor (2022)

Uma das hipóteses para que ocorra estas características é dada pela topografia destas duas regiões, onde o Chapadão da Canastra possui declividade média de 13%, enquanto parte do Chapadão da Babilônia localiza-se entre os relevos escarpados, com declividade média de 18%.

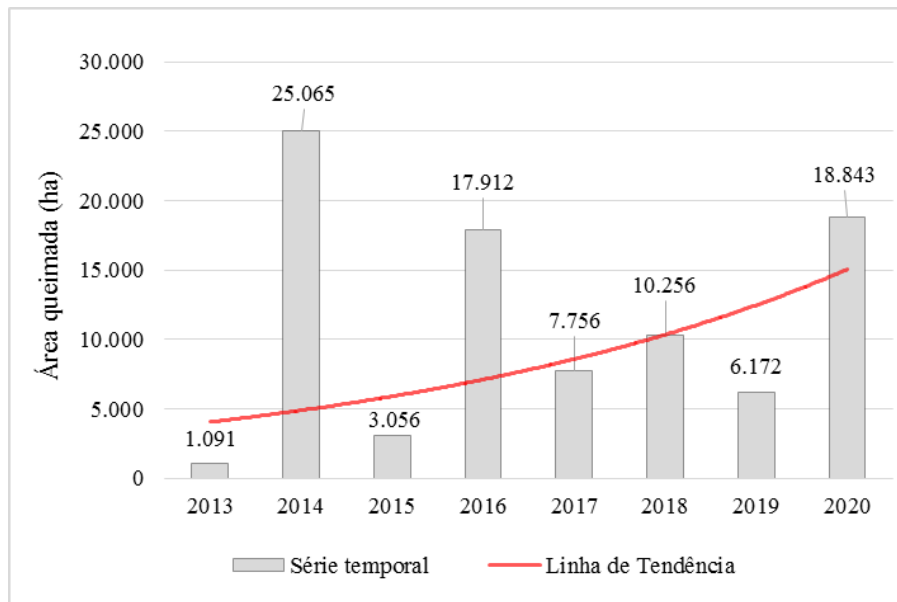
Outro fator a ser observado é a questão de regularização fundiária no PNSC, pois quase toda a área do Chapadão da Canastra, com exceção das bordas, é regularizada, enquanto toda a área do Chapadão da Babilônia não possui regularização estatal (MESSIAS, 2017). Em geral, grande parte das atividades antrópicas causadoras de distúrbios são realizadas nessa última área, a exemplo de atividades agropastoris, trilhas em que ocorrem atividades *off road*, áreas de mineração, queimadas, que impactam toda a área do parque. Este fenômeno é explicado por

Setzer et al. (2021), onde tendências de acréscimo na quantidade de incêndios foram observados em áreas limítrofes ao meio antrópico, como cidades, estradas e áreas agrícolas.

Além da avaliação espaço-temporal dos incêndios no PNSC, optou-se por analisar esta dinâmica a partir das fitofisionomias de Cerrado presentes no parque (Campo Limpo, Campo Rupestre e Cerrado), conforme dados de BRASIL (2005).

Para a análise sob a perspectiva da fitofisionomia de Campo Limpo, o Gráfico 02 ilustra a área queimada em hectares, para cada ano da série temporal. A fitofisionomia apresenta padrões semelhantes comparado ao parque como um todo, quanto à dinâmica temporal de cicatrizes de incêndios, onde as maiores ocorrências foram detectadas nos anos de 2014, 2016 e 2020, enquanto a mínima foi registrada em 2013 (1.091ha).

Gráfico 02. Estimativa de área queimada na fitofisionomia Campo Limpo (2013 e 2020)



Fonte: MapBiomias Fogo (2021)

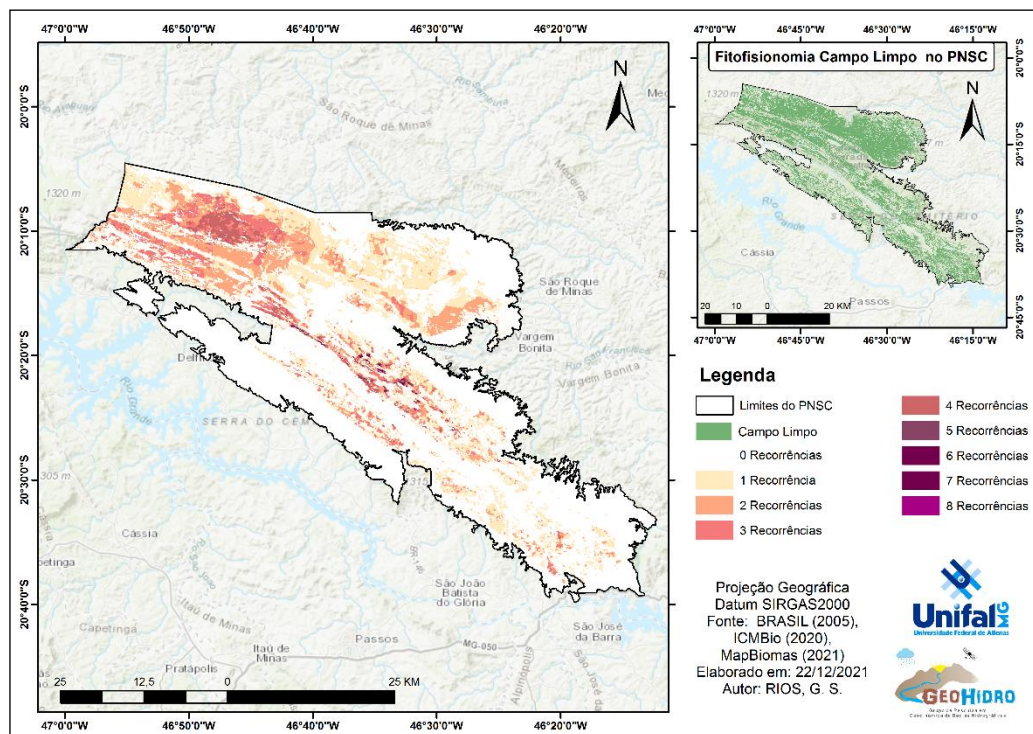
A média anual de área queimada entre 2013 e 2020 para a fitofisionomia de Campo Limpo foi de 11.269ha com desvio padrão de 8.470ha, representando 65% da média registrada para toda a extensão do PNSC.

A fitofisionomia Campo Limpo ocupa a maior área do parque (92.761ha e representa 46,9% do PNSC) e, teve 49% de sua área, queimada ao menos uma vez ao longo da série temporal de 2013 a 2020, apresentando o maior número de registros de incêndio dentre as 3 fitofisionomias analisadas, apesar de não ser a que mais queimou, proporcionalmente. No que se refere à quantidade de polígonos de cicatrizes por ano, 2014 e 2016 obtiveram as máximas,

com 399 e 332 polígonos, respectivamente, com média de 261 cicatrizes anuais para toda a série temporal. Com isso, a área queimada média por cicatriz na fitofisionomia de Campo Limpo foi de aproximadamente 43ha.

O mapa de recorrência com o recorte para a fitofisionomia pode ser observado na Figura 08 e, em sua análise, detectou-se que a região do Chapadão da Babilônia houve registros recorrentes de incêndios, pois o terreno acentuado e a baixa densidade de drenagem, favorecem a propagação mais rápida do fogo nestas áreas (MESSIAS, 2019; SETZER et al., 2021).

Figura 08. Recorrência de incêndio na fitofisionomia Campo Limpo (2013 a 2020)



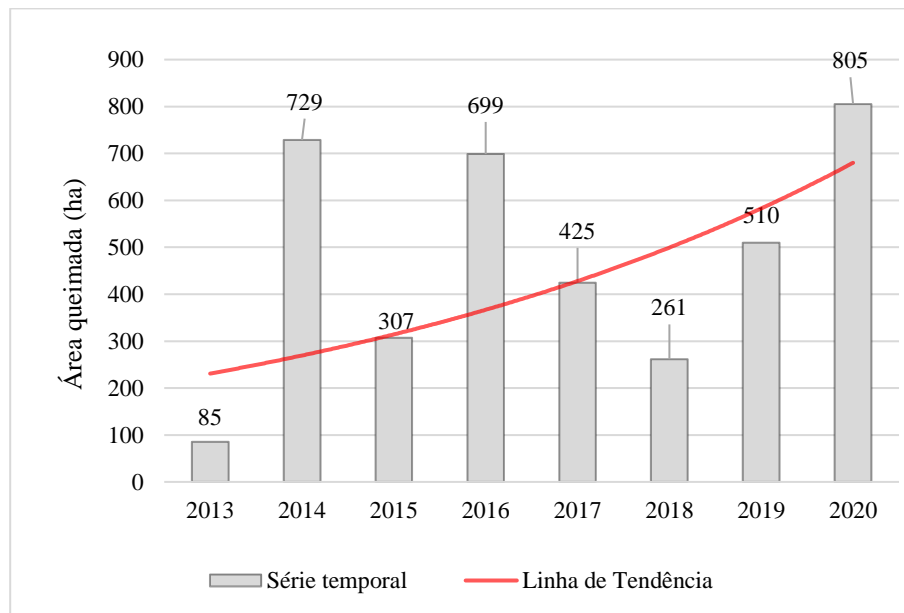
Fonte: Autor (2022)

A porção central do parque destaca-se pela concentração de áreas com coloração mais intensa no mapa, indicando que incêndios recorrentes na região são mais frequentes, com áreas que apresentaram com até 8 ocorrências ao longo da série temporal.

Áreas próximas a afloramentos rochosos no Chapadão da Canastra, na porção noroeste do PNSC, obtiveram em poucas áreas, até 8 ocorrências de incêndio ao longo da série temporal, contudo, esta região é regularizada e constituída por terrenos mais planos, com menores ocorrências de cursos de água e afloramentos rochosos. Com isso, as áreas queimadas possuem maiores extensões e menos obstáculos para sua propagação.

Já com relação à fitofisionomia de Campo Rupestre, conforme observado no Gráfico 03, obteve a maior área queimada para esta fitofisionomia em 2020 com 805ha (6,7% da fitofisionomia), seguido de 2014 com 726ha (6,1% da fitofisionomia) e 2016 com 699ha (5,8% da fitofisionomia). A média anual de área queimada obtida ao longo da série histórica foi de 478ha com desvio padrão de 254ha.

Gráfico 03. Estimativa de área queimada na fitofisionomia Campo Rupestre (2013 e 2020)

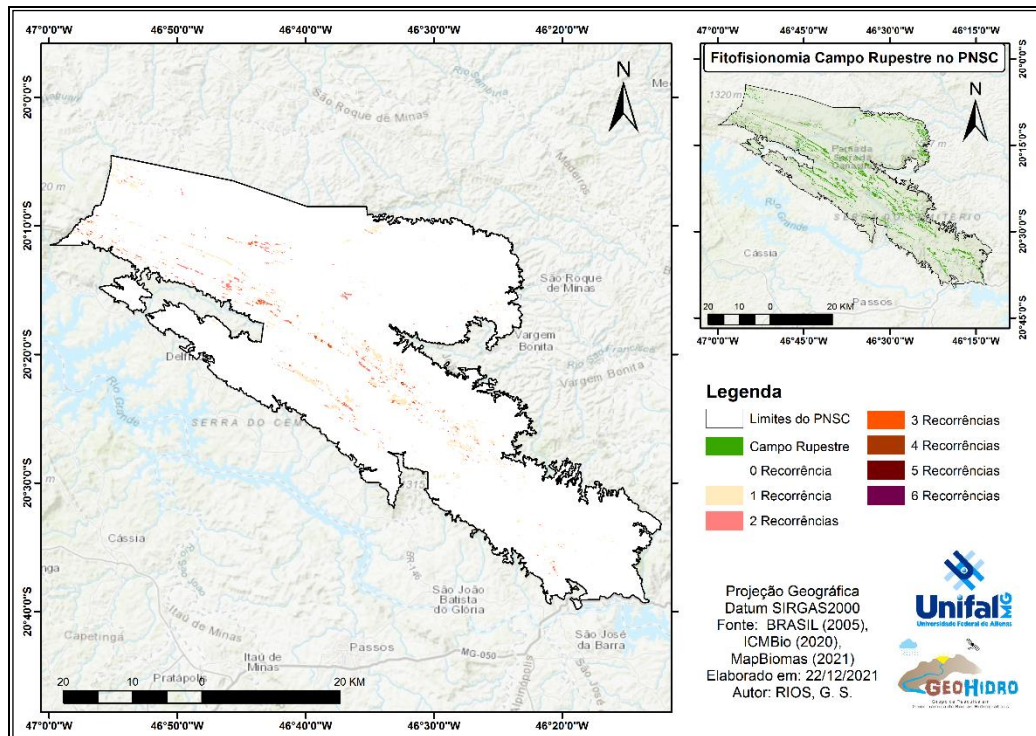


Fonte: MapBiomias Fogo (2021)

O quantitativo de cicatrizes apresentou máximas para os anos de 2014 (134 polígonos) e 2020 (121 polígonos), enquanto o ano de 2016 obteve a maior média de área queimada por polígono dentre os anos estudados, com 9ha. A fitofisionomia obteve média anual do número de cicatrizes de 81 polígonos, enquanto a média da área queimada por cicatriz foi de 5,9ha.

O Campo Rupestre, que ocupa área de 11.957ha no PNSC e apresentou ao longo da série temporal áreas com até 6 ocorrências de incêndio, com 17% de toda sua área queimada durante 8 anos (Figura 09). A declividade média da área onde encontra-se esta fitofisionomia é de 28%, evidenciando o fenômeno de rápido espalhamento do fogo, como citado anteriormente (MESSIAS, 2019; SETZER et al., 2021).

Figura 09. Recorrência de incêndio na fitofisionomia Campo Rupestre (2013 a 2020)

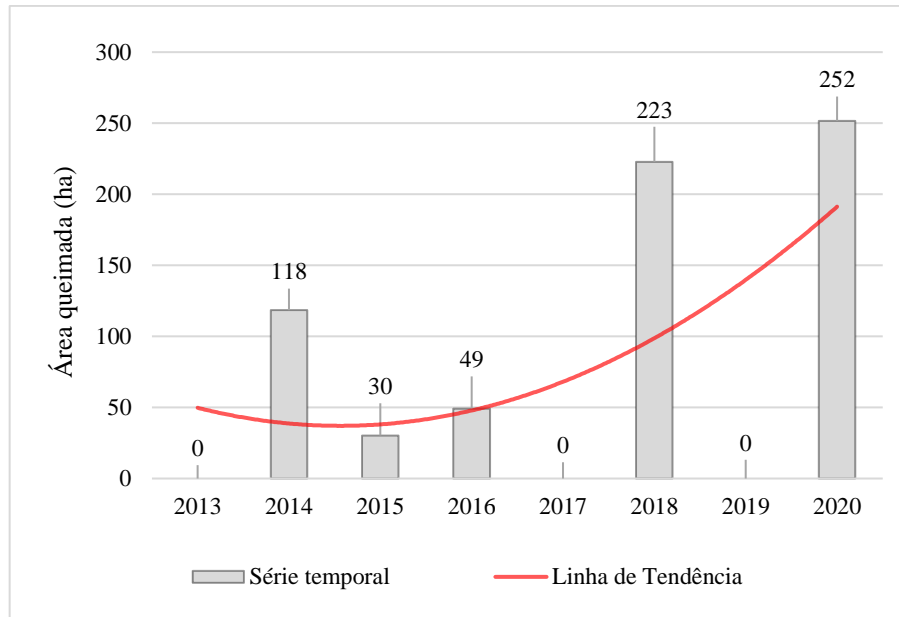


Fonte: Autor (2022)

Na borda do parque próximo à São Roque de Minas/MG e Vargem Bonita/MG, não foram detectadas ocorrências de incêndio entre 2013 e 2020, apesar da fitofisionomia estar presente na região, conforme observado na Figura 09. As áreas que apresentaram os maiores registros de recorrência estão atribuídas às áreas de relevo acidentado, na parte central do Chapadão da Babilônia.

Para a análise sob a perspectiva da fitofisionomia de Cerrado, o Gráfico 04 ilustra a área queimada em hectares, para cada ano da série temporal (2013 a 2020). Nota-se que nos anos de 2013, 2017 e 2019 não houve detecção de cicatrizes de incêndios a partir da base de dados do MapBiomias (2021), enquanto 2018 e 2020 obtiveram as máximas para a série temporal, com 223ha e 252ha, respectivamente.

Gráfico 04. Estimativa de área queimada na fitofisionomia Cerrado (2013 e 2020)



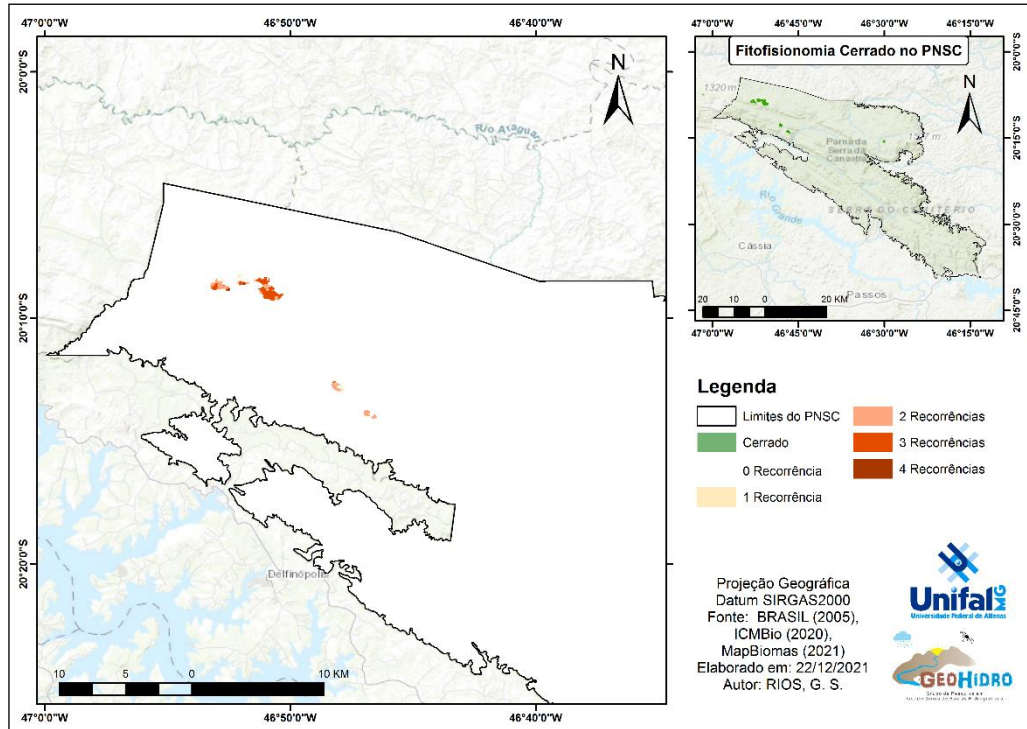
Fonte: MapBiomias Fogo (2021)

Para a média e desvio padrão anuais de área queimada (2013 a 2020), tal fitofisionomia registrou 84ha e 102ha, respectivamente, enquanto a média da área de cicatriz para todo período foi de 74ha, sendo a maior média área queimada por cicatriz entre as fitofisionomias estudadas. O ano de 2015 obteve o maior registro de polígonos de cicatrizes (4), enquanto a média de área queimada teve a ocorrência máxima em 2020, com 252ha em apenas 1 polígono o que significa 84,3% da área da fitofisionomia.

Na Figura 10 encontra-se a recorrência de incêndios ocorridos na fitofisionomia Cerrado no PNSC. Apesar de apresentar a menor área que as fitofisionomias supramencionadas (299ha), o Cerrado apresentou a maior porcentagem proporcional de área queimada ao longo da série temporal, onde 259ha foram queimados ao menos uma vez ao longo da série histórica, representando cerca de 87% da área da fitofisionomia.

Áreas de Cerrado que se localizam na porção leste do Chapadão da Canastra, não obtiveram registros de incêndios na série temporal utilizada. Parte expressiva de tal fitofisionomia encontra-se na região noroeste do parque, que sofre constantemente com incêndios. Além disso, esta fitofisionomia encontra-se “cercada” por áreas de Campo Limpo, que apresentam maiores registros de incêndios.

Figura 10. Recorrência de incêndio na fitofisionomia Cerrado (2013 a 2020)



Fonte: Autor (2022)

9.2. Regeneração espectral da vegetação no PNSC

A análise dos resultados segue a série temporal proposta no presente estudo entre 2013 e 2021, onde considerou-se o mapeamento do Projeto MapBiomias Fogo - versão beta (MAPBIOMAS, 2021), cujo último ano de registros de cicatrizes foi em 2020. Por esse motivo, a detecção da regeneração precisou ser realizada no ano de 2021, após o ciclo chuvoso, para cicatrizes detectadas em 2020.

A seleção das amostras foi realizada de acordo com o mapa de recorrência de incêndios de cada fitofisionomia, sendo as mesmas divididas entre baixa e alta recorrência, conforme a metodologia supramencionada. Como resultado, as coordenadas do pixel central das amostras (janela 9x9 pixels), podem ser verificadas na Tabela 02 e observadas suas localizações por meio da Figura 11.

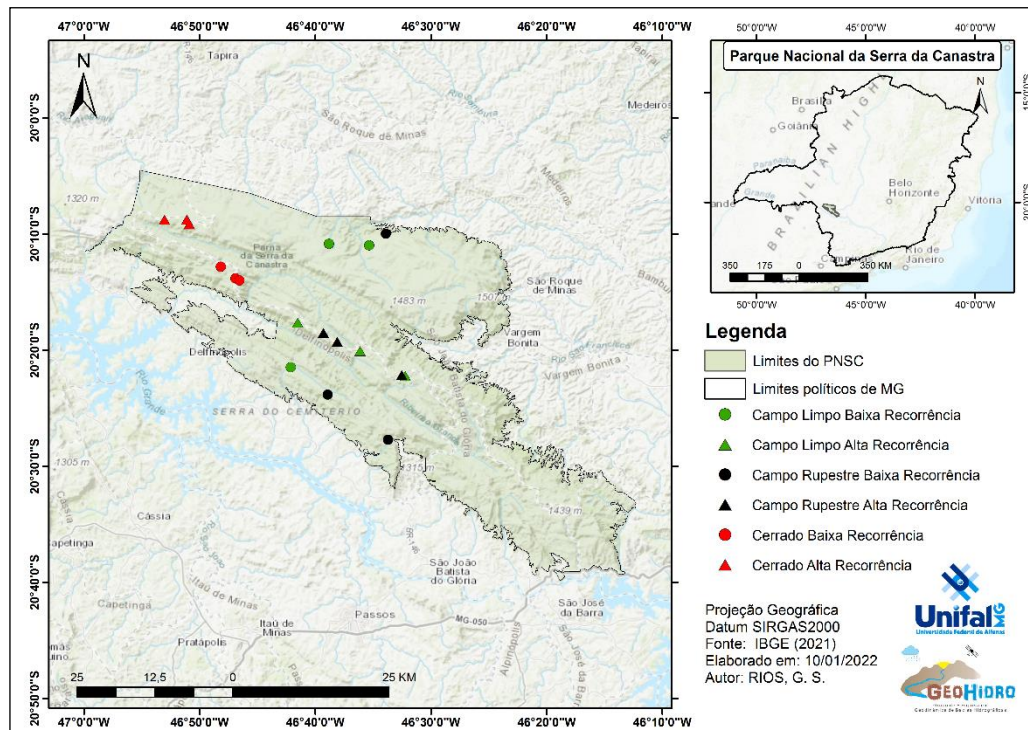
Tabela 02. Coordenadas do pixel central das amostras 9x9 pixels

Amostras	Latitude*	Longitude*	Fitofisionomia	Recorrência	
1	-20,374133°	-46,507331°	Campo Limpo	Baixa	
2	-20,222760°	-46,569253			
3	-20,347061°	-46,678217°			
4	-20,370777°	-46,536673°		Alta	
5	-20,294223°	-46,691791°			
6	-20,334968°	-46,602160°		Campo Rupestre	Baixa
7	-20,323767°	-46,631811°			
8	-20,344890°	-46,670759°			
9	-20,166738°	-46,565413°	Alta		
10	-20,309382°	-46,654814°			
11	-20,321907°	-46,635366°			
12	-20,369364°	-46,541938°	Cerrado	Baixa	
13	-20,259601°	-46,502199°			
14	-20,213296°	-46,803282°			
15	-20,233657°	-46,776302°		Alta	
16	-20,146528°	-46,884145°			
17	-20,146518°	-46,884151°			
18	-20,146592°	-46,852072°			

*Obtidas a partir da projeção Geográfica e datum horizontal WGS-84.

Fonte: Autor (2022)

Figura 11. Localização das amostras nas fitofisionomias de Cerrado no PNSC



Fonte: Autor (2022)

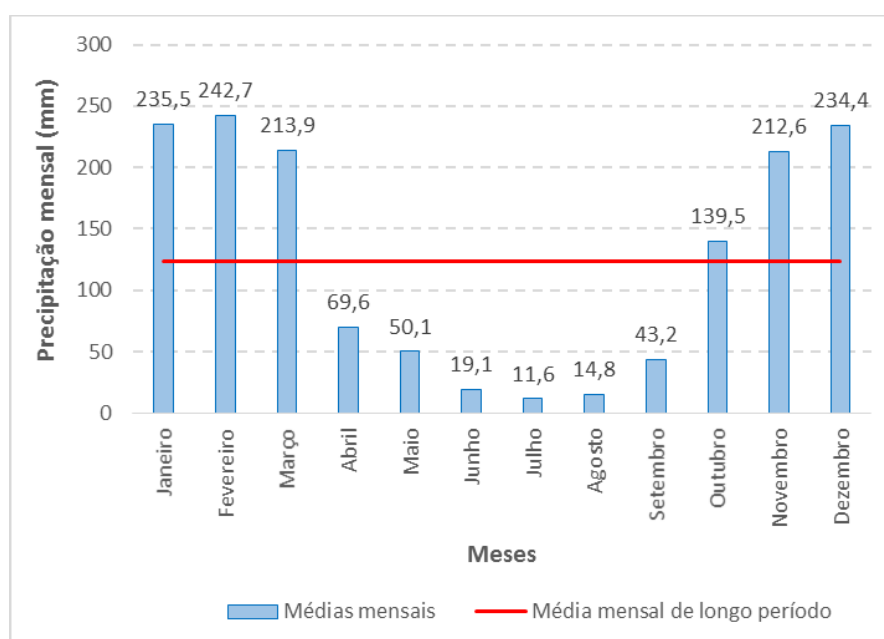
O procedimento metodológico impôs dificuldades na etapa de seleção das amostras, em virtude da exclusão de áreas nas proximidades da rede de drenagem e de afloramentos rochosos,

além de obedecer a divisão por baixa e alta recorrência. Outro ponto complicador, foi a extensão das fitofisionomias Campo Rupestre e Cerrado no PNSC, pois correspondem a uma menor proporção do parque, e quando “somada” aos pré-requisitos e à disponibilidade de imagens, poucas áreas “restaram” para alocação das amostras.

Outro fator a ser levado em consideração são as condições climáticas, pois mudanças de umidade da vegetação, refletem diretamente no regime de incêndios (BRANDO et al., 2016), bem como na resposta ao índice espectral NDVI. Segundo estudos presentes na obra de Setzer et al. (2021), existe uma relação de decréscimo exponencial na quantidade de polígonos de cicatrizes com a elevação da precipitação.

Dados de precipitação mensais do satélite CHIRPS 2.0, obtidos entre 2013 e 2021, foram tratados e podem ser observados nos Gráficos 05 e 06, relacionados respectivamente aos dados mensais e anuais.

Gráfico 05. Precipitação média mensal do PNSC (2013 a 2021)



Fonte: CHIRPS (2021)

Observa-se que os meses que apresentam os maiores valores pluviométricos (período chuvoso) tem início em outubro e encerrando-se em março, pois as precipitações médias mensais superam a média de longo período (123,9mm). Já o período de estiagem tem início no mês de abril, com término em setembro, pois as precipitações médias mensais ficam abaixo da média de longo período. Tais características corroboram com estudos realizados por Nascimento et al. (2020), Coutinho (2002) e Alves et al. (2011). Já com relação aos meses de

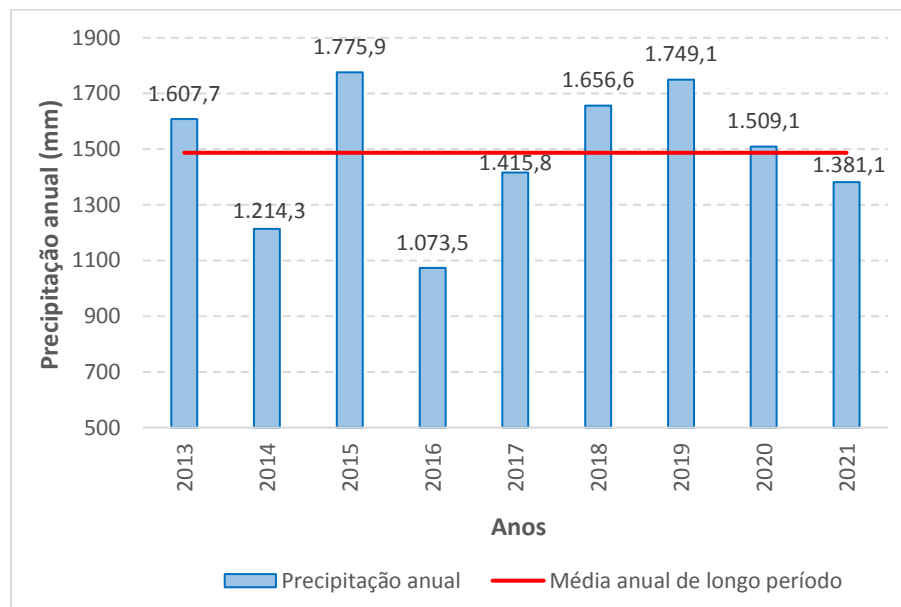
maior e menor lâmina precipitada, destacam-se os meses de fevereiro e julho com lâmina média de 242,7mm e 11,6mm, respectivamente.

Por ser uma precipitação estimada via orbital, cabe demonstrar sua acurácia, porém no PNSC não há registros de estações da Rede Hidrometeorológica da ANA, inviabilizando esta estimativa. Entretanto, estudo realizado por Ribeiro Junior (2019) na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas, obteve o valor médio mensal de Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) de 36,3mm/mês.

O fim do período chuvoso de cada ano marca também o fim do período de regeneração de incêndios ocorridos no ano anterior, uma vez que a grande maioria dos incêndios são registrados nos meses de baixa precipitação, entre abril e setembro.

Com relação às médias pluviométricas anuais registradas pelo satélite CHIRPS para o PNSC, no período de 2013 e 2021 (Gráfico 06), registrou-se média anual de longo período de 1.487,0mm, com lâminas máximas detectadas nos anos de 2015 (1.775,9mm) e 2019 (1.749,1mm), enquanto as mínimas foram detectadas nos anos de 2016 (1.073,5mm) e 2014 (1.214,3mm).

Gráfico 06. Precipitação média anual do PNSC (2013 a 2021)

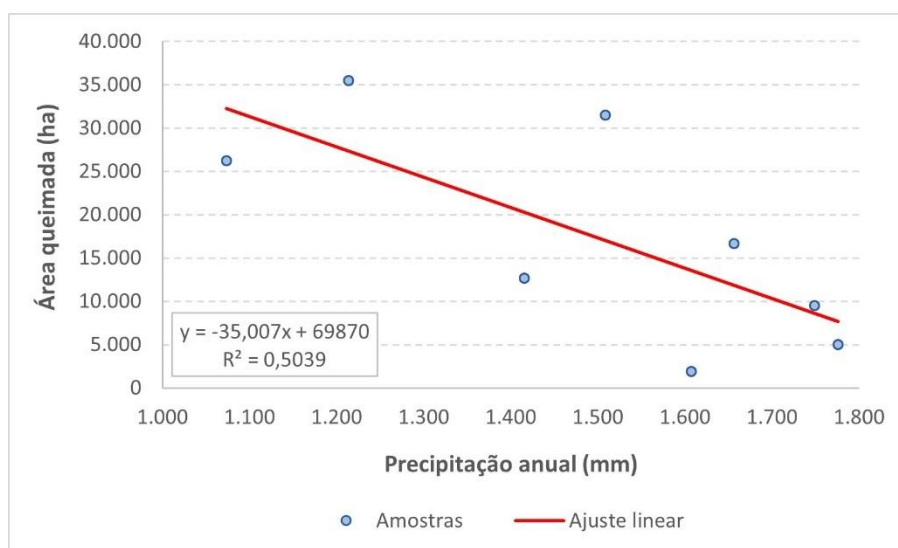


Fonte: CHIRPS (2021)

Os anos que obtiveram as menores lâminas precipitadas apresentaram um número expressivo de incêndios, a exemplo de 2014, com média pluviométrica de 1.214,3mm e 35.499 cicatrizes (máxima ocorrência de cicatrizes no período de análise), bem como 2016, com média de 1.073,5mm e 26.229 cicatrizes.

Quando analisada a correlação, pelo método de Pearson, entre precipitação e incêndios florestais no PNSC, verificou-se que há a tendência redução de cicatrizes de queimadas com o aumento das lâminas precipitadas anuais (Gráfico 07), chegando-se à mesma conclusão de Setzer et al. (2021).

Gráfico 07. Correlação entre cicatrizes de incêndios e precipitação no PNSC (2013 a 2020)



9.2.1. Regeneração em Campo Limpo

Em todas as amostras selecionadas, tanto de baixa quanto de alta recorrência, na fitofisionomia de Campo Limpo, foram observadas que há concordância entre o mapa de recorrência adquirido do MapBiomas Fogo (versão beta) e o NDVI calculado no presente trabalho, evidenciando a efetividade do índice em identificar incêndios ocorridos no PNSC.

Por se tratar de uma fitofisionomia predominantemente herbácea (Figura 12), apresenta quantidades baixas de arbustos e a total ausência de árvores, com variações de umidade, profundidade e fertilidade do solo. Após a ocorrência do fogo, o reestabelecimento dos índices de vegetação aos valores pré-fogo pode superar os índices das áreas de referência. Isso ocorre devido a maior disponibilização de nutrientes nas camadas mais superficiais que são absorvidas pelas gramíneas, que apresentam alta taxa fotossintética (COUTINHO, 1990).

Figura 12. Fitofisionomia Campo Limpo no PNSC



Fonte: Latuf (2012)

Em estudos realizados por Barbosa (2005) e Aragão et al. (2008), verificou-se a correlação entre incêndios florestais e pluviosidade, tendo como resultado que a extensão e a frequência dos incêndios estão diretamente relacionadas à sazonalidade. Aragão et al. (2008) destacam que ações antropogênicas, como mudanças no uso da terra, modificam tanto a sazonalidade, quanto os padrões anuais de ocorrência de incêndios, e que eventos de seca, podem aumentar significativamente o número de incêndios.

Assim, assume-se que a variabilidade temporal de resposta espectral da vegetação, identificada neste estudo pelo NDVI, é dada em função de dois fatores, (a) a sazonalidade climática do regime de precipitações e (b) pela ação do fogo.

Adotou-se, do ponto de vista analítico, uma linha de base para a análise de cada perfil espectro-temporal nas 18 amostras analisadas, que evidencia a média dos registros mais elevados de NDVI ao longo da série histórica de dados. A linha de base foi estabelecida como critério para a definição do limiar de regeneração, sendo adotadas como regeneração de base espectral, valores de NDVI que superassem ou ficassem muito próximos à linha de base.

A Tabela 03 apresenta uma síntese do tempo de regeneração estimada para cada uma das seis amostras inspecionadas na fitofisionomia de Campo Limpo, seja de baixa ou alta recorrência de incêndios.

Tabela 03. Número de dias necessários à regeneração em Campo Limpo no PNSC

Campo Limpo	Amostras					
	Baixa recorrência			Alta recorrência		
	1	2	3	4	5	6
Incêndio 1	74	113	209	625	193	280
Incêndio 2	170	-	-	-	600	168
Incêndio 3	-	-	-	161	273	645
Incêndio 4	-	-	-	984	577	273
Incêndio 5	-	-	-	263	-	305
Incêndio 6	-	-	-	193	-	241
Média por amostra	122	113	209	445	411	319
Média baixa recorrência	142					
Média alta recorrência	385					
Média Campo Limpo	263					

Fonte: Autor (2022)

Foram detectadas 19 ocorrências de incêndios na fitofisionomia de Campo Limpo. A média para regeneração desta fitofisionomia, em áreas de baixa recorrência de incêndios, foi de 142 dias ou 4,7 meses ($n = 4$), oscilando de 74 a 209 dias. Já a média para áreas de alta recorrência foi de 385 dias ou 13 meses ($n = 15$), obtendo variações médias entre 319 e 445 dias. A média obtida para todas as 6 amostras ($n = 19$) foi de 263 dias ou 8,7 meses.

Cabe ressaltar as variabilidades encontradas nas mesmas amostras, a exemplo da amostra 1 (baixa recorrência), onde foram detectados 74 dias para a regeneração de um evento de fogo, enquanto o segundo evento, o tempo necessário para a regeneração foi de 170 dias. Outras variações também chamam a atenção, como no caso da amostra 4 (alta recorrência), onde a amplitude de dias foi de 823 dias ou 27,4 meses, evidenciando uma possível heterogeneidade entre localidades da própria fitofisionomia tendo como agente principal, a recorrência de incêndios.

A média por amostra evidencia que, mesmo se tratando de regiões similares do ponto de vista fitofisionômico e da recorrência de incêndios, diferenças são encontradas, como a exemplo das amostras 1 e 2, que possuem diferença média de 9 dias, enquanto foi necessário quase o dobro do tempo para a amostra 3 superar valores de NDVI pretéritos ao incêndio (209 dias).

No quesito de diferenciação estatística entre os tempos de regeneração em diferentes classes de recorrência (baixa e alta), o teste t de *Student*, apontou que há diferença estatística entre as médias das amostras, ao nível de 10% de significância (Figura 13), com *p-valor* de 0,0025. Isto evidencia que há diferença, estatisticamente significativa, no ritmo de regeneração entre amostras de baixa e alta recorrência, com diferença média de 242 dias ou 8,1 meses.

Figura 13. Resultado do teste t para amostras de baixa e alta recorrência em Campo Limpo

```

welch Two Sample t-test
data: CL_AR and CL_BR
t = 3.5272, df = 16.987, p-value = 0.002589
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
90 percent confidence interval:
 123.6038 364.1962
sample estimates:
mean of x mean of y
 385.4    141.5

```

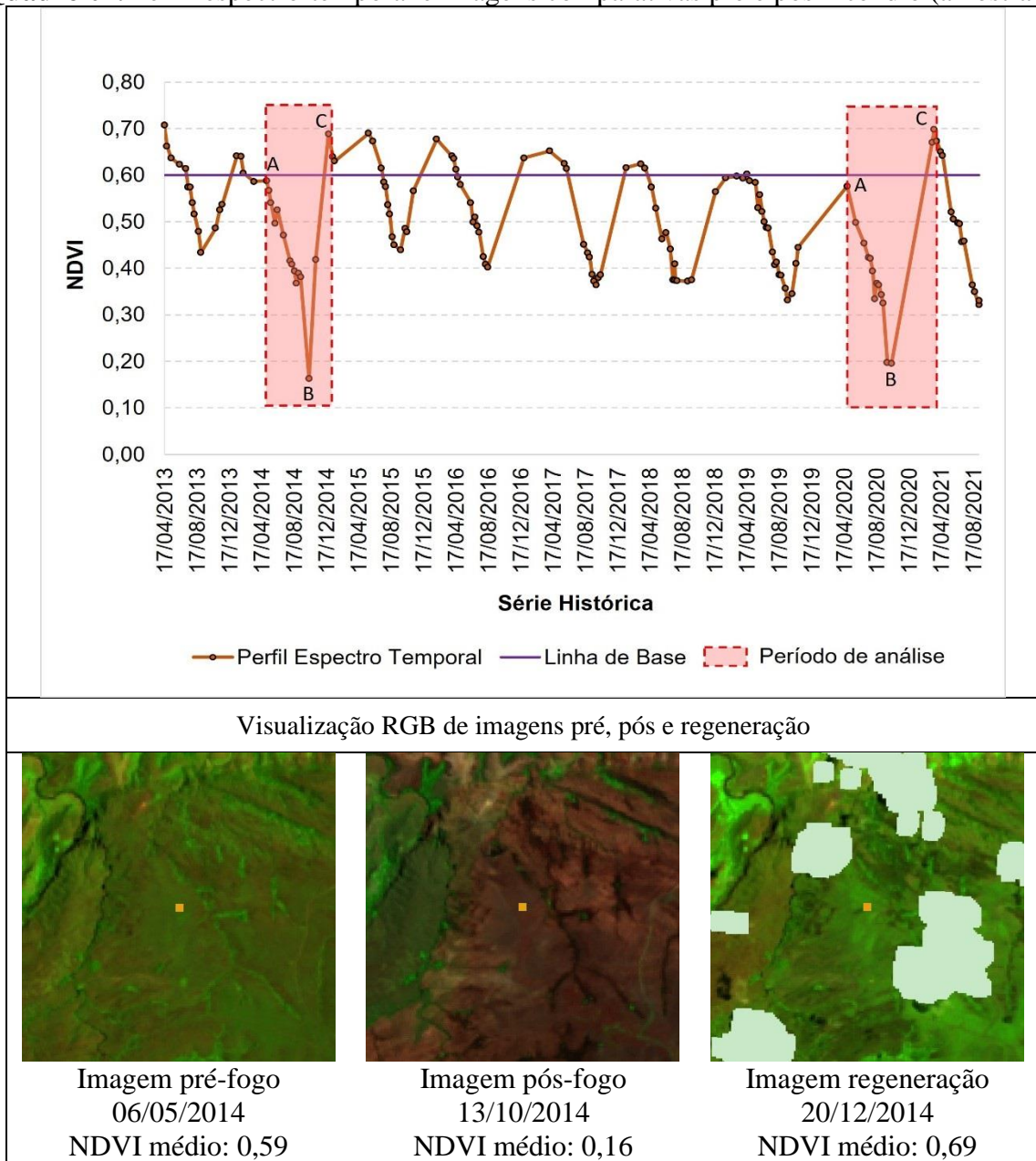
Fonte: Autor (2022)

As respostas espectrais do NDVI, podem ser visualizadas a partir dos perfis espectro-temporais da vegetação, onde o período de análise é evidenciado por áreas em vermelho no gráfico, tendo as letras “A” a correspondência à imagem pré-incêndio; “B” correspondente à imagem pós-incêndio e, a letra “C” correspondente à imagem de regeneração. A diferença de tempo entre as imagens “B” e “C” diz respeito ao tempo necessário para a retomada de padrões espectrais pré-incêndio.

No Quadro 1 observa-se a análise dos incêndios da amostra 1, com predomínio de baixa recorrência. Nesta amostra foram observados dois incêndios, sendo o primeiro com regeneração calculada em 74 dias e o segundo com 170 dias, resultando em 122 dias necessários em média. É possível associar o fenômeno observado por Coutinho (1990), pois dentre os dois incêndios observados ao longo da série temporal, houve superação do NDVI perante os valores anteriores aos incêndios.

Também estão presentes no Quadro 01 as imagens em composição RGB (R6/G5/B4) para as datas pré-incêndio e de regeneração. Quanto à imagem pós fogo, optou-se por utilizar a composição de bandas R7/G5/B4 do sensor OLI, acoplado no satélite Landsat 8, que evidencia a cicatriz de incêndio (LIU, 2006).

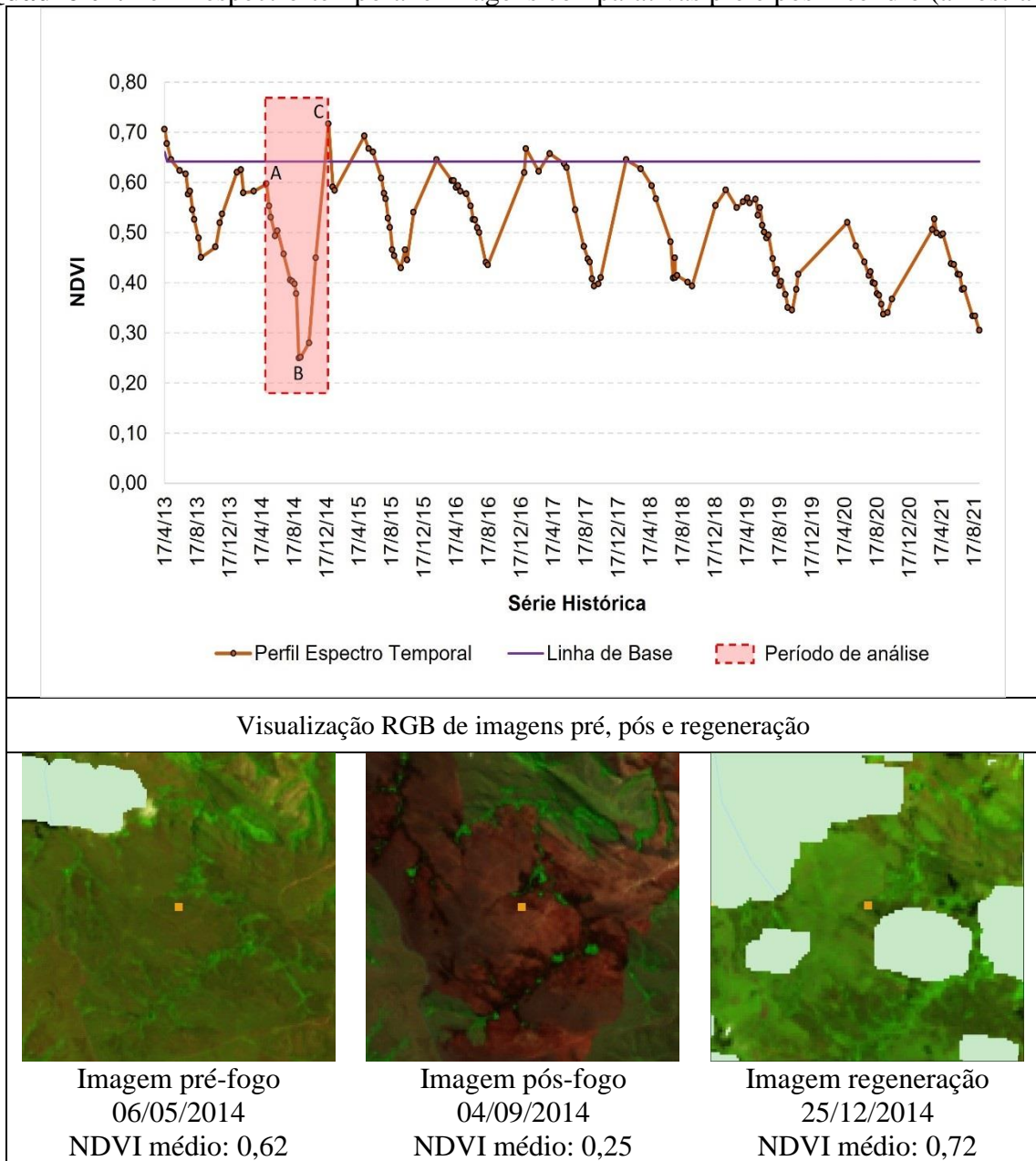
A primeira análise inicia-se na data 06/05/2014, com NDVI de 0,59, com decaimento do valor, tendo influência a sazonalidade climática, até a data de detecção da cicatriz em 13/10/2014, que apresentou NDVI médio de 0,16. A recuperação da área é a mais rápida dentre as 3 amostras alocadas em baixa recorrência em Campo Limpo, pois após 2,4 meses (74 dias), os valores de NDVI superaram o valor pré ocorrência, como observado no Quadro 01.

Quadro 01. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 1)

Fonte: Autor (2022)

A segunda ocorrência de incêndio na amostra 1, com início em 27/09/2020, necessitou de mais tempo para a recuperação dos valores de NDVI quando comparada à primeira ocorrência, contudo, nota-se que a imagem regeneração apresenta NDVI maior que na imagem pré, 0,58 e 0,67, respectivamente às imagens “A” e “C”, possivelmente pela escassez de imagens no período chuvoso.

Na amostra 2 foi identificada apenas uma ocorrência de incêndio ao longo da série histórica de dados, detectado no dia 04/09/2014 (Quadro 02), indicado pela letra “B”.

Quadro 02. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 2)

Visualização RGB de imagens pré, pós e regeneração

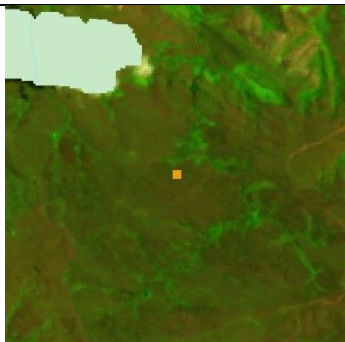


Imagem pré-fogo
06/05/2014
NDVI médio: 0,62

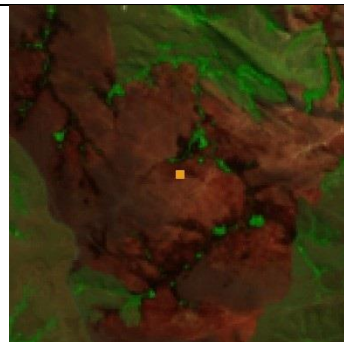


Imagem pós-fogo
04/09/2014
NDVI médio: 0,25

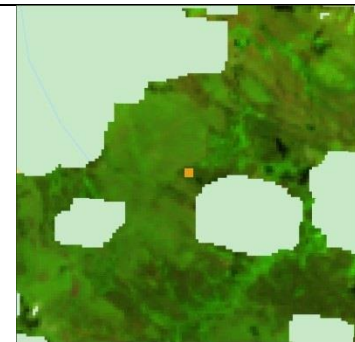


Imagem regeneração
25/12/2014
NDVI médio: 0,72

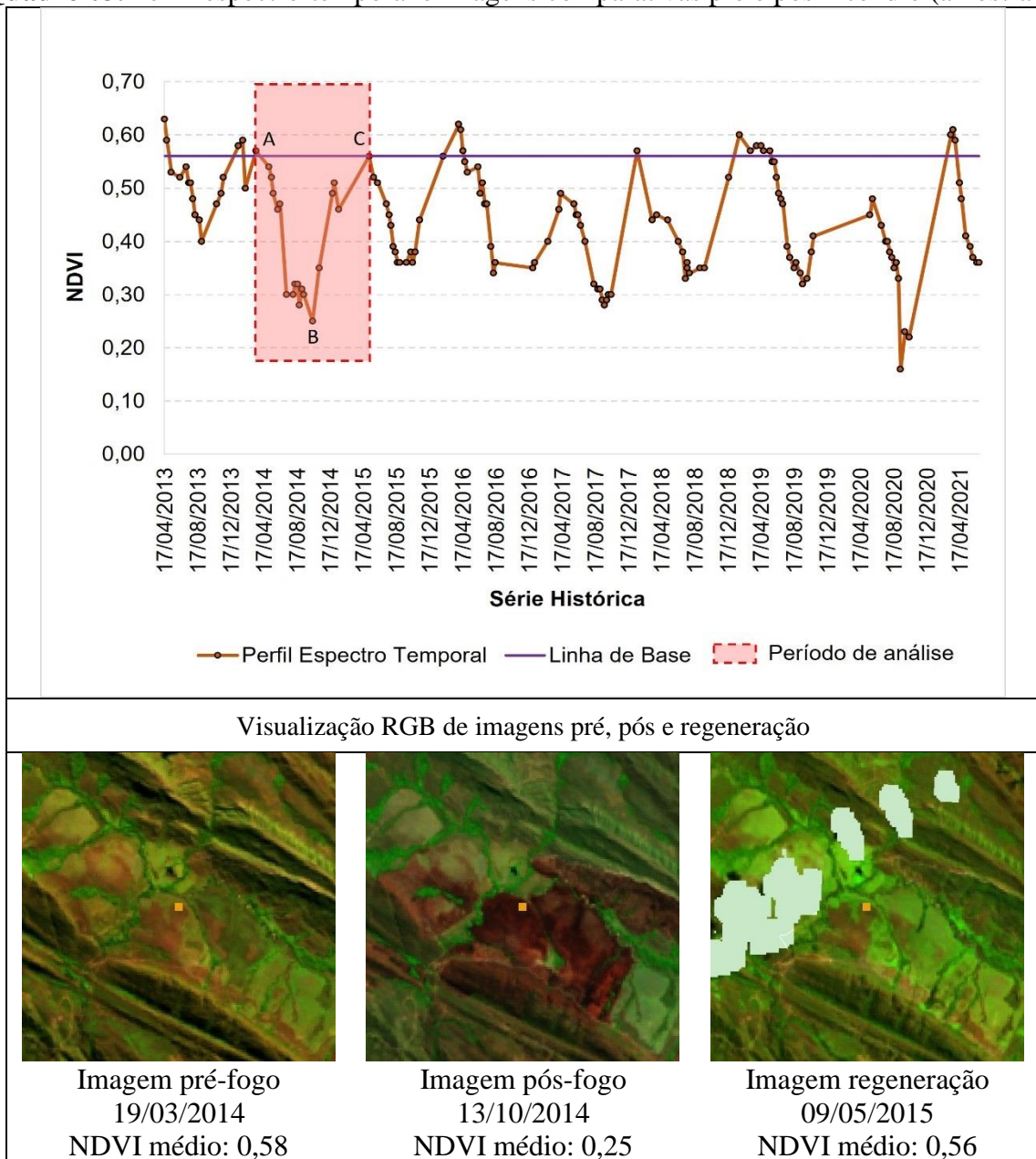
Fonte: Autor (2022)

O valor de NDVI pós incêndio também supera o valor pré, com 0,72 e 0,62, respectivamente. A área de amostra precisou de 113 dias para que os valores espectrais atingissem valores próximos aos anteriores. A partir de 2018, nota-se o decaimento de NDVI para a amostra, tanto para períodos chuvosos, quanto para períodos de estiagem, obtendo em 2021, valores de NDVI de 0,30, que é próximo ao NDVI pós incêndio da amostra (0,25).

O Quadro 02 também evidencia a dinâmica pré incêndio, com início em 06/05/2014 e NDVI de 0,62, sendo que há o decaimento das respostas espectrais do NDVI até a data de registro da cicatriz de incêndio, motivado sobretudo, pela redução das precipitações.

A amostra 3 apresentou valores expressivamente baixos de NDVI, quando comparados as amostras 1 e 2. Foram observadas duas ocorrências de incêndio durante o período de análise, sendo a primeira em 13/10/2014 e a segunda em 11/09/2020, contudo, somente a primeira ocorrência foi analisada, pois o valor de “A” da segunda ocorrência, encontra-se distante da linha de base, conforme apresentado no Quadro 03. Nota-se que no ano de 2017 e 2020 os valores de NDVI não superaram a linha de base, mesmo no período chuvoso.

Quadro 03. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 3)

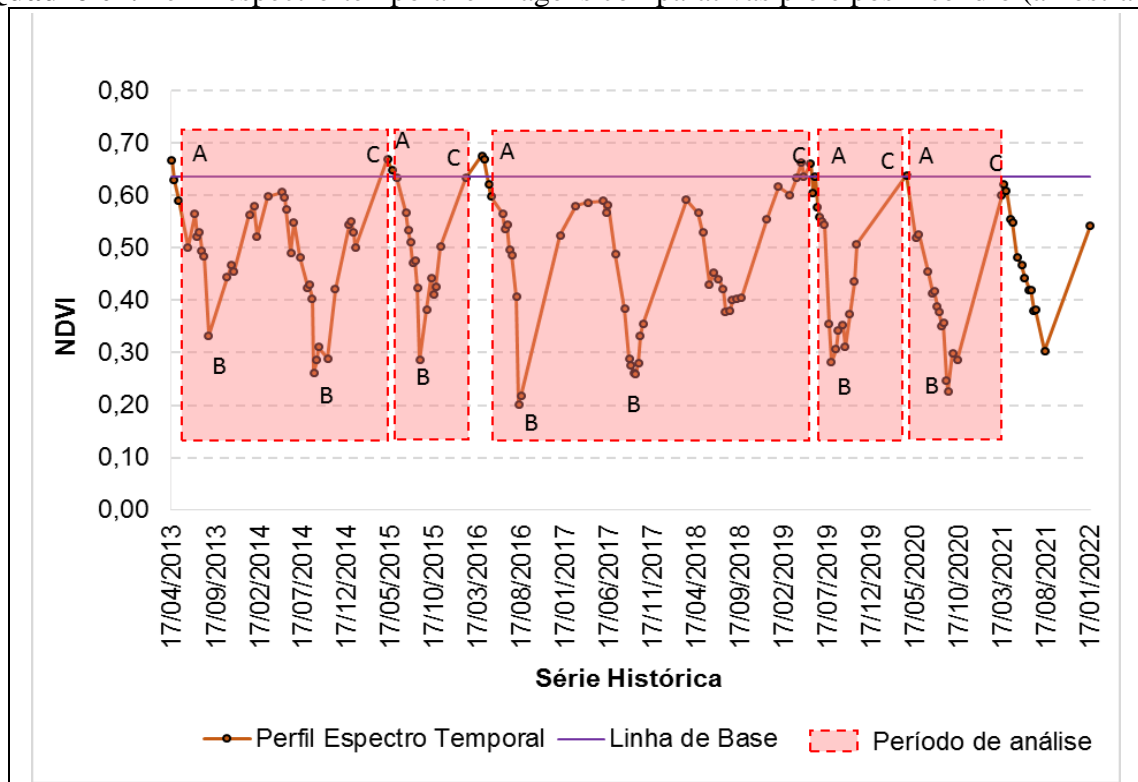


O Quadro 03 ilustra a dinâmica processual pré incêndio em 19/03/2014 com NDVI de 0,58, pós incêndio em 13/10/2014 com NDVI de 0,25, e regeneração em 09/05/2015 com NDVI de 0,56. O tempo necessário para regeneração da amostra 3 foi a máxima estimada (209 dias), dentre as 3 amostras alocadas em áreas de baixa recorrência de incêndios no PNSC.

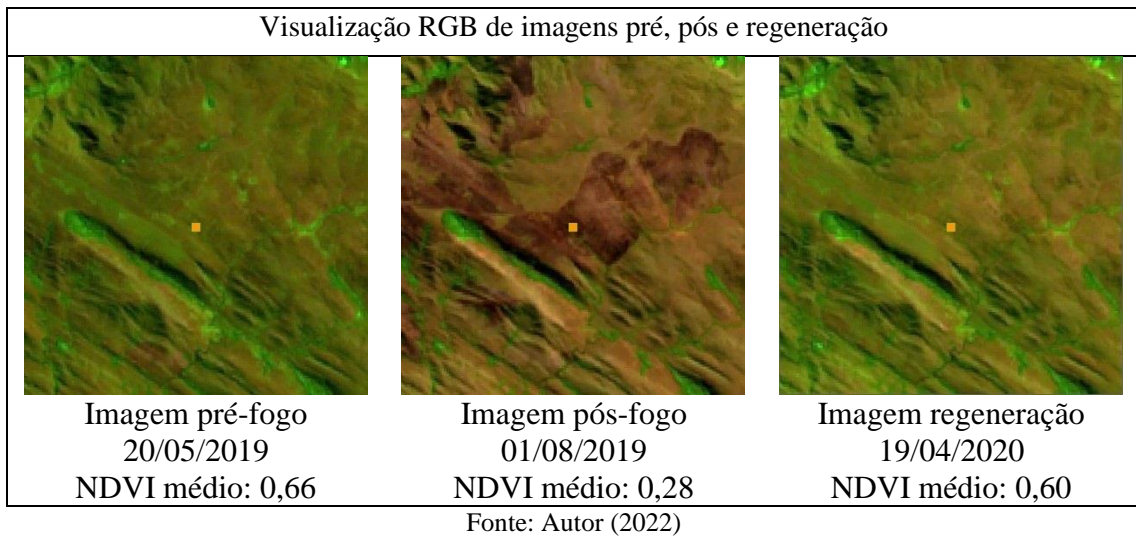
Com relação às análises em amostras alocadas em áreas de alta recorrência para a fitofisionomia Campo Limpo, observa-se que o perfil espectro-temporal apresenta uma maior recorrência de valores baixos de NDVI, evidenciando que a localização das amostras está de acordo com o mapa de recorrência gerado pelo MapBiomas Fogo (2021).

A amostra 4 (Quadro 04) apresentou cinco períodos de análise, no qual foram identificados 7 incêndios, identificados pela letra “B”. No primeiro e terceiro períodos de análises, houve a ocorrência de um segundo incêndio, antes mesmo que valor de NDVI retomasse ao padrão pretérito, evidenciando que a alta recorrência de incêndios altera o ciclo natural de sucessão ecológica.

Quadro 04. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 4)



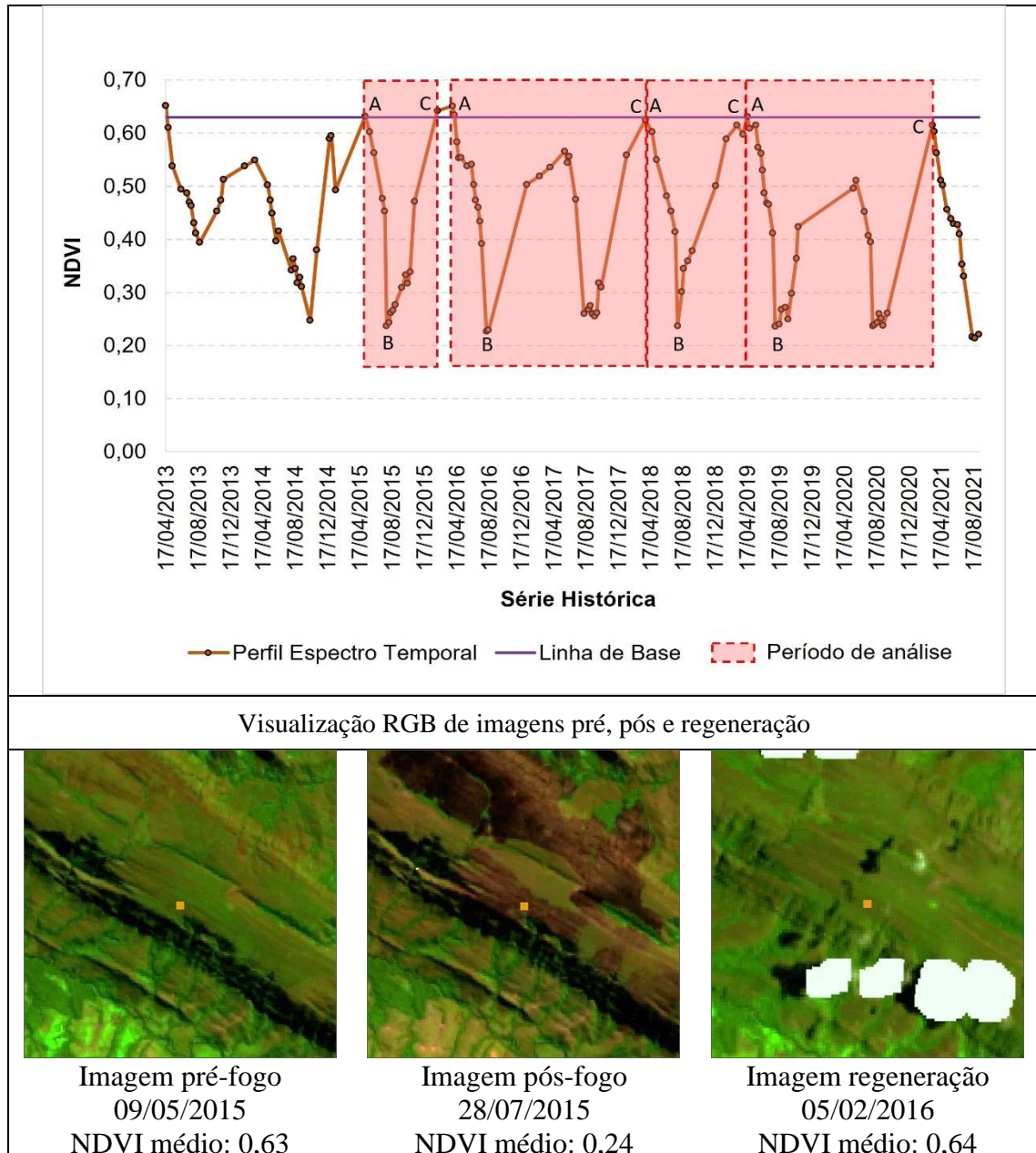
(continua)



A amostra 4 apresentou 7 registros de incêndio entre 2013 e 2021, divididos em 5 períodos de análise, a exemplo da imagem pós incêndio datada em 01/08/2019, com NDVI de 0,28, e imagem de regeneração datada em 19/04/2020 (262 dias), com NDVI de 0,60. A amostra obteve o tempo máximo necessário à regeneração, quando comparada à todas as amostras do presente estudo, onde um incêndio foi detectado em 08/08/16 e sua regeneração detectada apenas em 18/04/19, ou seja, após quase 3 anos de sua ocorrência.

Outro fato notável é a heterogeneidade entre o tempo necessário para regeneração dentre os períodos analisados para a amostra 4. A amplitude entre o tempo mínimo (período de análise, com 161 dias) e o máximo (período de análise 4, com 984 dias), é de 27,4 meses (823 dias), evidenciando que a dinâmica do fogo altera diretamente a sucessão ecológica, uma vez a recorrência do fenômeno interrompe o processo de regeneração natural.

Com relação à amostra 5 (Quadro 05), mesmo apresentando valores expressivamente baixos de NDVI ao longo da série temporal, não obteve registros sucessivos de incêndios entre os processos de regeneração, como na amostra 4. Contudo, vale ressaltar mais uma vez o papel da sazonalidade na resposta espectral do NDVI, além da importância da inspeção de campo na conferência dos registros de incêndios. Neste último caso, a pandemia do novo coronavírus SarsCov-19, impediu a realização de trabalhos de campo no diagnóstico da regeneração.

Quadro 05. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 5)

Fonte: Autor (2022)

O primeiro período de análise, com imagem pós incêndio datada em 28/07/2015, registrou NDVI de 0,24 e obteve rápido reestabelecimento, tendo o menor tempo para regeneração da amostra datada em 05/02/2016 (193 dias), com NDVI de 0,64. Entretanto, para o segundo período de análise, foram necessários 20 meses (600 dias) até que o índice retornasse à linha de base, com imagem pós incêndio datada em 08/08/2016 (NDVI de 0,23), e imagem de regeneração datada em 30/03/2018, com 0,63 de NDVI.

Tanto o segundo período de análise (18/04/2016 a 30/03/2018), como o quarto período de análise (20/05/2019 a 15/03/2021) apresentam um padrão semelhante de interrupção de sua

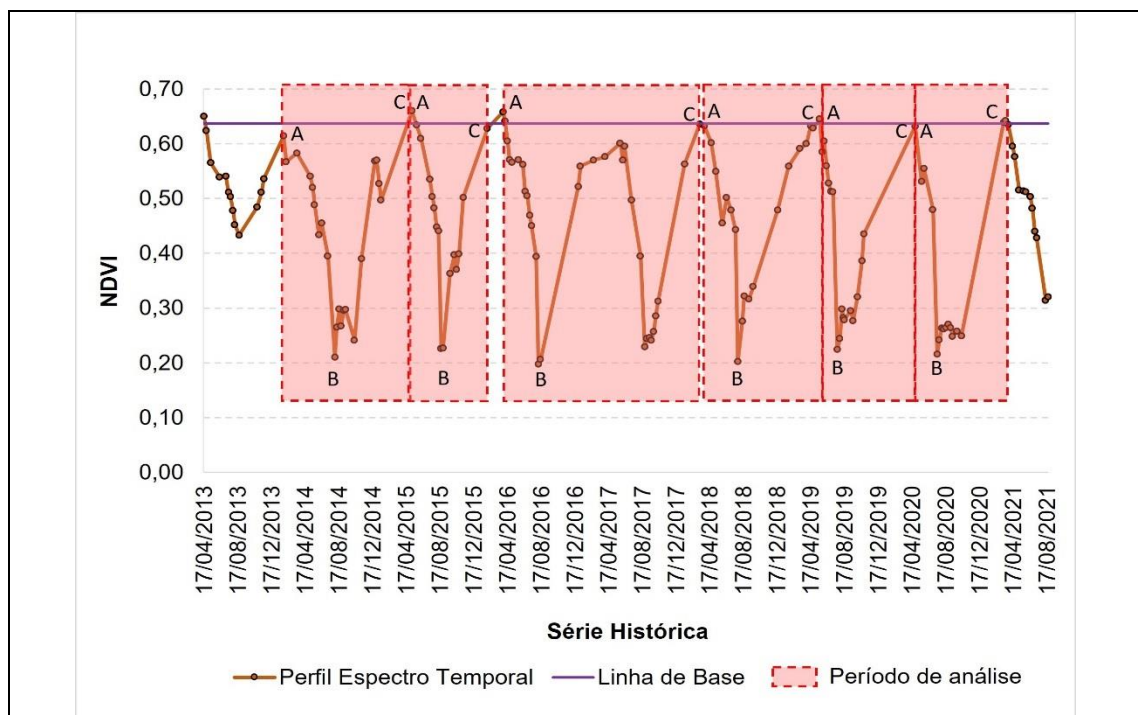
regeneração, porém pela ação sazonal, pois não foram identificadas cicatrizes nestas datas. A média para todos os registros de incêndios da amostra 5, foi de 13,7 meses (411 dias) necessários para regeneração.

A amostra 5 apresentou valores de NDVI decaídos induzido pela sazonalidade climática, como observado em todas as amostras. Após o incêndio, quando o NDVI não se reestabelece, os valores espectrais do próximo ciclo de estiagem são próximos ao valor obtido pós incêndio, tendo a influência climática como possível causadora de tal fenômeno.

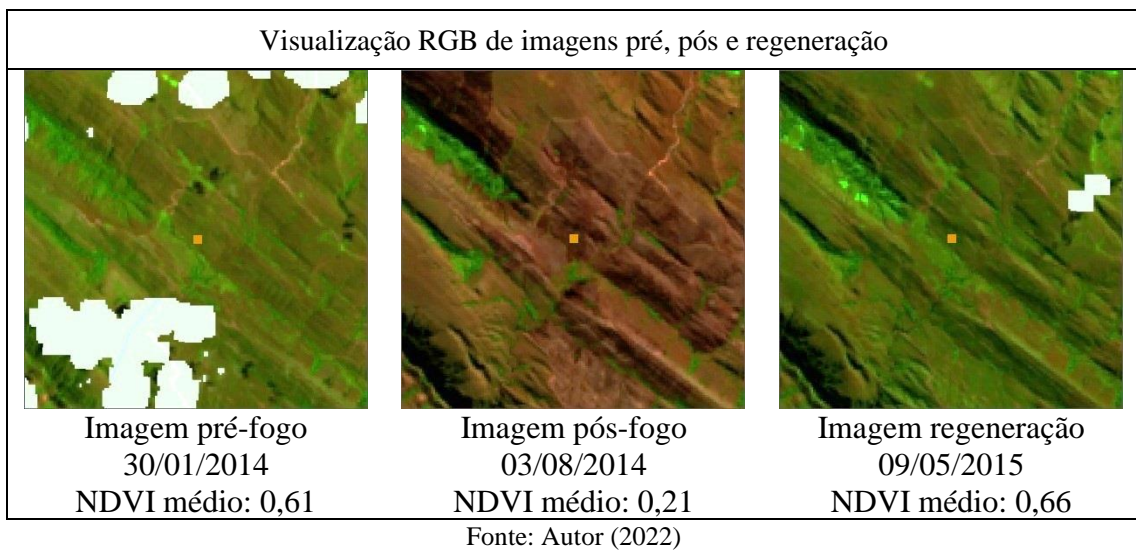
A amostra 6 apresentou 6 eventos de incêndios ao longo da série histórica (Quadro 06), sendo o segundo maior número de ocorrências entre as amostras de Campo Limpo, apenas menor que a amostra 4 (7 registros). Entretanto, foi a amostra que obteve o maior número de períodos de análise, com 6 registros

A amostra 6 necessitou, em média, de 319 dias para a regeneração, o que equivale a menor média entre as amostras de Campo Limpo alocadas em áreas de alta recorrência de incêndios. A amostra registrou o segundo maior tempo necessário para a regeneração pós fogo entre os períodos de análise, iniciado em 08/08/2016, e se igualando à linha de base em 14/05/2018, aproximadamente 21,5 meses após o registro de incêndio.

Quadro 06. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 6)



(continua)



A visualização em composição falsa cor das imagens pré, pós e regeneração referem-se ao primeiro período de análise para amostra, com imagem pós fogo datada em 03/08/2014, com NDVI de 0,21, e somente após 280 dias, em 09/05/2015, apresentou NDVI superior a linha de base (0,66).

A amplitude de dias necessários para a regeneração da amostra apresentou heterogeneidade expressiva, como nas amostras 4 e 5, evidenciando a semelhança do padrão espectro-temporal para áreas de alta recorrência em Campo Limpo. A quantidade mínima de dias necessários para regeneração na amostra foi de 5,6 meses (168 dias), referente ao período de análise 2 (09/05/2015 a 05/02/2016), enquanto a máxima foi de 21,5 meses (645 dias), referente ao período de análise 3 (05/02/2016 a 14/05/2018) ou seja, 15,9 meses de diferença entre os períodos de análise.

9.2.2. Regeneração em Campo Rupestre

O Campo Rupestre compreende um tipo vegetacional constituído por um conjunto de comunidades herbáceo-arbustiva (Figura 14), que por condicionantes como topografia, pedologia e clima, apresenta forte heterogeneidade de sua paisagem, propiciando uma composição florística rica e com muitas espécies endêmicas (BRASIL, 2005; NEVES et al., 2010).

Figura 14. Fitofisionomia Campo Rupestre no PNSC

Fonte: BRASIL (2005)

Nas amostras selecionadas, tanto de baixa quanto de alta recorrência, na fitofisionomia de Campo Rupestre, observou-se que há concordância entre o mapa de recorrência adquirido do MapBiomas Fogo - versão beta (2021) e o NDVI calculado no presente trabalho, evidenciando a efetividade do índice em identificar incêndios ocorridos na fitofisionomia.

Foram analisadas 6 amostras em áreas de baixa e alta recorrência, sendo a análise do tempo necessário para a regeneração pós incêndio dispostos na Tabela 04.

Tabela 04. Número de dias necessários à regeneração em Campo Rupestre no PNSC

Campo Rupestre	Amostras					
	Baixa recorrência			Alta recorrência		
	7	8	9	10	11	12
Incêndio 1	184	209	74	161	241	273
Incêndio 2	241	200	154	184	289	161
Incêndio 3	-	-	-	593	184	200
Incêndio 4	-	-	-	-	266	193
Incêndio 5	-	-	-	-	154	545
Média por amostra	213	205	114	313	227	274
Média baixa recorrência	177					
Média alta recorrência	265					
Média Campo Rupestre	237					

Fonte: Autor (2022)

Foram detectados ao todo, 19 eventos de incêndios na fitofisionomia de Campo Rupestre no período de 2013 a 2020, de acordo com dados do MapBiomas Fogo (2021), versão

beta. A média para regeneração desta fitofisionomia, em áreas de baixa recorrência de incêndios foi de 177 dias ou 5,9 meses ($n = 6$), oscilando de 74 a 241 dias. Já a média para áreas de alta recorrência foi de 265 dias ou 8,9 meses ($n = 13$), obtendo variação de 154 a 545 dias. A média obtida para todas as 6 amostras foi de 237 dias ou 7,9 meses ($n = 19$).

Cabe ressaltar as variabilidades intrínsecas às amostras, a exemplo da amostra 9 (baixa recorrência), onde foram detectados 74 dias para a regeneração de um evento de fogo, enquanto o segundo evento, o tempo necessário para a regeneração ficou em 154 dias, um incremento de 80 dias. Outras variações também chamam a atenção, como no caso da amostra 12 (alta recorrência), onde a amplitude dos dados foi de 384 dias ou 12,8 meses, evidenciando uma possível heterogeneidade entre as localidades da própria fitofisionomia ou mesmo variações de umidade e/ou de variáveis ambientais como solo, relevo, orientação de vertente dentre outras.

Em áreas de Campo Rupestre, também foi possível identificar o fenômeno supramencionado afirmado por Coutinho (1990), pois sua composição conta também com vegetação herbácea. Estudos realizados por Brito (2011) em duas áreas de Campo Rupestre na Chapada Diamantina (Bahia), indicam que mesmo 18 meses após a ocorrência de incêndio, houve a regeneração de apenas 46% da vegetação em áreas de substrato arenoso, enquanto em área de afloramento rochoso o valor foi de 67% em relação ao ponto de controle. Tal fenômeno é explicado por Conceição et al. (2005), uma vez que áreas próximas a afloramentos rochosos estão mais protegidas da ação severa do fogo.

Com relação à diferenciação estatística entre os tempos de regeneração em diferentes classes de recorrência (baixa e alta), o teste t de *Student* apontou que há diferença estatística entre as médias das amostras, ao nível de 10% de significância (Figura 15), com *p*-valor de 0,0734. Isto evidencia que há diferença, estatisticamente significativa em 90% dos casos, no ritmo de regeneração entre amostras de baixa e alta recorrência.

Figura 15. Resultado do teste t para amostras de baixa e alta recorrência em Campo Rupestre

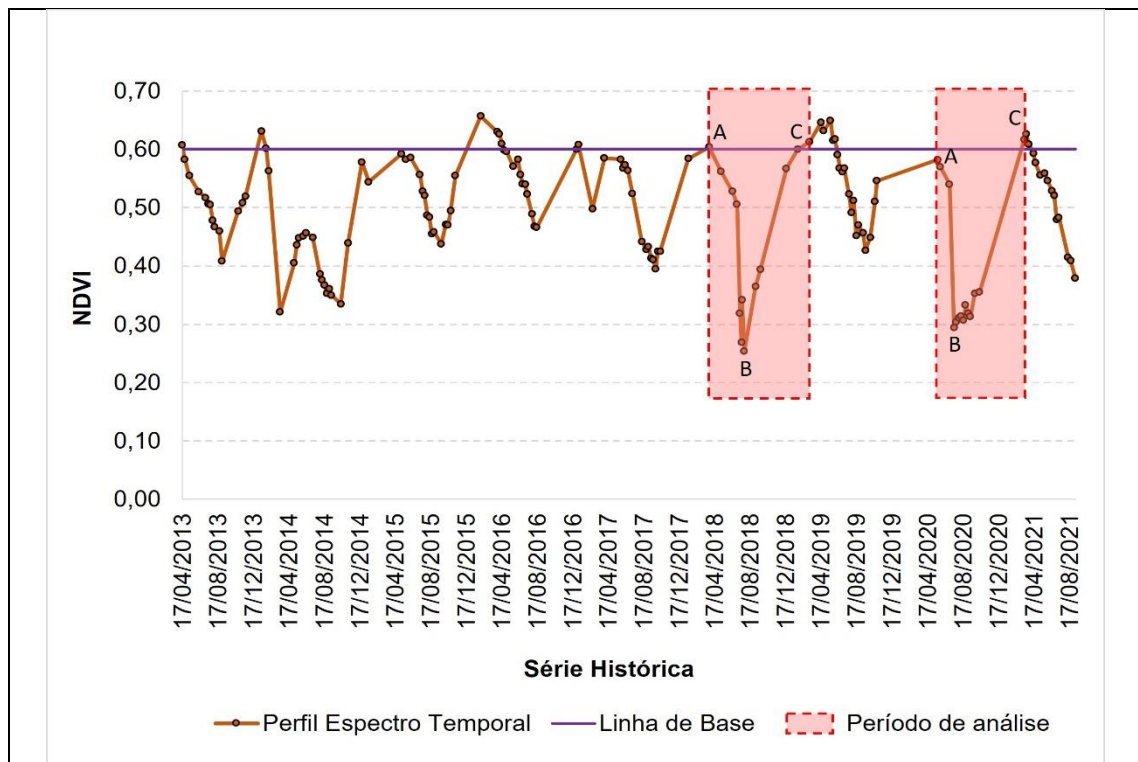
```
welch Two Sample t-test
data: CR_AR and CR_BR
t = 1.9081, df = 16.928, p-value = 0.07349
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
90 percent confidence interval:
 7.743832 168.102322
sample estimates:
mean of x mean of y
264.9231 177.0000
```

Fonte: Autor (2022)

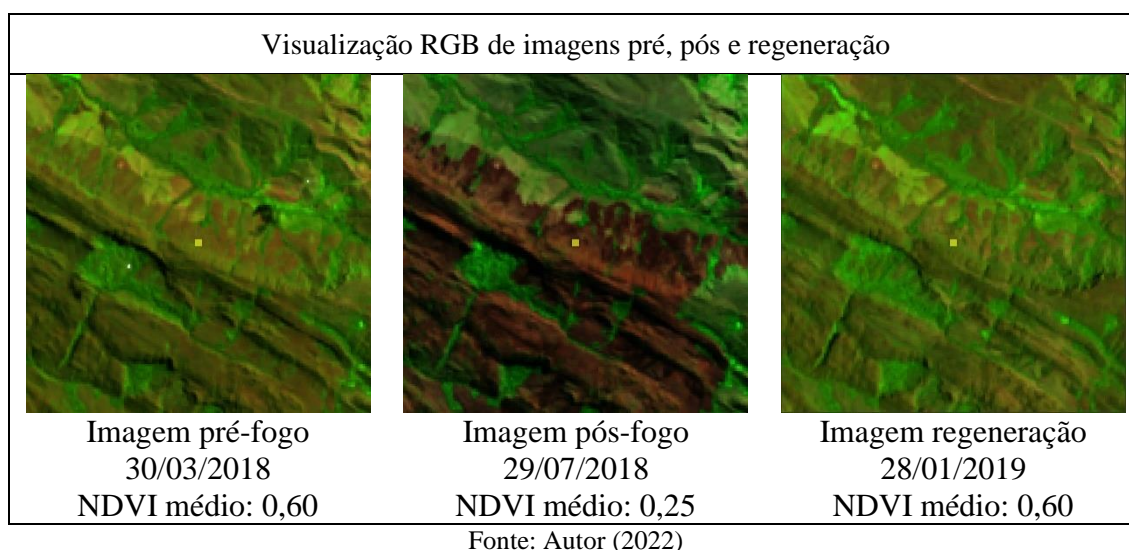
A diferença entre o tempo médio de regeneração em Campo Rupestre no PNSC, considerando áreas de baixa e alta recorrência por este estudo, foi de 88 dias ou 2,9 meses, ou seja, uma região de alta recorrência demorará aproximadamente 3 meses em média a mais para regenerar, do que áreas em baixa recorrência de incêndios florestais.

O Quadro 07 representa o perfil espectro-temporal referente à amostra 7 em Campo Rupestre, alocadas em área de baixa recorrência de incêndios de acordo com MapBiomias (2021). A regeneração de tal amostra apresentou média de 213 dias (7,1 meses), posicionando-se como o maior tempo de regeneração entre as amostras alocadas em áreas de baixa recorrência de incêndios nesta fitofisionomia. Nota-se que a variação do perfil espectro-temporal oscila entre valores de menor amplitude em épocas em que a sazonalidade é determinante, porém quando houve registros de incêndio, a amostra apresentou reduções expressivas no índice NDVI.

Quadro 07. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 7)



(continua)

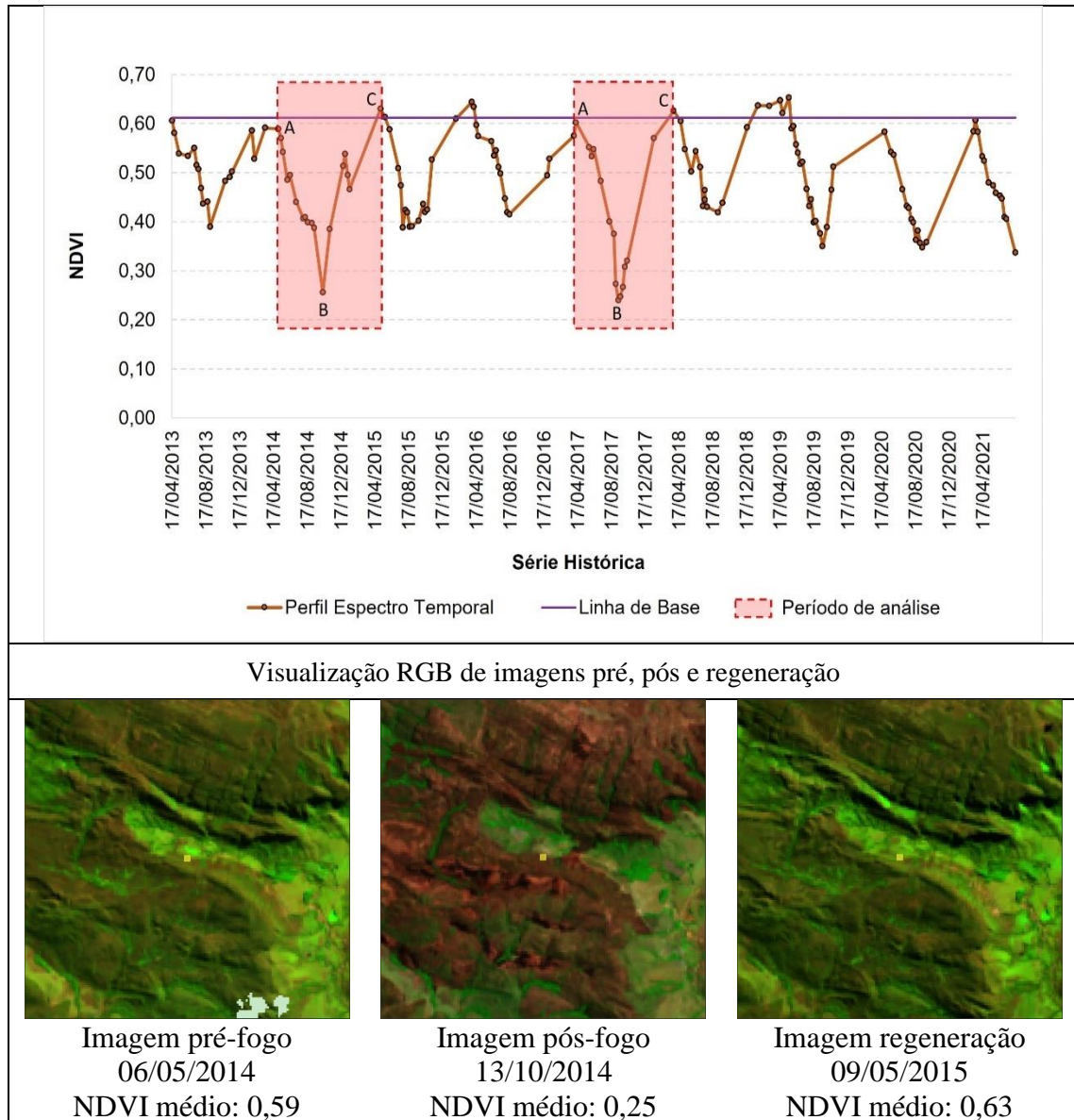


O primeiro período de análise da amostra imagem pré-fogo datada em 29/07/2018, que apresentou NDVI de 0,25. A imagem de detecção da regeneração foi registrada em 28/01/2019 e NDVI de 0,60, ou seja, a amostra de Campo Rupestre neste local necessitou de aproximadamente 184 dias ou 6,1 meses, para apresentar valor de NDVI próximo à imagem referência de 30/03/2018.

Já o segundo período de análise apresentou NDVI de 0,58 na imagem pré incêndio, datada em 31/05/2020, com incêndio ocorrido em 18/07/20, registrando-se NDVI de 0,29. A regeneração foi detectada em 15/03/21, com de NDVI de 0,61, com tempo estimado em 8 meses (241 dias).

Já a amostra 8 (Quadro 8), apresentou maior amplitude de NDVI causada pela sazonalidade, quando comparada à amostra 7. Foram detectados dois eventos de incêndios nesta amostra, sendo que no primeiro período de análise, a cicatriz de incêndio foi detectada em 13/10/2014, apresentando NDVI de 0,25 e somente após 7 meses (209 dias), em 09/05/2015, apresentou valor de NDVI superior à linha de base (0,63).

Ao analisar as imagens RGB referentes a amostra 8, nota-se uma extensa área de cicatriz na imagem pós fogo (13/10/2014), sendo observada na coloração em tom marrom. Observa-se ainda que devido muito provavelmente ao relevo, que em fundos de vale, aparentam colorações mais próximas ao tom verde, o que indica que tanto o relevo, quanto a rede de drenagem influenciaram na “proteção” da vegetação.

Quadro 08. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 8)

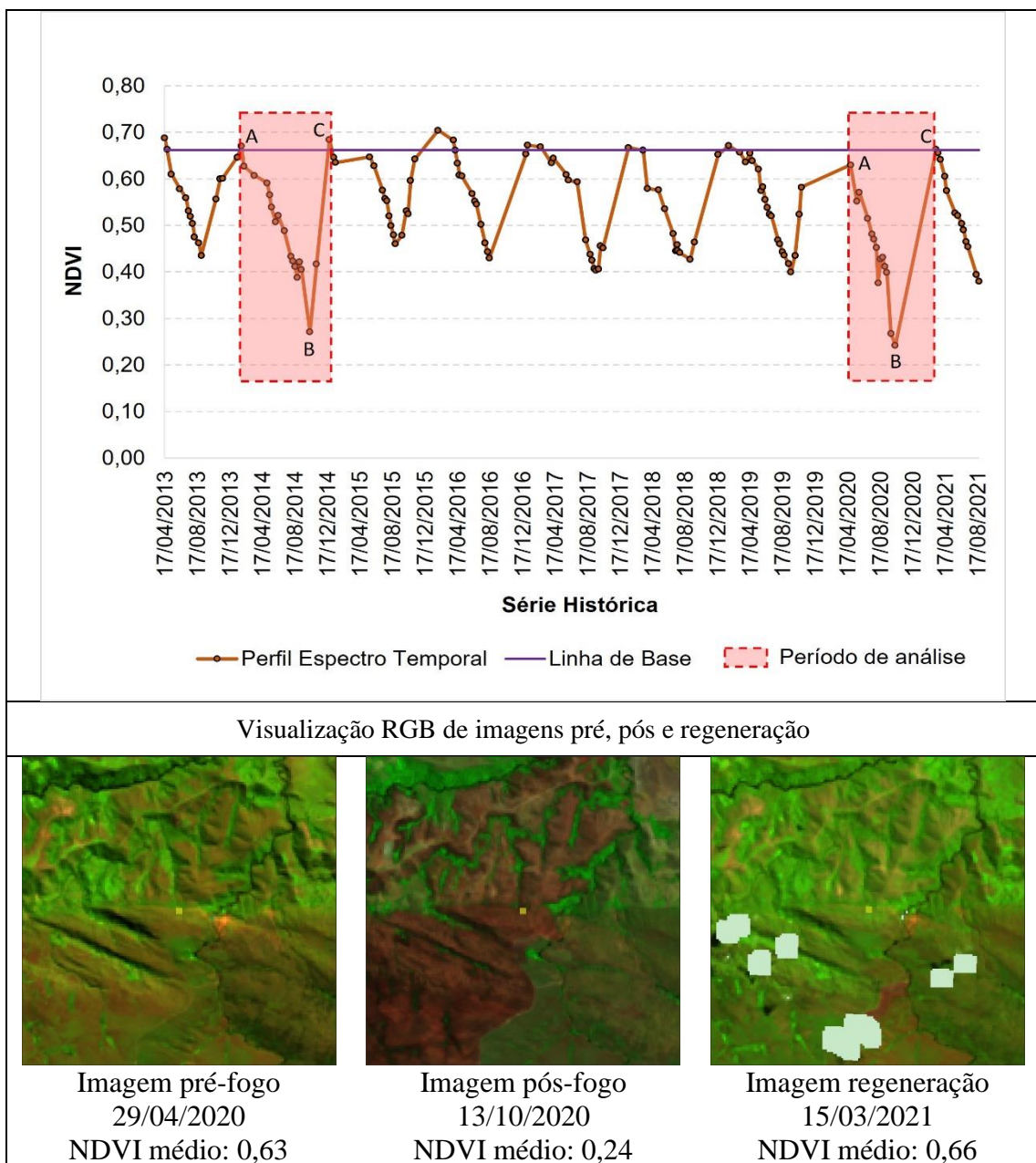
Fonte: Autor (2022)

O segundo período de análise da amostra 8 teve início em 12/04/2017, onde a imagem pré-fogo obteve NDVI de 0,60. Após 5 meses, em 12/09/2017, apresentou NDVI de 0,24 em virtude da ocorrência de queimada e necessitou de 6,6 meses (200 dias), para que o valor de NDVI superasse o anterior ao incêndio, com média de 0,62.

A partir de 2019, nota-se o decaimento de NDVI para a amostra, tanto para períodos chuvosos, quanto para períodos de estiagem, pois não houve superação do valor adotado como base para a amostra. Cabe ressaltar que entre 2018 e 2021 não houve registros de incêndios para a amostra.

A amostra 9 (Quadro 09) apresentou “uma certa padronização” nas oscilações espectrais entre os anos da série histórica utilizada, com valores de NDVI oscilando entre 0,40 e 0,66 (valor da linha de base), sendo as exceções a estas oscilações sazonais, justamente devido à ocorrência de queimadas. A primeira ocorrência de queimada data de 13/10/2014, com NDVI médio de 0,27, tendo a regeneração sido detectada em 25/12/2014 com NDVI de 0,68, em pouco mais de dois meses (74 dias), o menor tempo necessário para regeneração dentre todas as outras ocorrências em Campo Rupestre no PNSC.

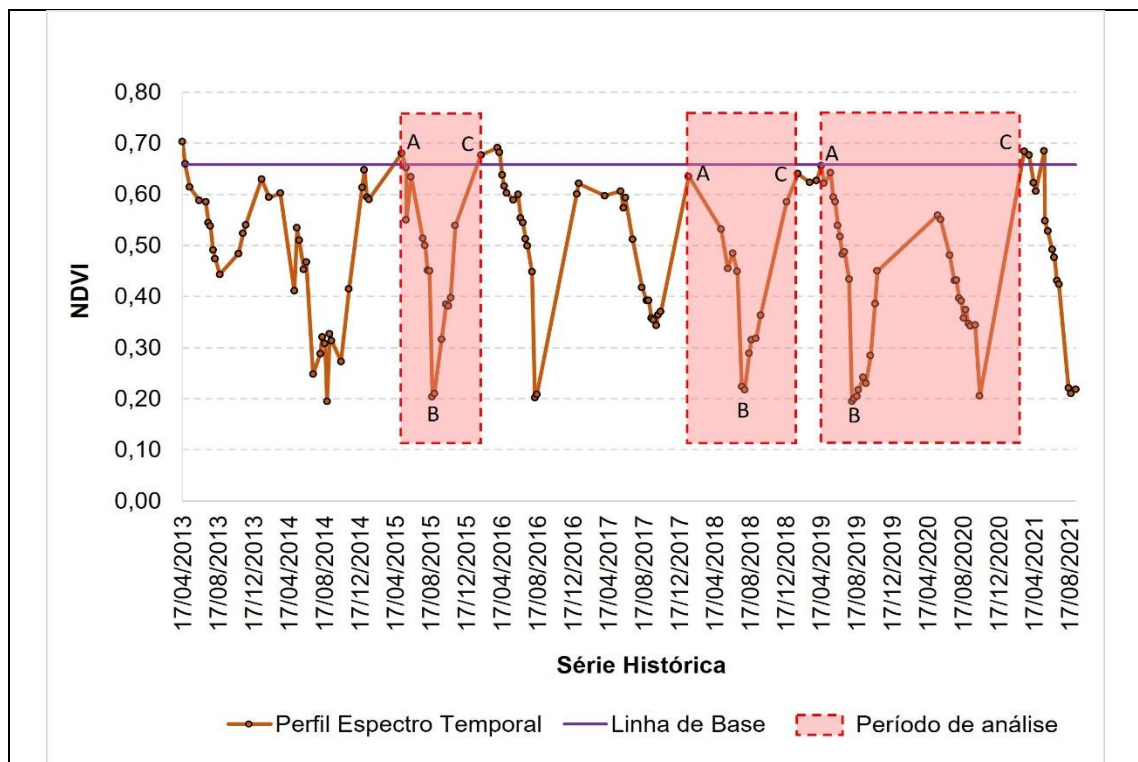
Quadro 09. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 9)



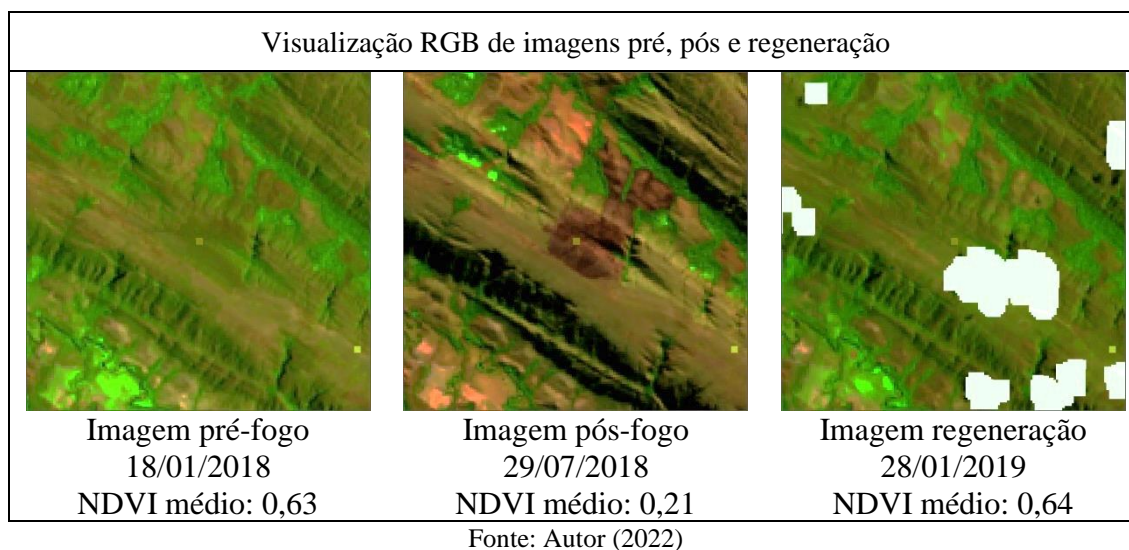
O segundo período de análise obteve cicatriz de incêndio datada em 13/10/2020, onde apresentou valor de NDVI em 0,24. Somente após 5,1 meses (154 dias), ou seja, quase o dobro do tempo necessário para a regeneração do primeiro período de análise, a amostra apresentou valores espectrais próximos à linha de base, datada em 15/03/2021, com NDVI de 0,66.

Iniciam-se com a amostra 10 as análises localizadas em áreas de alta recorrência para a fitofisionomia Campo Rupestre no PNSC. Observa-se que o perfil espectro-temporal apresenta expressiva amplitude dos valores de NDVI (Quadro 10), causados não só pela sazonalidade climática, mas principalmente pelas ocorrências de incêndios. No que tange à sazonalidade climática, observa-se que valores reduzidos de NDVI nem sempre estão associados à ocorrência de incêndios (letra “B”).

Quadro 10. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 10)



(continua)



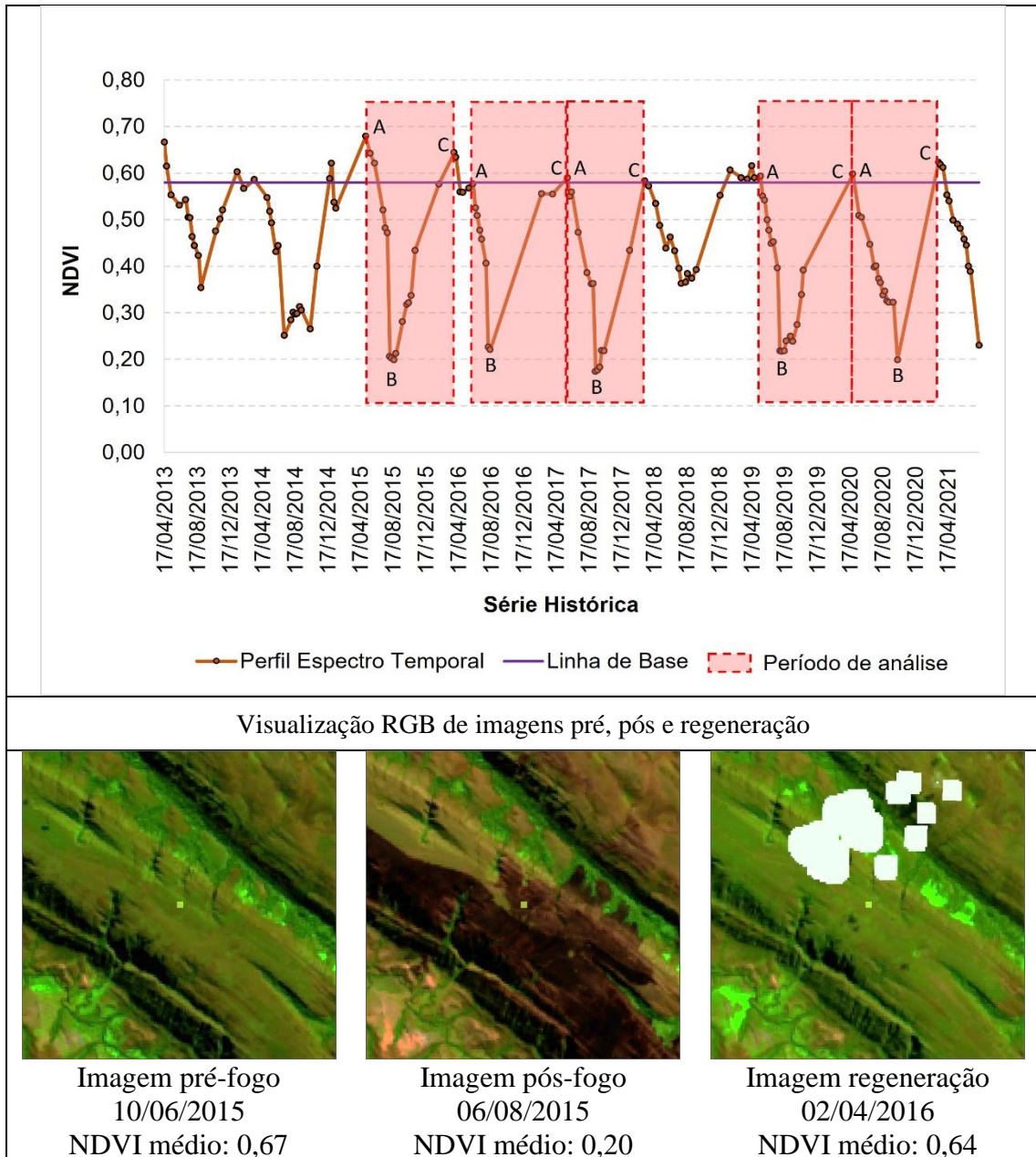
No primeiro período de análise, a imagem pós incêndio datada em 29/08/2015 registrou NDVI médio de 0,21 e só alcançou a regeneração na imagem de 05/02/16, com NDVI de 0,67, ou seja, 5,3 meses (161 dias) foram necessários para que os valores de NDVI superassem a linha de base.

Já no segundo período de análise, o perfil espectral não atingiu a linha de base (0,66), tanto na imagem pré queimada, datada em 18/01/2018, com 0,63 de NDVI, quanto na imagem de regeneração datada em 28/01/2019, com 0,64 de NDVI, porém, os valores pré-fogo e de regeneração encontram-se próximos, e por isso, a análise se tornou possível.

Nesta amostra, destaca-se o terceiro período de análise, que teve início em 20/05/2019, com NDVI de 0,66, tendo a imagem pós-fogo sido registrada em 01/08/2019 com 0,20 de NDVI. Entretanto, a imagem regeneração foi registrada apenas em 15/03/2021 com 0,68 de NDVI, fazendo com que o tempo de regeneração para este evento se tornasse o mais longo na fitofisionomia de Campo Rupestre em área de alta recorrência de queimadas, com 19,7 meses (593 dias).

Na amostra 11 (Quadro 11), os valores mais baixos de NDVI estão associados à ocorrência de incêndios, sendo identificados 5 períodos de análise. O tempo médio de regeneração para a amostra 11 é de 7,5 meses (227 dias), enquanto a amplitude, de 135 dias ou 4,5 meses.

O primeiro período de análise teve incêndio detectado em 06/08/15 e obteve 0,20 de NDVI, necessitando de 8 meses (241 dias) para que o índice superasse o valor base de 0,58, e apresentasse em 02/04/16, 0,64 de NDVI.

Quadro 11. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 11)

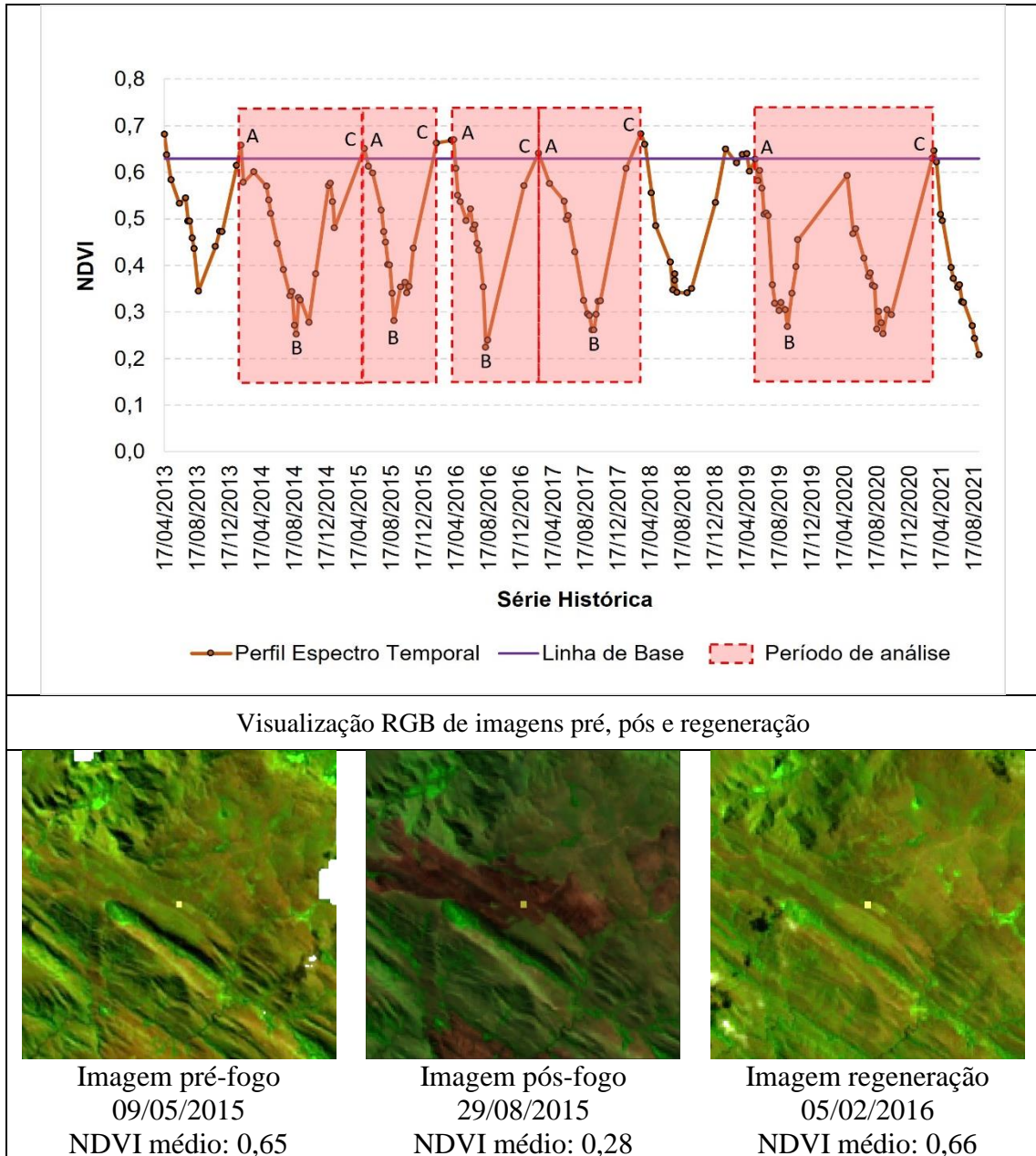
Fonte: Autor (2022)

Destaque o quinto período de análise, onde foram necessários 5,1 meses (154 dias) até que o índice retornasse à linha de base, com imagem pós incêndio datada em 13/10/20, com NDVI de 0,20, e imagem de regeneração datada em 15/03/21, com 0,62 de NDVI, configurando-se como o menor tempo de regeneração para esta amostra.

A amostra 12 (Quadro 12) obteve 5 ocorrências de incêndio entre 2013 e 2021. A quantidade mínima de dias necessários para regeneração desta amostra foi de 5,3 meses (161 dias), correspondente ao segundo período de análise, enquanto o tempo máximo, foi registrado

no quinto período, com duração de 18,1 meses (545 dias), apresentando amplitude de 12,8 meses (384 dias).

Quadro 12. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 12)



Fonte: Autor (2022)

Em seu primeiro período de análise, a amostra demandou de 9,1 meses (273 dias) para a detecção da regeneração, desde o registro do incêndio, datado em 26/08/2014, com NDVI de 0,30, até o registro da imagem regeneração, datada em 25/05/2015, com NDVI de 0,60.

O segundo período de análise, que está representado com imagens RGB no Quadro 12, registrou o menor tempo para que a resposta espectral atingisse o valor da linha de base, dentre

os períodos de análise da amostra, com imagem pré-fogo datada em 09/05/2015, com NDVI de 0,65, imagem pós-fogo datada em 29/08/15 com 0,28 de NDVI e, imagem regeneração datada em 05/02/16, com NDVI de 0,66.

Quando comparada à todas as amostras de Campo Rupestre, o quinto período de análise desta amostra, obteve o tempo máximo necessário à regeneração, no qual o incêndio detectado em 18/09/19 com NDVI de 0,25, apresentando NDVI de 0,62 somente em 15/03/21, ou seja, após 18,1 meses (545 dias) de sua ocorrência.

9.2.3. Regeneração em Cerrado

A fitofisionomia de Cerrado (Figura 16) é composta por árvores baixas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e com arbustos e subarbustos que se encontram espaçados, composto por espécies que apresentam órgãos subterrâneos perenes, que permitem a rebrota após a queima. A fitofisionomia ocorre em solos profundos, de textura argilosa, em locais de relevo plano e suave ondulado (BRASIL, 2005).

Figura 16. Fitofisionomia Cerrado no PNSC



Fonte: BRASIL (2005)

A Tabela 05 apresenta uma síntese do tempo de regeneração estimada para cada uma das seis amostras inspecionadas na fitofisionomia de Cerrado no PNSC, no período entre 2013 e 2021, seja em baixa ou alta recorrência de incêndios.

Tabela 05. Número de dias necessários à regeneração em Cerrado no PNSC

Cerrado	Amostras					
	Baixa recorrência			Alta recorrência		
	13	14	15	16	17	18
Incêndio 1	193	193	193	177	145	188
Incêndio 2	193	193	193	145	145	145
Incêndio 3	-	-	-	193	193	193
Média por amostra	193	193	193	172	161	175
Média baixa recorrência	193					
Média alta recorrência	169					
Média Cerrado	179					

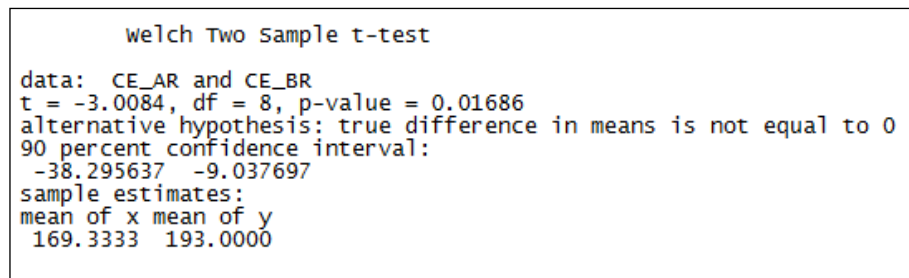
Fonte: Autor (2022)

Foram detectados de 1 a 3 eventos de incêndios por amostra na fitofisionomia de Cerrado na série histórica de 2013 a 2020 no PNSC, a partir de dados oriundos do MapBiomas Fogo - versão beta (2021), totalizando 15 eventos analisados. A média para regeneração desta fitofisionomia, em áreas de baixa recorrência de incêndios foi de 193 dias ou 6,4 meses ($n = 6$), onde todas as 6 amostras inseridas em áreas de baixa recorrência em tal fitofisionomia apresentaram 193 dias necessários para recuperação.

Já a regeneração média para áreas com alta recorrência foi de 169 dias ou 5,6 meses ($n = 9$), obtendo variações médias entre 145 e 193 dias. A média obtida para todas as 6 amostras foi de 179 dias ou 6 meses ($n = 15$), correspondendo em média a um ciclo chuvoso no clima Tropical.

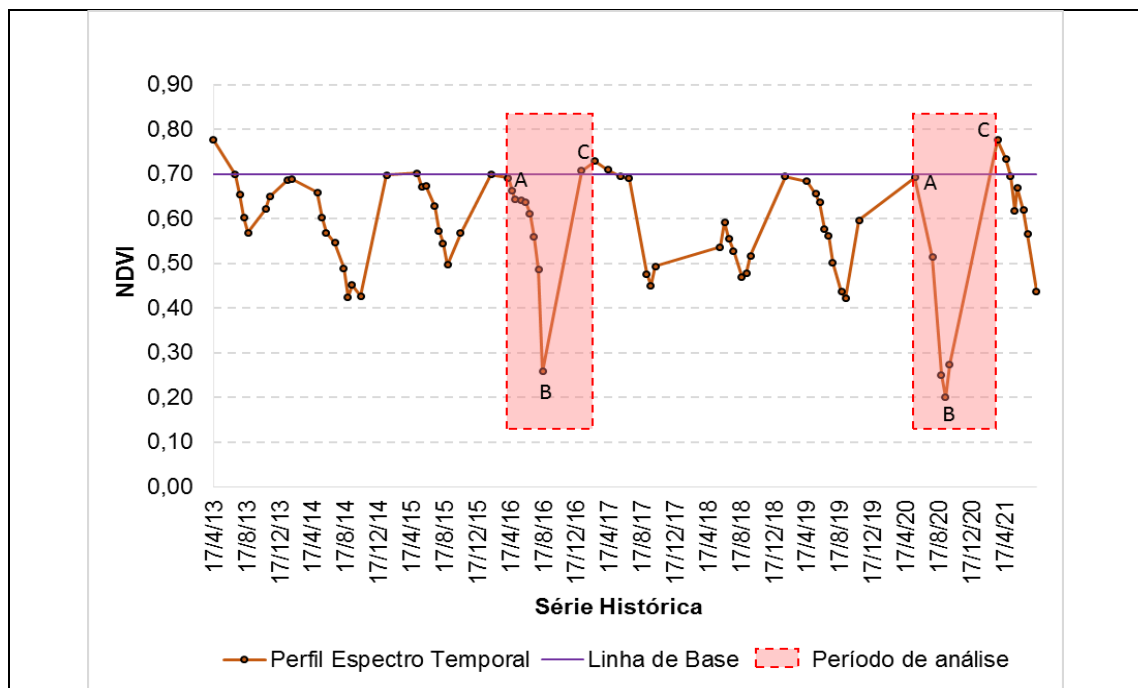
As variabilidades encontradas nas amostras devem ser destacadas, pois quando comparadas às outras fitofisionomias do presente estudo, evidencia-se que a amplitude de Cerrado é a menor, correspondendo a 48 dias (1,6 meses), para regiões de alta recorrência. De forma geral, para o PNSC o tempo médio de regeneração tanto para áreas de baixa, como em áreas de alta recorrência de incêndios, apresentaram valores próximos entre as amostras, com diferença de 24 dias.

Referente à diferenciação estatística entre os tempos de regeneração em diferentes classes de recorrência (baixa e alta), o teste t de *Student*, apontou que há diferença estatisticamente significativa no ritmo de regeneração, ao nível de 5% de significância (Figura 17), com *p-valor* de 0,0168, mesmo havendo a menor variação de tempo entre as amostras.

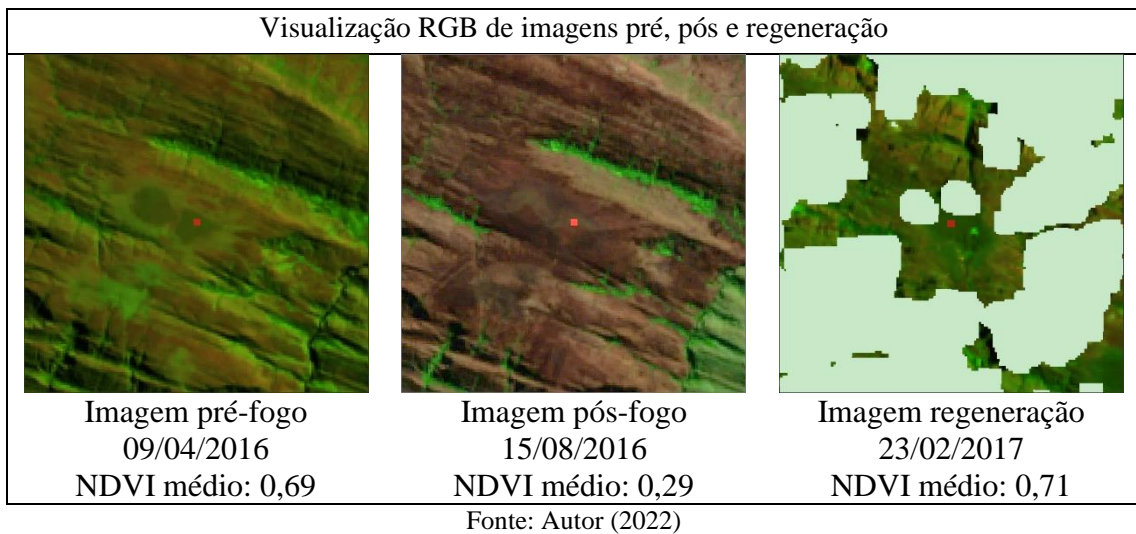
Figura 17. Resultado do teste t para amostras de baixa e alta recorrência em Cerrado

Fonte: Autor (2022)

Iniciando as análises dos perfis espectro-temporais, a amostra 13 (Quadro 13) evidencia-se que a variação de NDVI ao longo da série é relativamente baixa, exceto em eventos de incêndios, indicando que em períodos de *stress* hídrico, a vegetação apresenta resposta do NDVI maiores em média, quando comparadas a outras fitofisionomias pesquisadas neste estudo. De certa maneira, a resposta espectral foi menos afetada devido, provavelmente, pela profundidade de seu sistema radicular.

Quadro 13. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 13)

(continua)

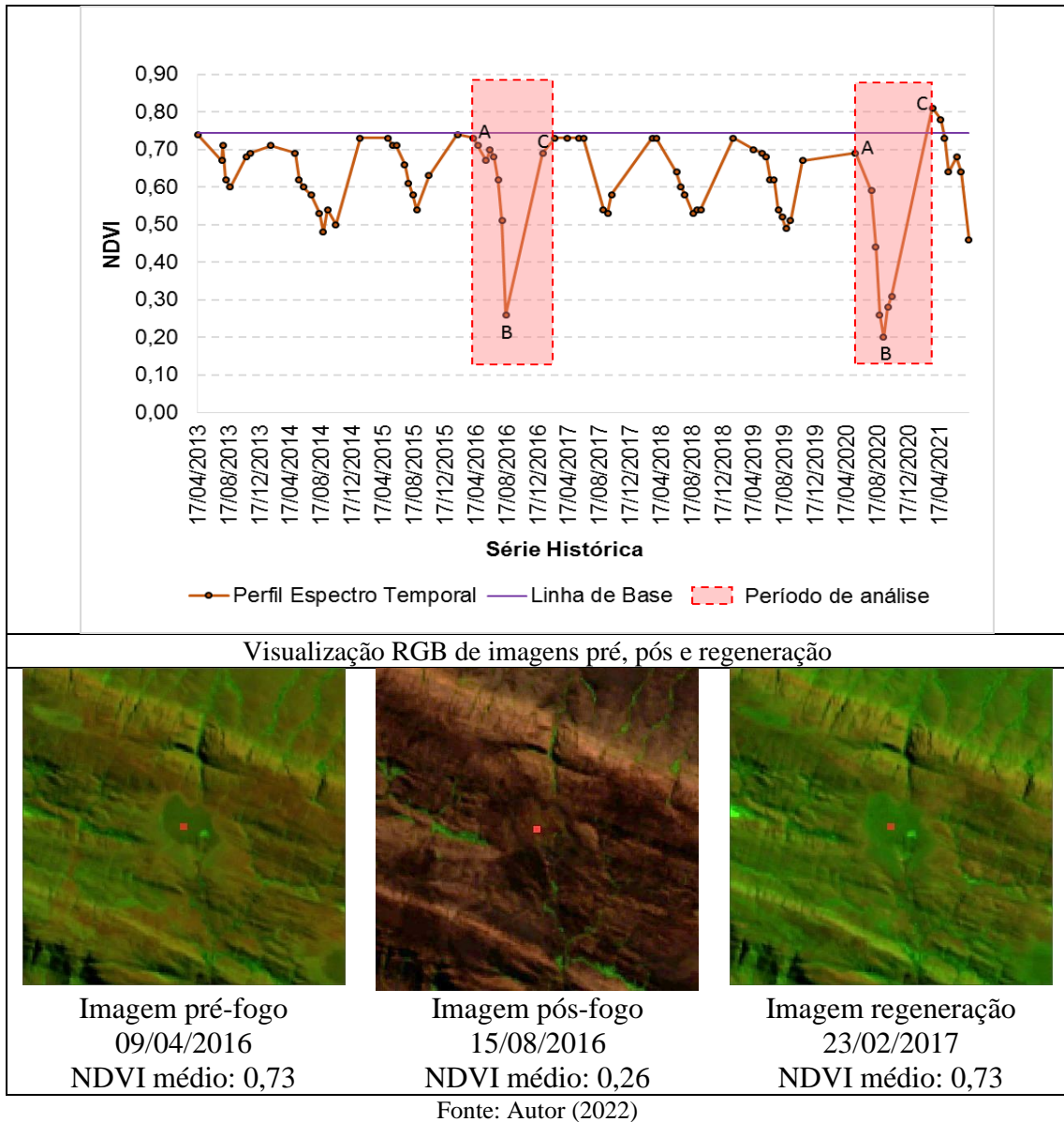


Tal processo pode ser explicado em virtude das espécies arbóreas de Cerrado, pois há diferenciação na ocorrência de grupos fenológicos em relação à produção e queda de folhas. Conforme a severidade da estação seca, pode haver maior proporção de espécies decíduas, ou seja, espécies que perdem suas folhas devido a sazonalidade climática, ocorrendo geralmente na estação seca (WILLIAMS et al., 1997), enquanto a rebrota é menos afetada pela sazonalidade, podendo ocorrer tanto em períodos de chuva, como em períodos de estiagem (GOUVEIA et al., 1998; BATALHA et al., 2000).

No Quadro 13 observa-se a análise dos incêndios da amostra 13, com predomínio de baixa recorrência. Foram observados dois incêndios ao longo da série temporal, sendo o primeiro com regeneração calculada em 193 dias, entre 15/08/2016 e 23/02/2017, e o segundo também com 193 dias, entre 11/09/2020 e 22/03/2021, o que equivale ao mesmo valor de média entre o primeiro e segundo períodos, de aproximadamente 6,4 meses (193 dias).

Nota-se o fenômeno supramencionado, pois a resposta espectral se manteve entre 0,40 e 0,78 de NDVI para toda a série, com exceção dos períodos de análise que contêm a ocorrência de incêndios, que variaram entre 0,20 e 0,78 de NDVI.

Na amostra 14 o mesmo padrão foi observado (Quadro 14), com baixas oscilações no NDVI entre 0,47 e 0,74 (valor da linha de base), com exceção dos períodos de análise. A amostra 14 também apresentou regeneração semelhante entre o primeiro e o segundo período, de 6,4 meses (193 dias).

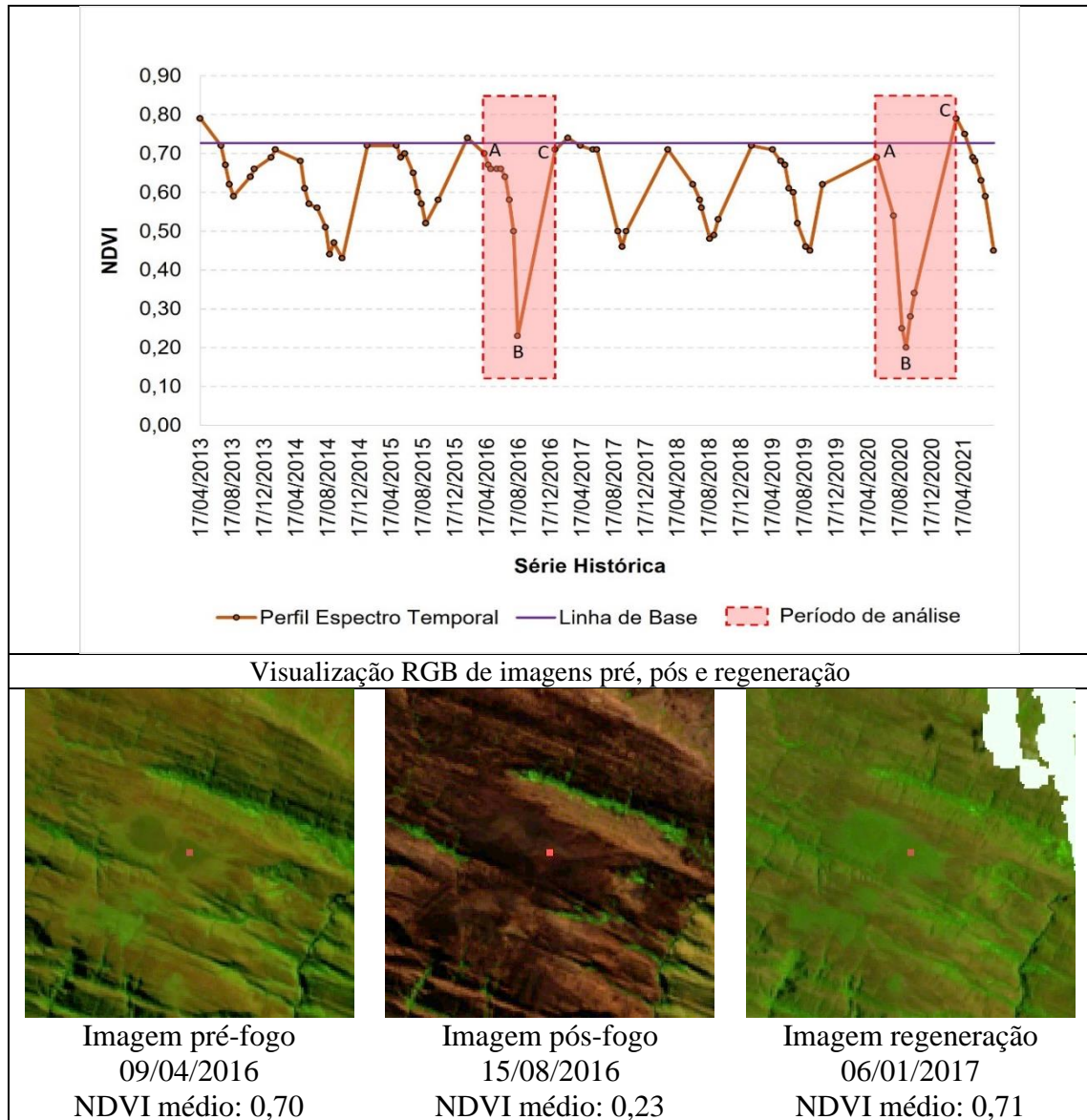
Quadro 14. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 14)

O primeiro período de análise iniciou-se com a imagem pré-fogo datada em 09/04/2016, com NDVI de 0,73, com ocorrência de incêndio registrada em 15/08/2016 com 0,26 de NDVI, e imagem de regeneração datada em 23/02/2017, com 0,73 de NDVI, conforme observado no Quadro 13. Nota-se, nas imagens com composição falsa-cor, o tamanho da área afetada pelo incêndio na imagem pós-fogo, que ocupou toda a área do quadro, exceto para algumas cavidades do relevo.

Observa-se no Quadro 15, que a amostra 15 também apresentou praticamente a mesma dinâmica espectral, com NDVI variando entre 0,43 e 0,79 ao longo da série temporal, com exceção dos períodos de análise 1 e 2. A amplitude de NDVI aqui assemelha-se com a amostra

13, enquanto a amostra 14 apresentou variabilidade do índice ligeiramente menor, quando comparado às demais amostras alocadas em baixa recorrência, quando excluídos as ocorrências de incêndios florestais.

Quadro 15. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 15)



O primeiro período de análise teve início em 09/04/2016, com a imagem pré-fogo apresentando 0,70 de NDVI. A imagem pós fogo foi registrada em 15/08/2016, com NDVI de 0,23, e após 6,4 meses (193 dias) apresentou reestabelecimento espectral, situando-se muito próximo à linha de base, em 06/01/2017, como observado no Quadro 15.

Uma possível resposta do porquê as três amostras apresentarem valores tão semelhantes, tanto de quantidade de dias necessários até a regeneração, quanto os valores de NDVI, deve-se ao fato das amostras em baixa recorrência estarem alocadas em áreas muito próximas, uma vez que a área de tal fitofisionomia no PNSC é de apenas 299ha.

Se tratando de análises em amostras alocadas em áreas de alta recorrência para a fitofisionomia Cerrado no PNSC, observa-se que os perfis espectro-temporais apresentam uma maior recorrência de valores baixos de NDVI, evidenciando que a localização das amostras está de acordo com o mapa de recorrência gerado pelo MapBiomias Fogo (2021).

Segundo Fiedler et al. (2004), incêndios recorrentes podem reduzir a densidade de espécies lenhosas e diminuir a diversidade de espécies. Com incêndios recorrentes, os indivíduos arbóreos menores são atingidos com maior frequência pela ação do fogo, e consequentemente, podem não sobreviver ou ter seu crescimento limitado (COUTINHO, 1990).

De acordo com Sato et al., (2010), o tipo de rebrota para espécies arbóreas em tal fitofisionomia é condicionada pela severidade do fogo, onde geralmente, indivíduos atingidos com incêndios de menor severidade contam com troncos vivos e emissão de folhas, enquanto os atingidos com maior severidade apresentam morte do indivíduo.

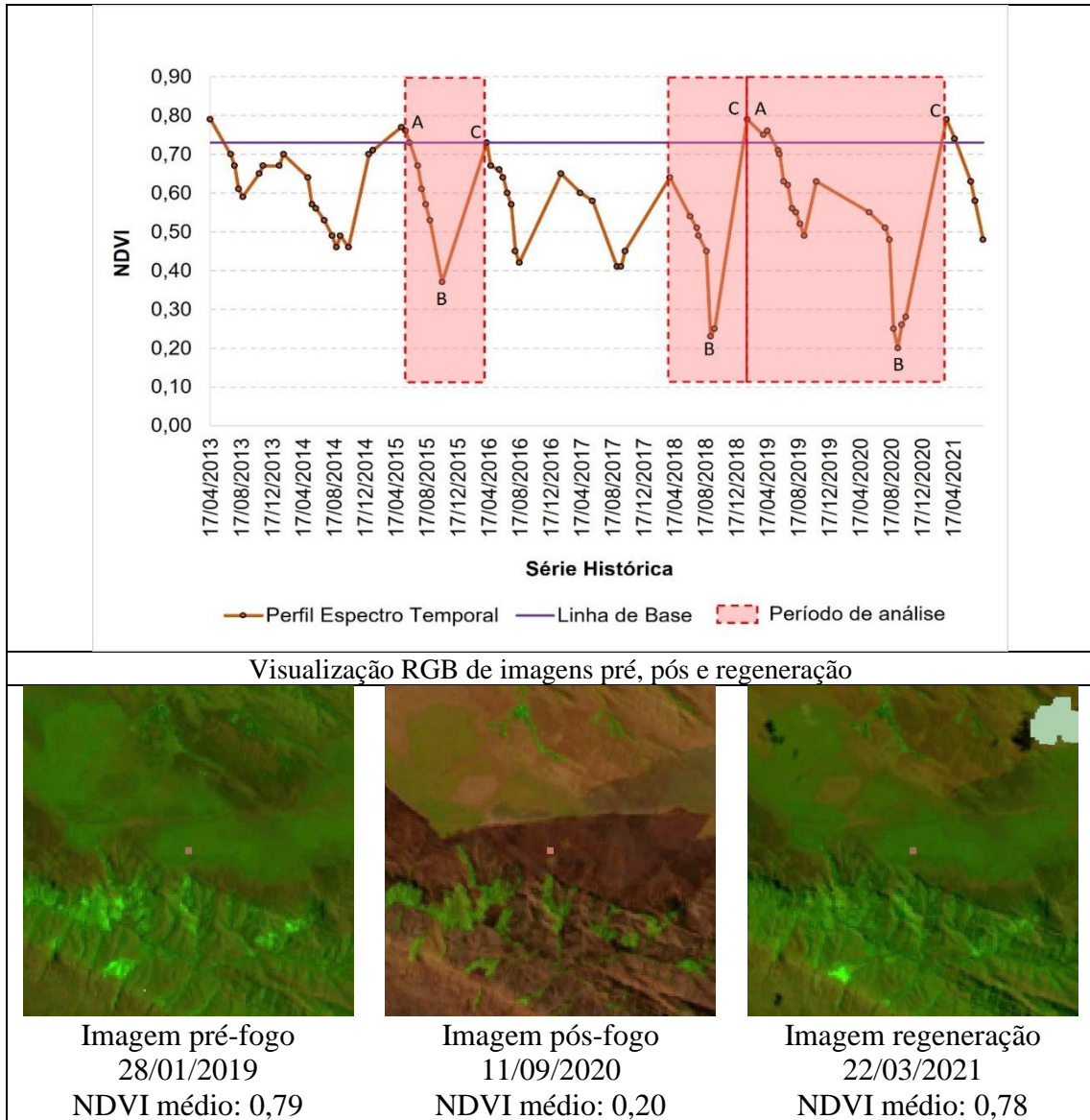
A amostra 16 obteve 3 eventos de incêndios (Quadro 16), com tempo mínima de regeneração para o segundo (145 dias) e máxima para o terceiro (193 dias), com amplitude de 1,6 meses (48 dias). O primeiro período de análise iniciou-se em 12/07/2015, com imagem pré incêndio apresentando 0,73 de NDVI, passando pela imagem pós-fogo datada em 16/10/15, com 0,37 de NDVI e, finalmente, a imagem regeneração datada em 09/04/2016, com 0,73 de NDVI, contabilizando 5,8 meses (177 dias) necessários para a regeneração.

O segundo período de análise apresentou dinâmica diferente dos demais períodos, pois levou-se em consideração o decaimento de NDVI após 09/04/2016, que se manteve baixo até a imagem regeneração do período aqui analisado. Com isso, a imagem pré-fogo apresentou NDVI de 0,64 em 30/03/2018, ou seja, aproximadamente 12,3% a menos que a linha de base, de 0,73 de NDVI. A imagem pós-fogo, datada em 06/09/18, apresentou NDVI de 0,23, enquanto a imagem regeneração, datada em 28/01/19, apresentou 0,79 de NDVI, o que equivale a 4,8 meses ou 145 dias.

O terceiro período de análise obteve o tempo máximo para a regeneração desta amostra, com incêndio datado em 11/09/2020, com 0,20 de NDVI, e somente após 193 dias (6,4 meses)

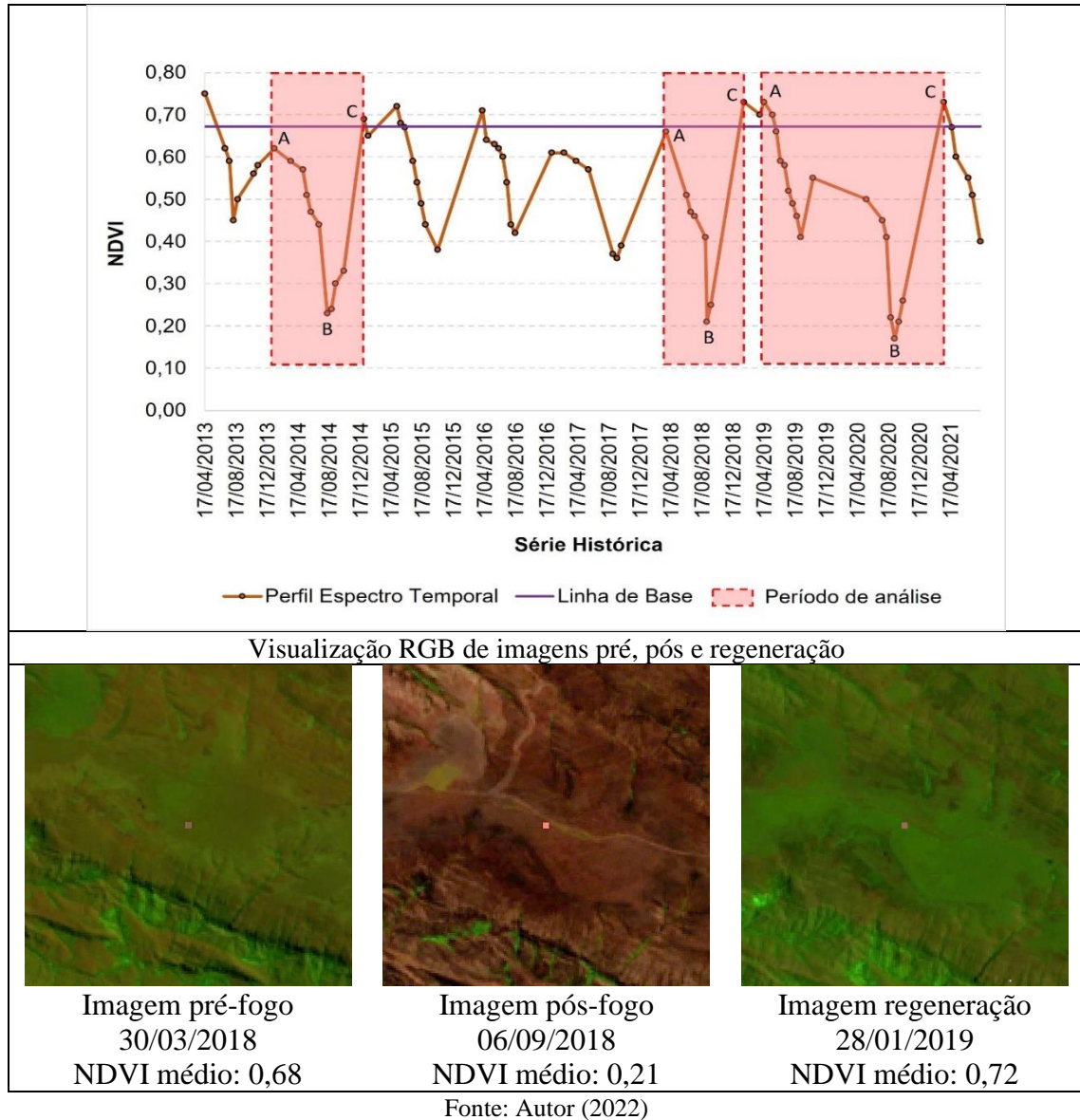
apresentou NDVI de 0,78, em 22/03/2021, conforme observado nas imagens RGB do Quadro 16.

Quadro 16. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 16)



Fonte: Autor (2022)

A amostra 17 (Quadro 17) apresentou amplitude de 1,6 meses em relação ao tempo necessário para regeneração na fitofisionomia Cerrado, apresentando 3 ocorrências de incêndio entre 2013 e 2021, divididos em três períodos de análise. O primeiro iniciou-se em 14/01/2014, com a imagem pré-fogo apresentando 0,62 de NDVI. A imagem pós fogo foi registrada em 10/08/2014, com NDVI de 0,23, e após 4,8 meses (145 dias) apresentou NDVI superior à linha de base de 0,68, em 01/01/2015, como observado no Quadro 17.

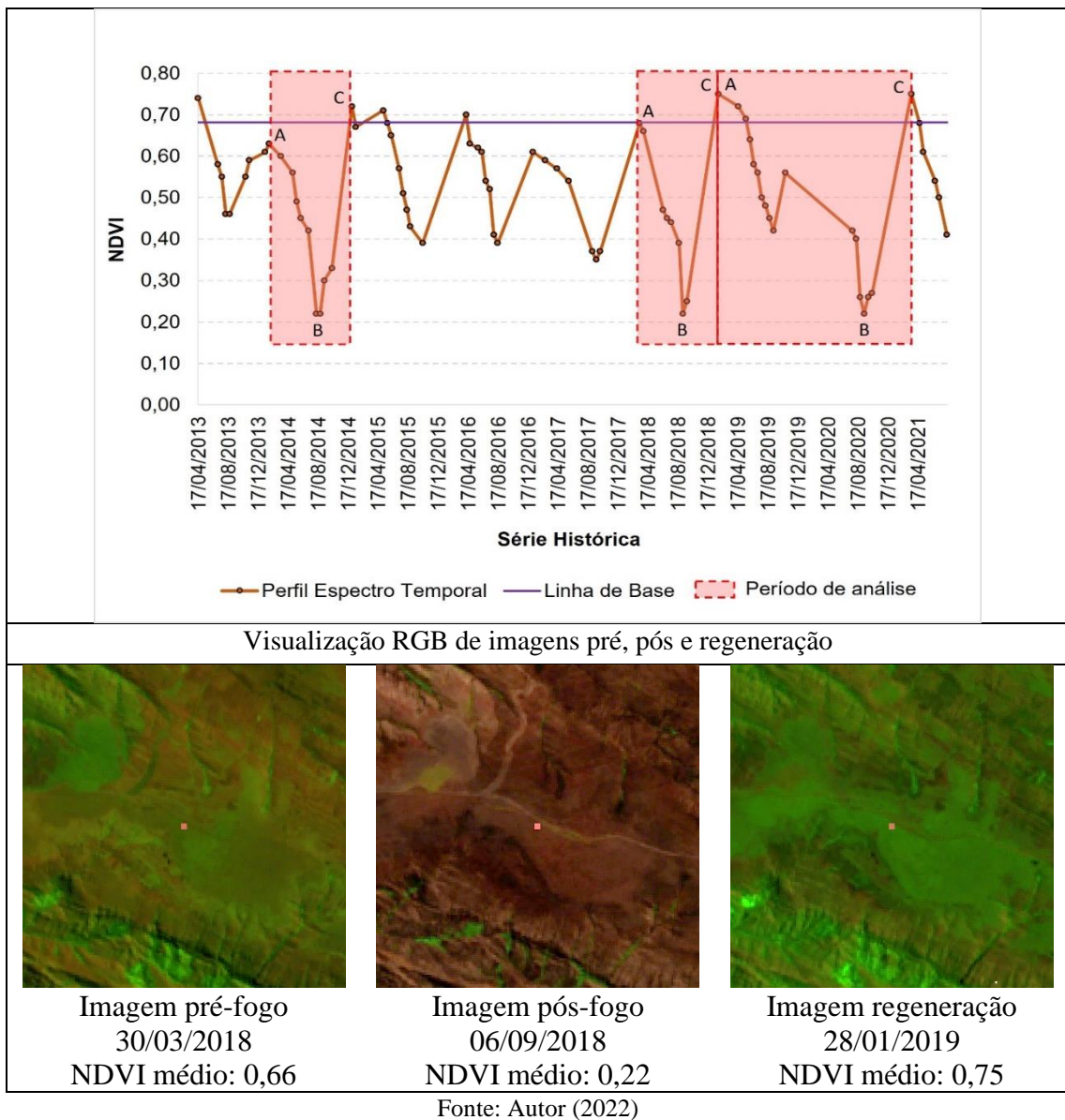
Quadro 17. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 17)

O segundo período de análise apresentou NDVI de 0,68 em 30/03/2018 na imagem pré-fogo, a imagem pós-fogo datada em 06/09/2018, apresentou NDVI de 0,21, enquanto a imagem regeneração datada em 28/01/2019, apresentou 0,73 de NDVI, o que equivale a 4,8 meses ou 145 dias. O terceiro período de análise obteve o tempo máximo de dias necessários para a regeneração, com incêndio datado em 11/09/2020, com 0,17 de NDVI, e somente após 193 dias (6,4 meses) apresentou NDVI de 0,73, em 22/03/2021, conforme observado nas imagens RGB do Quadro 17.

A amostra 18 também obteve 3 períodos de análise (Quadro 18), com 3 ocorrências de incêndio ao longo da série temporal, com 188, 145 e 193 dias necessários para regeneração da amostra, enquanto a amplitude entre eles foi de 1,6 meses (48 dias).

Observa-se aqui padrão espectro-temporal similar a amostra anterior, que se deve ao fato de as amostras estarem alocadas em áreas próximas, uma vez que a área da fitofisionomia, como já mencionado, é de apenas 299ha, havendo dificuldade na escolha na alocação de amostras.

Quadro 18. Perfil espectro-temporal e imagens comparativas pré e pós incêndio (amostra 18)



O primeiro período de análise apresentou NDVI de 0,63 em 30/01/2014 na imagem pré-fogo, não atingindo a linha de base (0,68). A imagem pós-fogo datada em 28/06/2014,

apresentou NDVI de 0,22, enquanto a imagem regeneração datada em 01/01/2015, apresentou 0,72 de NDVI, o que equivale a 6,2 meses ou 188 dias. O segundo período de análise apresentou o tempo mínimo de dias necessários para a regeneração, com incêndio datado em 06/09/2018, com 0,22 de NDVI, e após 145 dias (4,8 meses) apresentou NDVI de 0,75, em 28/01/2019, conforme observado nas imagens RGB do Quadro 18.

O terceiro e, último período de análise, iniciou-se em 28/01/2019 com imagem pré apresentando 0,66 de NDVI, incêndio datado em 11/09/2020, com NDVI de 0,22, e imagem regeneração datada em 22/03/21, 6,4 meses depois.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante as análises pluviométricas, observou-se que a sazonalidade climática anual interfere no comportamento do NDVI nas 3 fitofisionomias, chegando por vezes, a induzir a ocorrência de incêndios. Assim, a inspeção visual do comportamento espectral nos gráficos foi de fundamental importância para a acurácia da detecção dos incêndios.

A diferença do padrão sazonal do NDVI nas fitofisionomias do bioma Cerrado pode ser observada através do comportamento temporal do índice nos períodos chuvoso e de estiagem, que apresenta valores espectrais oscilantes entre as estações. Conclui-se que os efeitos dos incêndios florestais podem variar de acordo com diversos fatores, entretanto, dentro das variáveis estudadas neste trabalho, a precipitação teve um fator preponderante na recuperação do vigor da vegetação, representada pelo índice espectral NDVI.

As análises demonstraram que o NDVI é capaz de detectar a diferença sazonal do vigor vegetativo ao longo dos meses, entre as estações seca e chuvosa, bem como entre a vegetação pós-fogo e não queimada. Ao analisar as áreas impactadas pelos incêndios florestais no PNSC, observou-se que a vegetação tende a ter melhor recuperação quando estes eventos ocorrem no fim da estação seca e/ou no início da estação chuvosa.

Observou-se, entretanto, que após a detecção da cicatriz há poucas imagens disponíveis para analisar o comportamento do perfil espectral pós-fogo, até a linha de base ser atingida. Isso de certa forma é um problema, pois exclui-se as fases de análise da regeneração/sucessão, que seriam representadas em gráfico. Isso certamente está ligado à cobertura de nuvens e ao tipo de sensor utilizado (sensor óptico), da família de satélites Landsat.

Incêndios florestais induzem a queima de biomassa, tornando possível sua detecção e análise temporal de índices espectrais de condições pré e pós-fogo via imageamento orbital,

permitindo assim, a verificação do processo de regeneração de áreas com cicatrizes de queimadas. Assim, conseguiu-se por meio desse trabalho, estimar a regeneração pós-fogo de formações vegetais de Cerrado no Parque Nacional da Serra da Canastra.

O diagnóstico e a dinâmica espaço-temporal das cicatrizes de queimadas foram viabilizados por dados produzidos pela iniciativa MapBiomias Fogo (versão beta), que além da qualidade de seus produtos, possui facilidade em adquirí-los. Tanto os mapas de cicatrizes, como os mapas de recorrência, corroboram significativamente com estudos realizados no presente trabalho.

O processo de seleção das amostras apresentou-se complexo, em virtude de certas peculiaridades referentes à extensão das áreas fitofisionômicas, a exemplo do Campo Rupestre e Cerrado. Ao excluir as áreas de afloramentos rochosos e áreas de rede de drenagem, bem como a delimitação de um *buffer* em suas proximidades, além da divisão em baixa e alta recorrência de incêndios, reduziu-se ainda mais as áreas aptas às amostras para cada conjunto amostral. Isso fez com que, algumas amostras das fitofisionomias Cerrado e de Campo Rupestre fossem alocadas próximas umas às outras.

Por outro lado, a plataforma *Google Earth Engine* mostrou-se uma importante aliada no que tange ao rápido tratamento e aquisição dos dados orbitais. Se o presente trabalho utilizasse de métodos tradicionais, por meio *downloads* de diversas cenas e processamento em ambiente SIG imagem-a-imagem, seria certamente demandado mais tempo para produção e análise dos resultados.

A avaliação espectro-temporal da regeneração da vegetação em fitofisionomias de Cerrado no PNSC mostrou-se eficaz e corrobora com estudos relacionados à temática previamente realizados. Tal metodologia proporcionou maior entendimento acerca dos processos naturais de sucessão em ambientes de difícil acesso, porém não excluindo a necessidade de ida a campo.

Em todas as amostras selecionadas, tanto de baixa quanto de alta recorrência, na fitofisionomia de Campo Limpo, Campo Rupestre e Cerrado, foram observadas que há concordância entre o mapa de recorrência adquirido do MapBiomias Fogo (versão beta) e o NDVI calculado no presente trabalho, evidenciando a efetividade do índice em identificar incêndios ocorridos no PNSC.

A média para regeneração da fitofisionomia Campo Limpo, em áreas de baixa recorrência de incêndios foi de 142 dias ou 4,7 meses ($n = 4$), oscilando de 74 a 209 dias. Já a

média para áreas de alta recorrência foi de 385 dias ou 13 meses ($n = 15$), obtendo variações médias entre 319 e 445 dias.

A média para regeneração em Campo Rupestre no PNSC, em áreas de baixa recorrência de incêndios foi de 177 dias ou 5,9 meses ($n = 6$), oscilando de 74 a 241 dias. Já a média para áreas de alta recorrência foi de 265 dias ou 8,9 meses ($n = 13$), obtendo variação de 154 a 545 dias.

A média para regeneração da fitofisionomia Cerrado, em áreas de baixa recorrência de incêndios, necessitaram de 6,4 meses (193 dias) para regeneração, enquanto as áreas com alta recorrência necessitaram em média de 169 dias ou 5,6 meses, obtendo variações médias entre 145 e 193 dias. A média obtida para todas as 6 amostras foi de 179 dias ou 6 meses, correspondendo em média a um ciclo chuvoso no clima Tropical.

Com relação à diferenciação estatística entre os tempos de regeneração em diferentes classes de recorrência (baixa e alta), o teste *t* de *Student* apontou que há diferença estatisticamente significativa entre as médias das amostras para as 3 fitofisionomias abordadas, ao nível de 5 % e 10% de significância, dadas respectivamente às fitofisionomias de Campo Limpo e Cerrado, bem como a Campo Rupestre.

Com o intuito de apontar caminhos a serem trilhados por outros trabalhos nesta temática no PNSC, sugere-se como alternativa visando a solução do problema de cobertura de nuvens na estação chuvosa, a utilização do $NDVI_{SAR}$, com base em diferentes polarizações (VH e VV), que poderá contribuir no imageamento sob quaisquer condições meteorológicas, auxiliando na elaboração da curva espectro-temporal de regeneração de forma mais satisfatória.

Algumas lacunas podem ser exploradas em trabalhos posteriores, como na análise da precipitação acumulada entre os registros de NDVI, a fim de estimar a lâmina média necessária para a regeneração das fitofisionomias, além no possível incremento do número de amostras, ou mesmo, amostras de tamanhos diferenciados, para fornecer maior conjunto amostral e heterogeneidade de dados.

Outro fato que pode ser explorado acerca das amostras é a adoção da unidade amostral sendo a cicatriz de incêndio e não um conjunto de pixels. Ao se tratar de sensores de média resolução, como no caso do OLI acoplado no satélite Landsat 8, áreas um pouco maiores podem ser mais bem exploradas pela resposta espectral. Ainda com relação ao uso de sensores, há a opção de dados do satélite Sentinel-2, caso a opção seja por trabalhar nas regiões do visível e infravermelho, pois há bandas em *Red-Edge* e com o diferencial que este satélite possui recorrência de 5 dias.

E por fim, como explorado no texto sobre áreas de alta recorrência, o fenômeno do fogo e a resposta da vegetação frente a tal distúrbio, devem-se a diversos fatores, inclusive o da severidade do incêndio. Uma possível utilização de dados de severidade de queimada a partir do índice dNBR, pode indicar diferentes períodos de regeneração em virtude dos distintos graus de intensidade da ocorrência.

Espera-se com este trabalho ter contribuído na construção da compreensão do processo regenerativo pós-fogo no Parque Nacional da Serra da Canastra, fornecendo subsídios à gestão do parque, bem como na conservação de seus recursos naturais e, principalmente, na contribuição científica na abordagem da regeneração da vegetação por meio de análises espectro-temporais de produtos orbitais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil. **The evolution of water resources management in Brazil**. Brasília: ANA, 2002. p. 64.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/>. Acesso em: 15/01/2022.

AGNES, C. et al. Fatores ecológicos condicionantes da vegetação do cerradão. **Caderno de Pesquisa Sér. Bio., Santa Cruz do Sul**, v. 19, n. 3, p. 25-37, 2007.

ALBUQUERQUE, E et al. Geografia do Meio Ambiente. **Revista Geopolítica Transfronteiriça**, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 46-57, ago. 2020.

ALLEVATO, S.R. Memória central do projeto Radambrasil. *Rev. Bras. Cartogr.*, Rio de Janeiro, n. 25, p. 31-36, 1979.

ALVES, K. et al. Uso de dados climáticos para análise espacial de risco de incêndio florestal. *Mercator*, Fortaleza, v. 10, n. 22, p. 209-219, 2011.

AMOS, C. et al. Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. *Int. J. Remote Sens.* V. 40 n. 3, p. 905–930, 2019.

ANDERSON, L. et al. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 445-456, 2005.

ANDRADE, M. Geografia: ciência da sociedade. **São Paulo: Atlas**, p. 163-172, 1987.

ARAGAO, L. et al. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1779-1785, 2008.

ARAÚJO, F. et al. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. *Floresta e Ambiente*, v. 20, n. 3, p. 336-343, 2013.

ARAÚJO, F. et al. O papel do distúrbio na regeneração natural dos ecossistemas florestais. **Revista De Ciências Agroambientais**, 14(1), 2016. <https://doi.org/10.5327/rcaa.v14i1.1420>.

ARAÚJO, T. et al. Análise multitemporal dos Lençóis Maranhenses entre 1984 a 2014 utilizando sensoriamento remoto orbital. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 01, p. 280-295, 2016.

ARAGUARI, C.B.H. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, 2013. Disponível em: <http://cbharaguari.org.br>. Acesso em, v. 21, 2022.

AU YEUNG, C. et al. Comparison of vegetation regeneration after wildfire between Mediterranean and tundra ecosystems by using Landsat images. *Ann. Gis* v. 24, n. 2, p. 99–112, 2018.

AXIMOFF, I. O que perdemos com a Passagem do Fogo pelos Campos de Altitude do Estado do Rio de Janeiro. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 180-200, 2011.

BARBOSA, R. et al. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. **Forest ecology and Management**, v. 204, n. 2-3, p. 371-384, 2005.

BARLOW, J. et al. Wildfires in bamboo-dominated Amazonian forest: impacts on above-ground biomass and biodiversity. **PLoS One**, v. 7, n. 3, p. e33373, 2012.

BATALHA, M. et al. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. *Revista Brasileira de Biologia* v. 60, n. 1, p. 129-145, 2000.

BECERRA, J. et al. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 125-134, 2009.

BERTRAND, G. et al. Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.

BOLFE, E. et al. Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções. **Embrapa Informática Agropecuária-Livro científico (ALICE)**, 2020.

BORATTO, I. M. et al. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7345-7352., 2013.

BRASIL. Constituição (1934) Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil. Rio de Janeiro, 1934. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao34.htm>

BRASIL. Decreto No 70.355, de 3 de abril de 1972. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1970-1979/D70355.htm>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. **Plano de manejo do Parque Nacional da Serra da Canastra**. Brasília, DF. 2005. 799p.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/SF/legisla-cao/const/>>. Acesso em: 01/01/2009.

BRASIL. Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000. SNUC - **Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. Publicado no D.O.U. de 19 de julho de 2000.

BRASIL, CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO do. Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais. 2010.

BRANDO, P. et al. Abrupt Increases in Amazonian Tree Mortality Due to Drought-Fire Interactions. Proc. Natl. Acad. Sci., v. 111, p. 6347-6352, 2014. DOI: 10.1073/Pnas.1305499111.

BRITO, J. Efeitos do fogo sobre a vegetação em duas áreas de campo rupestre na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. 2011. 92 f. **Dissertação (Mestrado Acadêmico em Botânica)**- Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

BRITO, M. Unidades de conservação: intenções e resultados. **Annablume**, 2000.

CASSETI, V. Ambiente e apropriação do relevo. São Paulo: Ed. Contexto, 1991.

CATRY, F. X. et al. Post-fire tree mortality in mixed forests of central Portugal. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 7, p. 1184-1192, 2010.

CHAZDON, R. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. **Perspectives in Plant Ecology, evolution and systematics**, v. 6, n. 1-2, p. 51-71, 2003.

CHAZDON, Robin L. Renascimento de florestas. Regeneração na era do desmatamento. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2016.

CLEMENTS, F. Nature and structure of the climax. **Journal of ecology**, v. 24, n. 1, p. 252-284, 1936.

CLEMENTS, F. et al. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie Institution of Washington, 1916.

COLWELL, R. et al. Manual of Remote Sensing, **American Society of Photogrammetry**. Falls Church, Virginia, 1983.

CONCEIÇÃO A. et al. Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia: substratos, composição florística e aspectos estruturais. *Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo* v. 23, p. 85-111, 2005.

COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of the brazilian cerrado. In: Goldammer, J.G. (Ed.) *Fire in the Tropical biota*. Berlin, Springer-Verlag. Pp. 82-105, 1990.

COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: J.G. COUTINHO, Leopoldo Magno. *O conceito de bioma*. Acta botanica brasílica, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.

JUNIOR, A. et al. Integração de parâmetros morfométricos e imagem aster para a delimitação das fitofisionomias da Serra da Canastra, Parque Nacional da Serra da Canastra, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 1, p. 57-68, 2010.

DAMASCENO, G. et al. Impact of invasive grasses on cerrado under natural regeneration. **Biological Invasions**, v. 20, n. 12, p. 3621-3629, 2018.

DULLEY, R. et al. Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais. **Agricultura em São Paulo**. São Paulo, v. 51, n. 2, p. 15-26, 2004.

ECKHARDT, H. et al. Trends in woody vegetation cover in the Kruger National Park, South Africa, between 1940 and 1998. **African Journal of Ecology**, v. 38, n. 2, p. 108-115, 2000.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

ELIAS, R. et al. Primary succession on lava domes on Terceira (Azores). **Journal of Vegetation Science**, v. 15, n. 3, p. 331-338, 2004.

ELMORE, A, et al. Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. **Remote sensing of environment**, v. 73, n. 1, p. 87-102, 2000.

FARENZENA, D. Considerações sobre a temática ambiental em Geografia. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2001.

FERREIRA, A. Meteorologia prática. Oficina de Textos, 2006.

FERREIRA, G. O Parque Nacional da Serra da Canastra/MG: algumas propostas, conflitos e incertezas territoriais. In: **Revista Cerrados**, v. 13, n. 1, p. 111-139, 2015.

FERREIRA, K. et al. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. **Remote Sens.** 2020, 12, 4033. <https://doi.org/10.3390/rs12244033>.

FERREIRA, L. et al. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. Acta Scientiarum. **Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FIEDLER, N. et al. Efeito de incêndios florestais na estrutura e composição florística de uma área de cerrado sensu stricto na Fazenda Água Limpa - DF. *Revista Árvore* v. 28, p. 129-138, 2004.

FIEDLER, N. et al. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, v. 16, p. 153-161, 2006.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. São Paulo, 2005.

FLORENZANO, T. Iniciação em sensoriamento remoto. Oficina de textos, 2007.

FRANKS, S. et al. Monitoring forest regrowth following large scale fire using satellite data-A case study of Yellowstone National Park, USA. *Eur. J. Remote Sens.* v. 46, n. 1, p. 551-569, 2013.

FUNK, C. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.

FURQUIM, L. et al. Relação entre plantas nativas do cerrado e água. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 2, p. 146-156, 2018.

GHIMIRE, K. Population Dynamics, Environment Changes, and Development Processes in Developing Countries. 1993.

GOEL, N. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v. 4, n.1, p. 1-212, 1998. DOI:10.1080/02757258809532105.

GOLTZ, E. et al. Utilização de índices espectrais de vegetação do sensor MODIS na determinação de áreas suscetíveis a alagamento no Pantanal sulmatogrossense. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 35-44, 2007.

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.

GOUVEIA, G. et al. Fenologia de comunidades de cerrado e de mata de galeria no Brasil Central. **Revista Árvore**, v.22, n. 4, p. 443-450, 1998.

GOUVEIA, C. et al. Post-fire vegetation recovery in Portugal based on spot/vegetation data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 10, n. 4, p. 673-684, 2010.

GUEDES, J. et al. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. **Acta Geográfica**, v. 12, n. 29, p. 127-144, 2018.

HIRD, J. et al. Satellite Time Series and Google Earth Engine Democratize the Process of Forest-Recovery Monitoring over Large Areas. **Remote Sensing**, v. 13, n. 23, p. 4745, 2021.

HOFMAN, J. et al. Novel approach to monitoring of the soil biological quality. **Environment Internacional**, v. 28, n. 8, p. 771-778, 2003.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano Operativo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Parque Nacional Serra da Canastra. São Roque de Minas (MG): MMA-Prevfogo, 2007b.

IBGE. Manual técnico de geomorfologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área territorial -Brasil, Grandes regiões, Unidades da Federação e Municípios. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=acesso-ao-produto>>

INPE. Brazildatacube. Projeto Brazil Data Cube, 2019. Disponível em: <<http://brazildatacube.org/>>. Acesso em: 23/11/2021.

JENSEN, J. R. et al. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JOHANNSEN, C. J. et al. Remote sensing changing natural resource management. **Journal of soil and water conservation**, v. 58, n. 2, p. 42A-45A, 2003.

LANDI, M. et al. Selecting control sites for post-fire ecological studies using biological criteria and MODIS time series data. *Fire Ecol.* V. 13, n. 2, p. 1, 2017.

LATUF, M. et al. Análise multitemporal de incêndios florestais ocorridos no Estado de Minas Gerais entre 2001 e 2020. **Revista Cerrados**, [S. l.], v. 20, n. 01, p. 120–148, 2022. DOI: 10.46551/rc24482692202206. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/4649>. Acesso em: 4 fev. 2022.

LEWIS, A. et al. The Australian geoscience data cube—foundations and lessons learned. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 276-292, 2017.

LHERMITTE, S. et al. Assessing intra-annual vegetation regrowth after fire using the pixel based regeneration index. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* v. 66, n. 1, p. 17–27, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.08.004>.

LIU, L. et al. Predicting winter wheat condition, grain yield and protein content using multi-temporal EnviSat-ASAR and Landsat TM satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, v. 27, n. 4, p. 737-753, 2006.

MAGALHÃES, S. et al. Avaliação dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional da Serra da Canastra-Minas Gerais. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 135-141, 2012.

MAPBIOMAS. PROJETO – Coleção 1 do mapeamento das cicatrizes de fogo do Brasil (1985-2020), acessado em [16/10/2021] através do link: <https://mapbiomas.org/ferramentas>.

MATOS, N. Incêndios florestais no bioma pantanal: dinâmica espacial e temporal entre 2003 e 2013. 2014. 107 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) —Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MAURO, M. et al. Organização estrutural da paisagem da Serra da Canastra (MG). **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 1, p. 53-79, 2018.

MENDONÇA, F. A. **Geografia e meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 1a ed., 1993.

MENDONÇA, F. Geografia socioambiental. **Terra Livre**, v. 1, n. 16, p. 113-132, 2015.

MENDONÇA, R. C et al. Flora vascular do cerrado. In: Sano, S. M. et al, (Eds). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF, Brazil: EMBRAPA-CPAC. p. 288-556, 1998.

MERCADANTE, M. Uma década de debate e negociação: a história da elaboração da Lei do SNUC. Direito ambiental das áreas protegidas: o regime jurídico das unidades de conservação. Rio de Janeiro: **Forense Universitária**, p. 190-231, 2001.

MESSIAS, C. G. et al. Aplicação do método de classificação contínua fuzzy para o mapeamento da fragilidade do terreno em relação à ocorrência de ravinas no parque nacional da serra da canastra-. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 39, p. 111-127, 2017.

MESSIAS, C. G. et al. Modelo Geoespacial para a Identificação de Áreas com Perigo de Propagação de Queimadas no Parque Nacional da Serra da Canastra. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 38, p. 154-168, 2019.

MILLER, K. R. Evolução do conceito de áreas de proteção: oportunidades para o século XXI. In: Anais do I Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação. Curitiba: IAP:UNILIVRE: Rede Nacional Pró Unidades de Conservação, v. 1, p. 3-21, 1997.

MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2021. Disponível em: < <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/planos-de-manejo> >. Acesso em: 21/09/2021.

MONTIBELLER, G. Espaço socioambiental e troca desigual. Revista Internacional Interdisciplinar **INTERthesis**, v. 1, n. 2, p. 1-20, 2004.

MORAES, A. **Geografia: Pequena história crítica**. 21. ed, São Paulo: Hucitec, 2007.

MORAES, E. Capítulo 1 fundamentos de sensoriamento remoto. 2002.

MORO, F. et al. Alienígenas na sala: o que fazer com espécies exóticas em trabalhos de taxonomia, florística e fitossociologia? *Acta Botânica Brasílica*, v. 26, n. 4, p. 991-999, 2012.

NEPSTAD, D. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, v. 398, n. 6727, p. 505-508, 1999.

NASCIMENTO, P. et al. Eventos extremos de precipitação no Estado de Minas Gerais associados com a ocorrência de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1013-1023, 2020.

NOVAIS, G.T. Caracterização climática da mesoregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do entorno da Serra da Canastra. Dissertação de Mestrado. IG – UFU. P. 175, 2011.

ODUM, H. Limits of remote ecosystems containing man. **The American Biology Teacher**, v. 25, n. 6, p. 429-443, 1963.

OLIVEIRA, L. The interaction between Park management and the activities of local people around National Parks in Minas Gerais, Brazil. Ph.D. in Geography. University of Edinburgh, 1999.

OLIVEIRA, I. et al. Análise multitemporal da regeneração natural da candeia após ocorrência de incêndio florestal. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 12, n. 2, p. 192-197, 2017.

PARANAÍBA, C. B. H. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, 2013. Disponível em: <http://cbhparanaiba.org.br>. Acesso em, v. 21, 2022.

PASSOS, P. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**, v. 6, 2009.

PEREIRA, W. et al. Manejo de plantas espontâneas no sistema de produção orgânica de hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. (Circular Técnica, nº 62).

PEREIRA, Allan Arantes et al. Avaliação de índices espectrais para identificação de áreas queimadas no cerrado utilizando dados LandSat TM. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 8, n. 68, p. 1665-1680, 2016.

PERES, M. et al. Avaliação dos bancos de sementes do solo de fragmentos florestais de mata estacional semidecidual clímax e secundária e seu potencial em recuperar áreas degradadas. **Revista agrogeoambiental**, v. 1, n. 2, 2009.

PIAIA, B. et al. Transposição do banco de sementes para restauração ecológica da floresta estacional no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 227-235, 2017.

PINTO-COELHO, R. M. **Fundamentos em ecologia**. Artmed Editora, 2009.

PONZONI, F. J. et al. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de Textos, 2015.

QUINTÃO, A. T. B. Evolução do conceito de Parques Nacionais e sua relação com o processo de desenvolvimento. **Brasil Florestal**, n. 54, p. 13-28, 1983.

RESENDE, F. et al. Análise de Índices Espectrais para Estimativa de Áreas de Regeneração Florestal no Parque Nacional Chapada Das Mesas. **Revista Territorium Terram**, v. 3, n. 5, p. 95-104, 2015.

RIBEIRO JÚNIOR, A. P. Acurácia da precipitação de base orbital na bacia hidrográfica do reservatório de Furnas. 2019. **Monografia (Graduação em Geografia Licenciatura)**- Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Alfenas, 2019.

ROMERO, R. et al. Espécies endêmicas do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. *Brazilian Journal of Botany*, v. 22, p. 259-265, 1999.

ROUSE, J. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **ERTS-1 Symposium**, 3, 10-14 December, Washington, DC. Proceedings. Washington, NASA SP-351, p. 309-317, 1973.

SANO, E. et al. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SANO, E. et al. Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados. 2007.

SANTOS, M. Algumas considerações acerca do conceito de sustentabilidade: suas dimensões política, teórica e ontológica. In: RODRIGUES, A. M. Desenvolvimento sustentável, teorias, debates e aplicabilidades. Campinas:

UNICAMP/IFCH, 1996. p. 13-48. (Textos Didáticos, n. 23).

SANTOS, A. et al. Paisagem do Parque Nacional da Serra da Canastra e de sua zona de amortecimento-MG. Monografia. Análise de padrões espaciais a partir de árvore de decisão e métricas de paisagem, 2014.

SATO, M. et al. O fogo e o estrato arbóreo do Cerrado: efeitos imediatos e a longo prazo. In: MIRANDA, H. S. (Ed.). Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo. 1. ed. Brasília-DF: Ibama, p. 77-91, 2010.

SCHMID, J. et al. Using Google Earth Engine for Landsat NDVI time series analysis to indicate the present status of forest stands. Georg-August-Universität Göttingen: Basel, Switzerland, 2017.

SETZER, A. et al. Queimadas e incêndios florestais mediante monitoramento orbital, p.197. Oficina de Textos. São Paulo, 2021

SEVER, L. et al. Remote sensing of post-fire vegetation recovery; a study using Landsat 5 TM imagery and NDVI in North-East Victoria. *Journal of Spatial Science*, v. 57, n. 2, p. 175-191, 2012.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2021. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 10/12/2021.

SOARES, P. et al. Tectonic cycles and sedimentary sequences in the Brazilian intracratonic basins. **Geological Society of America Bulletin**, v. 89, n. 2, p. 181-191, 1978.

SOILLE, P. et al. A versatile data-intensive computing platform for information retrieval from big geospatial data. *Future Generation Computer Systems*, n. 81, p. 30-40, 2018.

SOUZA, B. et al. Considerações sobre a geografia e o ambiente. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 1, n. 1, p. 5-15, 2007.

SPRINGER, Kalina Salaib. A CONCEPÇÃO DE NATUREZA NA GEOGRAFIA (the nature's concept in geography). **Mercator**, v. 9, n. 18, p. 159 a 170-159 a 170, 2010.

STANKOVA, N. et al. Modeling of forest ecosystems recovery after fire based on orthogonalization of multispectral satellite data. In: Paper Presented at the Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications IX, 2018.

SUERTEGARAY, D. **A trajetoria da natureza: um estudo geomorfológico sobre os Areais de Quaraí-RS**. USP, 1987.

SUERTEGARAY, D. Meio, Ambiente e Geografia. 2021.

TIVY, F. Ecosystem and disturbance. In: **Biogeography: a study of plants in the ecosphere**. Essex: Longman Scientific & Technical, 1993. p.293-310.

TONBUL, H. et al. Assessment of fire severity and post-fire regeneration based on topographical features using multitemporal landsat imagery: a case study in mersin. ISPRS-Int. Arch. Photogrammetry, **Remote Sens. Spatial Inf. Sci.** p. 763–769, 2016.

UFV - Universidade Federal de Viçosa; CETEC-MG - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; UFLA - Universidade Federal de Lavras; FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de Solos Do Estado de Minas Gerais: Escala 1:650.000**. Legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

UICN. União Mundial para a Conservação da Natureza. Guidelines Protected Areas Management Categories. **Gland**: UICN, 1994.

VALLEJO, L. R. Unidade de conservação: uma discussão teórica à luz dos conceitos de território e políticas públicas. **Geographia**, v. 4, n. 8, p. 57-78, 2002.

VIEIRA, Liszt et al. A política ambiental do Brasil ontem e hoje. **Revista Eco**, v. 21, p. 129, 2007.

WILLIAMS, R.J. et al. Fire regime, fire intensity and tree survival in a tropical savanna in northern Australia. **Journal of Ecology**, n. 24, p. 50-59, 1999.

YANG, Y. et al. Detecting the dynamics of vegetation disturbance and recovery in surface mining area via Landsat imagery and LandTrendr algorithm. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 353-362, 2018.

ZANTER, K. **Landsat 8 Surface Reflectance Code (LASRC) Product Guide**. USGS: Sioux Falls, SD, USA, p. 39, 2019.

ZHU, Z. et al. Automated cloud, cloud shadow, and snow detection in multitemporal Landsat data: An algorithm designed specifically for monitoring land cover change. **Remote Sensing of Environment**, v. 152, p. 217-234, 2014.