Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais

DHONATAN DIEGO PESSI

REFLEXOS DAS MUDANÇAS GLOBAIS SOBRE A DINÂMICA DA COBERTURA ESPACIAL DOS CAMPOS DE ALTITUDE NO INTERIOR DA AMÉRICA DO SUL

Campo Grande, MS
Fevereiro de 2023

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais

DHONATAN DIEGO PESSI

REFLEXOS DAS MUDANÇAS GLOBAIS SOBRE A DINÂMICA DA COBERTURA ESPACIAL DOS CAMPOS DE ALTITUDE NO INTERIOR DA AMÉRICA DO SUL

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, área de concentração: *Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos*.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho

Aprovada em: 27/02/2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho
Orientador PGTA – UFMS
Prof. Dr. Marco Antonio Diodato
Coorientador UFERSA

Prof. Dr. Normandes Matos da Silva
UFR

Prof. Dra. Camila Leonardo Mioto
UFR

Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio
UERN

Prof. Dr. Vinícius de Oliveira Ribeiro
UEMS

Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves
UFMS

Campo Grande, MS
Fevereiro de 2023

DEDICATÓRIA

A todos aqueles cientistas, pesquisadores e inventores da presente e passada geração que não mediram esforços na busca de entender a natureza das coisas, descobrir o desconhecido e desenvolver ferramentas para melhorar a qualidade de vida de todos nós.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos os colegas, profissionais e instituições, que de forma direta ou indireta me ajudaram e ou participaram desse estudo e se não fosse essa colaboração esse trabalho de tese não seria possível:

Ao meu orientador Antonio Conceição Paranhos Filho, pela sempre paternal orientação seja nesse trabalho de tese e em minha vida pessoal e profissional. Ajudou-me em muitos momentos em que precisei não só de uma orientação de pesquisa, mas também de vida, nas horas que precisei nunca me negou ajuda. Meu eterno agradecimento e respeito a essa pessoa.

Agradeço ainda: ao meu coorientador Marco Diodato por toda a ajuda, paciência e respeito que teve comigo. Também agradeço à toda banca examinadora pela participação, pela ajuda importantíssima e pela atenção para com esse trabalho.

Quero agradecer também ao meu amigo Prof. Normandes M. Silva que me ajudou muito desde que ingressei no mestrado como seu aluno. Ajudou-me após o mestrado me indicando como aluno de doutorado ao Prof. Toni. Agradeço pela amizade e respeito que mantivemos ao longo dos anos em que trabalhamos juntos. Meu eterno respeito a essa pessoa.

Agradeço também às instituições que colaboraram com esse trabalho de tese: IHP – Institui Homem Pantaneiro e Mineradora VALE.

Por último agradeço à UFMS em especial ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PGTA) pela oportunidade de fazer parte dos seletos alunos que passaram por esse programa, e à CAPES pela bolsa (processo n° 88887.494036/2020-00) que foi extremamente importante e que muito me ajudou para poder concluir e realizar este trabalho de tese de doutorado.

EPÍGRAFE

Nunca se alcança a verdade total, nem nunca se está totalmente longe dela.

Aristóteles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das duas áreas de estudos, em a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal.....26

Figura 1.1. Localização: a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal.....36

Figura 1.2. Fotografia retirada pela câmera de monitoramento em tempo real do Instituto Homem Pantaneiro no pico mais alto da Serra do Amolar. 37

Figura 1.3. Campos de Altitude presente na Serra do Amolar.....37

Figura 1.4. Campos de Altitude presente na Serra do Amolar.....38

Figura 1.5. Campos de Altitude presente na Serra do Amolar.....38

Figura 1.6. Localização das unidades de conservação presentes na rede da Serra do Amolar.....40

Figura 1.7. Localização: a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal.....41

Figura 1.8. Campos de Altitude distribuídos em zona de altitudes acima dos 700 m na Morraria do Urucum.....43

Figura 1.9. Campos de Altitude distribuídos em zona de altitudes acima dos 700 m na Morraria do Urucum.....44

Figura 1.10. Campos de Altitude distribuídos em zona de altitudes acima dos 700 m na Morraria do Urucum.....44

Figura 1.11. Campos de Altitude gramíneo-herbáceo (Capim rabo-de-raposa, *Aristida sp*.) na Morraria do Urucum.....46

Figura 1.12. Capim-dourado (*Axonopus aureus*) na Morraria do Urucum.....46

Figura 1.13. Capim-bobó (*Ctenium sp*.) na Morraria do Urucum.....47

Figura 1.14. Capim-pânico (*Panicum sp*.) na Morraria do Urucum.....47

Figura 2.1. Passo a passo ilustrado no fluxograma, onde os processos realizados na busca de artigos para a análise bibliométrica seguiram os critérios descritos nessa figura desde a base de dados (Web of Science) até o tratamento dos dados no EndNote. Fluxograma

confeccionado gratuitamente no site Canva (CANVA, 2020).....61

Figura 2.2. Quantidade de publicações por ano dos documentos alinhados à pesquisa.....62

Figura 2.3. Número de citações por periódicos.....66

Figura 2.4. Número de vezes que os documentos analisados nessa pesquisa foram citados ao longo dos anos de análise.....67

Figura 2.5. Produção científica por área de conhecimento.....68

Figura 2.6. Percentual por área de conhecimento.....68

Figura 2.7. Análise de rede de co-ocorrência de palavras-chave do autor mais frequentemente usadas. As cores são representadas na legenda de anos (2014-2018).....70

Figure 3.1. Localização das duas áreas de estudo, em a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal.....84

Figure 3.2. Composição falsa-cor R-G-B modificada para as bandas MIR-NIR-R, para as duas áreas de análise e nos dois anos de estudo (2020-1985). Em A cena de 2020 (28/09/2020) e em B cena de 1985 (27/08/1985), para a Morraria do Urucum; em C cena de 2020 e em D cena de 1985, para a Serra do Amolar. Todas as imagens foram obtidas no período de estiagem do Pantanal. As diferenças de volume de água entre as imagens C e D é devido a uma seca muito severa no Pantanal no ano de 2020.....86

Figure 3.3 - Identificação das classes de vegetação nas duas áreas de análise. Em A Morraria do Urucum; A1 gramínea (Campo de Altitude), A2 vegetação arbórea/arbustiva, A3 área com solo exposto (importante mencionar essas áreas para não confundir com vegetação). Em B Serra do Amolar; B1 gramínea (Campo de Altitude), B2 vegetação arbórea/arbustiva.....88

Figure 3.4. Áreas amostrais recortadas para definir as classes de vegetação. Em A Campo de Altitude (polígonos vermelhos), solo exposto (polígonos laranjas), e vegetação arbórea (polígonos verdes) na área de estudo Morraria do Urucum; Em B Campo de Altitude (polígonos cinza) e vegetação arbórea (polígonos verdes) na área de estudo Serra do Amolar.....89

Figure 3.5. Área com pastagem na Morraria do Urucum na cena de 2020. Em A pastagem na imagem falsa-cor RGB. Em B produto NDVI com a pastagem delimitada, onde os valores de escala de NDVI se assemelham com o Campo de Altitude.....90

Figure 3.6. Polígonos gerados a partir dos dados de altimetria nas duas áreas de estudo. Em A) Morraria do Urucum; em B) Serra do Amolar.....91

Figure 3.7. Imagens de produto NDVI das áreas de análise com os valores máximo e mínimo de NDVI conforme mostrado na Tabela 3.3. Em A e B, Serra do Amolar em 2020 e 1985, respectivamente.....93

Figure 3.8. Imagens de produto NDVI das áreas de análise com os valores máximo e mínimo de NDVI conforme mostrado na Tabela 3.3. Em C e D, Morraria do Urucum em 2020 e 1985, respectivamente.....94

Figure 3.9. Composição multitemporal de produtos NDVI dos anos de análise. Em A, Morraria do Urucum; em B, Serra do Amolar. Legenda: Verde - ganho de biomassa vegetal; Vermelho - perda de biomassa vegetal; Amarelo – inalterado.....96

Figure 3.10. Área cortada para comparação entre os produtos NDVI de 1985 e 2020. Em: A1 e B1, Composição multitemporal, A2 e B2, Morraria do Urucum 1985, A3 e B3, Morraria do Urucum 2020; C1, Composição multitemporal, C2, Serra do Amolar 1985, e C3, Serra do Amolar 2020.....97

Figura 4.1. Localização das duas áreas de estudos, em a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal..... 108

Figura 4.2. Plotagem das camadas individuais das cenas multiespectral Landsat 8 e Landsat 1 respectivamente em níveis de cinza para as bandas do verde, vermelho e NIR.....110

Figura 4.3. Cenas compostas com os canais NIR-R-G para os períodos encontrados com baixa quantidade de nuvens para as áreas de estudo. Em A apresenta-se a cena do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 8; Em B é apresentado a cena do sensor MSS a bordo do satélite Landsat 1.....111

Figura 4.4. Recorte de áreas amostrais na Morraria do Urucum para a cena do Landsat 8 (2022) e Landsat 1 (1973) respectivamente. Legenda: A recorte 1 e B recorte 2.....112

Figura 4.5. Recorte de áreas amostrais na Serra do Amolar para a cena do Landsat 8 (2022). Legenda: A recorte 1, B recorte 2 e C recorte 3.....113

Figura 4.6. Recorte de áreas amostrais na Serra do Amolar para a cena do Landsat 1 (1973).....114

Figura 4.7. Localização dos pontos de amostragem dos locais com presença de vegetação Campos de Altitude nas áreas da Serra do Amolar e Morraria do Urucum. Legenda: Em linha vermelha, delimitação das áreas de estudo. Pontos brancos, pontos de amostragem. Barra de valores em escala de níveis de cinza.....115

Figura 4.8. Matrix de valores por pixel e reamostragem dessa mesma matriz por valores pré definidos no RStudio.....116

Figura 4.9. Exemplo de reamostragem por pixel. Valores de 0.3 a 0.4 foram definidos para serem reamostrados.....117

Figura 4.10. Distribuição do NDVI para os dois recortes usados na análise para a área de estudo Morraria do Urucum no ano de 1973.....118

Figura 4.11. Distribuição do NDVI para os dois recortes usados na análise para a área de estudo Morraria do Urucum no ano de 2022.....119

Figura 4.12. Distribuição dos pixels dos recortes analisados em escala de valor de NDVI.....120

Figura 4.13. Distribuição do NDVI para os três recortes usados na análise para a área de estudo Serra do Amolar no ano de 1973.....121

Figura 4.14. Distribuição do NDVI para os três recortes usados na análise para a área de estudo Serra do Amolar no ano de 2022.....122

Figura 4.15. Distribuição dos pixels dos recortes analisados em escala de valor de NDVI.....124

Figura 4.16. Valores dos pixels de NDVI reamostrados para os valores definidos conforme demonstrado na Tabela 4.4 para a Morraria do Urucum.....126

Figura 4.17. Valores dos pixels de NDVI reamostrados para os valores definidos conforme demonstrado na Tabela 4.5 para a Serra do Amolar.....127

Figura 4.18. Barplot dos valores em área dos dados reamostrados para as áreas e recortes estudados.....128

Figura 4.19. Sobreposição multitemporal em cores das diferenças da cobertura de Campos de Altitude para a Morraria do Urucum entre os anos de 1973 e 2022.....129

Figura 4.20. Sobreposição multitemporal em cores das diferenças da cobertura de Campos de Altitude para a Serra do Amolar entre os anos de 1973 e 2022.....129

Figura 4.21. Métricas da paisagem para a área de estudo Amolar e seus dois recortes de análise.....130

Figura 4.22. Métricas da paisagem para a área de estudo Urucum e seus três recortes de análise.....132

Figura 5.1. Localização das duas áreas de estudos, em a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal.....143

Figura 5.2. Polígonos gerados a partir dos dados de altimetria nas duas áreas de estudo. Em A) Morraria do Urucum; em B) Serra do Amolar……144

Figura 5.3. Localização de pontos dos locais com presença de vegetação Campos de Altitude nas áreas da Serra do Amolar e Morraria do Urucum. Legenda: Em linha vermelha, delimitação das áreas de estudo. Pontos brancos, pontos com presença de Campos de Altitude. Em A) Serra do Amolar; em B) Morraria do Urucum.....145

Figura 5.4. Exemplo de um pixel ou cell em um dado raster.....147

Figura 5.5. Exemplo de entrada de dados raster (x e y) com valores por pixel diferentes.....147

Figura 5.6. Alinhamento das células e aplicação de álgebra sobre os produtos de entrada com um terceiro dado raster resultante do cálculo.....147

Figura 5.7. Processo metodológico aplicado aos dados de entrada (input) com expressão matemática e com dado de saída (output).....149

Figura 5.8. Média mensal de temperatura entre os anos de 1982 e 2022 nas áreas de estudo.....151

Figura 5.9. Precipitação mensal acumulada entre os anos de 1982 e 2022 nas áreas de estudo.....152

Figura 5.10. Médias mensais de NDVI entre os anos de 1985 e 2022 para ambas as áreas de estudo analisadas.....153

Figura 5.11. Gráfico com a distribuição dos valores de temperatura, precipitação e NDVI ao longo dos anos analisados na Serra do Amolar.....153

Figura 5.12. Gráfico com a distribuição dos valores de temperatura, precipitação e NDVI ao longo dos anos analisados na Morraria do Urucum.....154

Figura 5.13. Distribuição espacial da média mensal de NDVI entre 1985 a 2022.....155

Figura 5.14. Distribuição dos pixels de NDVI.....155

Figura 5.15. Variação espacial do NDVI ao longo dos anos de análise na Serra do Amolar.....156

Figura 5.16. Variação espacial do NDVI ao longo dos anos de análise na Morraria do Urucum.....157

Figura 5.17. Correlação entre NDVI, temperatura média mensal e precipitação acumulada na área de estudo Serra do Amolar de 1985 a 2022.....158

Figura 5.18. Correlação entre NDVI, temperatura média mensal e precipitação acumulada na área de estudo Morraria do Urucum de 1985 a 2022.....158

Figura 5.19. Distribuição espacial de densidade de correlação entre as variáveis analisadas na Serra do Amolar de 1985 a 2022.....159

Figura 5.20. Distribuição espacial de densidade de correlação entre as variáveis analisadas na Morraria do Urucum de 1985 a 2022.....160

Figura 5.21. QQplot com os testes de Shapiro-Wilk para os resíduos das variáveis analisadas nas duas áreas de estudo.....161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Informações da coleta de dados bibliográficos para a revisão realizada neste estudo.....64

Tabela 2.1. Produção científica dos 5 principais países contribuintes. Legenda: NP: Número de Publicações; NC: Número de Citações.....66

Tabela 2.2. Ranking dos periódicos com maior produtividade científica e número de citações. NP: Número de Publicações; NC: Número de Citações; NC%: Percentual do Número de Citações.....70

Tabela 2.3. As 10 principais palavras-chave de alta frequência das publicações analisadas nessa pesquisa.....72

Tabela 2.4. Informações bibliográficas dos dez autores com maior H-index entre os artigos usados nessa análise.....88

Table 3.1. Informações das bandas espectrais usadas e os seus respectivos canais para cada um dos satélites usados na análise.....90

Table 3.2. Informações das escalas de valores mínimos e máximos dos produtos NDVI das imagens Landsat 5 e Landsat 8.....93

Table 3.3. Valores mínimos e máximos de NDVI encontrados para Campos de Altitude nas duas áreas e anos analisados.....96

Table 3.4. Distribuição espaço-temporal das classes analisadas e diferenças de área entre os anos estudados…….....110

Tabela 4.1. Dados técnicos e datas das cenas dos satélites usados na análise temporal da vegetação da Serra do Amolar e Morro do Urucum.....119

Tabela 4.2. Descrição das métricas da paisagem a serem calculadas.....121

Tabela 4.3. Resumo dos valores de NDVI para cada recorte e ano de análise na Morraria do Urucum.....124

Tabela 4.4. Resumo dos valores de NDVI para cada recorte e ano de análise na Serra do Amolar.....126

Tabela 4.5. Valores máximo e mínimo na reamostragem por pixel para os recortes usados nas análises para Morraria do Urucum em ambos os anos.....126

Tabela 4.6. Valores máximo e mínimo na reamostragem por pixel para os recortes usados nas análises para Serra do Amolar em ambos os anos.....129

Tabela 4.7. Dados em área da reamostragem para as duas áreas de estudo e recortes usados na análise. Valores numéricos de área estão em hectares (ha).....132

Tabela 5.1. Informações dos dados utilizados para as análises dessa pesquisa.....147

Tabela 5.2. Resultado das análises da Correlação de Pearson entre NDVI e as variáveis climáticas.....160

Tabela 5.3. Valores para o teste de normalidade de Shapiro-Wilk na relação variáveis climáticas com NDVI. Legenda: w – valor da normalidade dos resíduos; p-valor – valor de significância a 95% entre a relação analisada.....161

Tabela 5.4. Valores de Regressão Linear Simples entre as variáveis estudadas e os anos de análise.....163

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1. Informações da coleta de dados bibliográficos para a revisão realizada neste estudo.....35
Quadro 2.1. Informações usadas como critério no refinamento da busca por artigos.....60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

WOS - *Web of Science*

JCR - *Journal Citation Reports*

ISI - *Institute for Scientific Information*

SJR - *Scimago Journal Ranking*

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

LAI - *Leaf Area Index*

NPP - *Net Primary Productivity*

RGB - *Red, Green, Blue*

MIR - *Mid-infrared*

NIR - *Nir-infrared*

TM - *Thematic Mapper*

OLI - *Operational Land Imager*

CVRD - Vale do Rio Doce

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

AGB – *Above Ground Biomass*

MSS - *MultiSpectral Scanner*

GPS - *Global Positioning System*

TCA - *Índice de área central total*

SHAPE_MN - *Índice de forma médio*

CONNET - *Índice de conexão*

ENN_MN - *Índice de distância euclidiana do vizinho mais próximo*

NPP - *Net Primary Productivity*

SNUC - *Sistema Nacional de Unidades de Conservação*

BAP - *Bacia hidrográfica do Alto Paraguai*

RPPN - *Reserva Particular do Patrimônio Natural*

GEE – Google Earth Engine

RESUMO

Ecossistemas montanhosos tropicais são considerados vulneráveis às mudanças climáticas devido à grande porcentagem de flora endêmica com distribuições limitadas que, às vezes, são restritas a uma única cordilheira. Espécies vegetais restritas em determinadas faixas de distribuição altitudinal devem ter tolerâncias de habitat estreitas àquelas faixas no perfil de elevação. Apesar da importância dos ecossistemas montanhosos em todo o mundo, poucos estudos examinaram os mecanismos envolvidos nas mudanças de uso/cobertura da terra nas vegetações montanhosas na América do Sul, e até o presente momento nenhum estudo foi desenvolvido nos Campos de Altitude presentes no Pantanal Sul-mato-grossense. O objetivo dessa pesquisa foi realizar o monitoramento por via de sensoriamento remoto sobre as dinâmicas espaciais da vegetação montanhosa/montanhosa Campos de Altitude na Serra do Amolar e Morraria do Urucum inseridos no Pantanal Sul-mato-grossense. Primeiramente foi realizado um levantamento histórico/bibliométrico para apresentar dados históricos das áreas de estudo e também ver estudos que já haviam sido realizados dentro da mesma temática dessa pesquisa. No levantamento foram utilizados o Google Scholar, SciElo, Science Direct, Mendeley e Scopus para busca de material, utilizando palavras-chave. Após esse levantamento, foi realizado uma técnica de geoprocessamento para quantificar a variação espaço-temporal da vegetação presente nessas duas áreas de análise entre os anos de 1985 e 2020 e depois outra análise a parte considerando a janela de tempo entre 1973 e 2022. Essa técnica foi através do uso de imagens Landsat-8, 5 e MSS (1-3). Aplicou-se o NDVI para mensurar as áreas de vegetação Campos de Altitude separando-as das áreas com floresta para determinar se houve diferença na espacialização dessas vegetações ao longo desses anos. Por fim, foi realizado uma análise climatológica onde foram analisados dados de temperatura, precipitação, evapotranspiração e NDVI ao longo dos anos de 1982 a 2022 para dados climáticos e de 1985 a 2022 para o NDVI já que se usou Landsat-5 e Landsat-8, buscando entender as relações de fatores climáticos com a alteração espacial dos Campos de Altitude. Os resultados da análise bibliométrica indicou que houve muitos poucos trabalhos relacionados a essa pesquisa, e não foram encontrados nenhum trabalho desenvolvido no Brasil até o momento da análise (2020). As análises multitemporal de NDVI para monitorar a espacialização dos Campos de Altitude indicaram que houve mudanças significativas na distribuição espacial dos Campos de Altitude, onde por sua vez ocorreu aumento da vegetação floresta e diminuição dos Campos de Altitude em todas as janelas de anos estudadas (1985-2020 e 1973-2022). As análises climatológicas demonstraram que houve uma tendência de aumento nas variáveis estudadas, e que houve relação entre as variáveis climáticas e o NDVI. O estudo revelou o mérito dessa análise com uma abordagem técnica para avaliar a contribuição da mudança climática versus alteração na dinâmica da vegetação em ecossistemas montanhosos e demonstrou ainda a alteração espacial dos Campos de Altitude por fatores ambientais, ainda com uma possível tendência de um novo processo de alteração do ecossistema montanhoso no Pantanal Sul-mato-grossense por fator de regime hídrico nos últimos 15 anos, podendo levar a uma desertificação.

ABSTRACT

Tropical mountain ecosystems are considered vulnerable to climate change due to the large percentage of endemic flora with limited distributions that are sometimes restricted to a single mountain range. Plant species restricted to certain altitudinal distribution ranges must have narrow habitat tolerances to those ranges in the elevation profile. Despite the importance of mountain ecosystems around the world, few studies have examined the mechanisms involved in land use/land cover changes in mountainous vegetation in South America, and to date no study has been carried out in the Campos de Altitude present in the Pantanal sul-mato-grossense. The objective of this research was to carry out monitoring via remote sensing on the spatial dynamics of the mountainous vegetation Campos de Altitude in Serra do Amolar and Morraria do Urucum inserted in the Pantanal sul-mato-grossense. First, a historical/bibliometric survey was carried out to present historical data from the areas of study and also to see studies that had already been carried out within the same theme of this research. In the survey, Google Scholar, SciElo, Science Direct, Mendeley and Scopus were used to search for material, using keywords. After this survey, a geoprocessing technique was performed to quantify the space-time variation of the vegetation present in these two areas of analysis between the years 1985 and 2020 and then another separate analysis considering the time window between 1973 and 2022. This technique was through the use of Landsat-8, 5 and MSS (1-3) images. The NDVI was applied to measure the Campos de Altitude vegetation areas, separating them from the forested areas to determine whether there was a difference in the spatial distribution of these vegetations over these years. Finally, a climatological analysis was carried out where data on temperature, precipitation, evapotranspiration and NDVI were analyzed over the years 1982 to 2022 for climate data and from 1985 to 2022 for the NDVI since Landsat-5 and Landsat-8 were used, seeking to understand the relationships between climatic factors and the spatial alteration of Campos de Altitude. The results of the bibliometric analysis indicated that there were very few works related to this research, and no work developed in Brazil was found until the time of analysis (2020). The multitemporal NDVI analyzes to monitor the spatialization of the Campos de Altitude indicated that there were significant changes in the spatial distribution of the Campos de Altitude, where in turn there was an increase in forest vegetation and a decrease in the Campos de Altitude in all the studied year windows (1985 -2020 and 1973-2022). The climatological analyzes showed that there was an increasing trend in the studied variables, and that there was a relationship between the climatic variables and the NDVI. The study revealed the merit of this analysis with a technical approach to evaluate the contribution of climate change versus alteration in vegetation dynamics in mountain ecosystems and also demonstrated the spatial alteration of Campos de Altitude by environmental factors, even with a possible trend of a new process alteration of the mountainous ecosystem in the Pantanal Sul-mato-grossense by water regime factor in the last 15 years, which could lead to desertification.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 21
OBJETIVO GERAL.....26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 26
ÁREA DE ESTUDO 27
REFERÊNCIAS 28

PRIMEIRO CAPÍTULO: VEGETAÇÃO NATURAL DE AMBIENTES MONTANHOSOS: MORRARIA DO URUCUM E SERRA DO AMOLAR, UMA REVISÃO.....30
INTRODUÇÃO.....31
METODOLOGIA..... 33
RESULTADOS E DICUSSÃO..... 35
Serra do Amolar 35
Morraria do Urucum.....40
Campos de Altitude 45
CONSIDERAÇÕES FINAIS 49
REFERÊNCIAS 50

SEGUNDO CAPÍTULO: GEOTECNOLOGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM VEGETAÇÃO DE ALTITUDE.....56
INTRODUÇÃO.....57
METODOLOGIA.....58
Estratégia de pesquisa e extração de dados.....58
Análise e visualização de dados.....59
Análise quantitativa 60
Análise qualitativa 60
RESULTADOS E DISCUSSÃO 61
Análise quantitativa: produção científica, e anos de publicação 61
Os países e publicações mais citadas 62
Periódicos mais ativos, áreas do conhecimento e palavras-chave 64
Análise qualitativa: autores mais ativos.....70
CONSIDERAÇÕES FINAIS 74
REFERÊNCIAS 75

TERCEIRO CAPÍTULO: PERDA DE HABITATS NATURAIS: CAMPOS DE ALTITUDE, PANTANAL.....80

INTRODUÇÃO 81
METODOLOGIA 83
Área de estudo 83
Imagens Landsat 8, Landsat 5 e período de análise 85
Classificação dos tipos de vegetação 85
Delimitação das áreas Morraria do Urucum e Serra do Amolar 90
Composição falsa-cor multitemporal 91
RESULTADOS E DISCUSSÃO 92
CONSIDERAÇÕES FINAIS 99
REFERÊNCIAS 100

QUARTO CAPÍTULO: APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE DAS MUDANÇAS DA VEGETAÇÃO CAMPOS DE ALTITUDE EM REGIÃO MONTANHOSA DO PANTANAL USANDO DADOS MULTITEMPORAIS LANDSAT 105
INTRODUÇÃO 106
METODOLOGIA 107
Área de estudo 107
Dados de satélite e processamento de imagens 108
Seleção das áreas analisadas 111
Índice NDVI 114
Seleção dos alvos (Campos de Altitude) 115
Método proposto 116
Índice de ecologia da paisagem 117
RESULTADOS 118
Variação de tendências espaciais de NDVI 118
Reamostragem por valor de pixel de NDVI 124
Resposta multitemporal das áreas analisadas 127
Métrica da paisagem 130
DISCUSSÃO 132
CONSIDERAÇÕES FINAIS 135
REFERÊNCIAS 135

QUINTO CAPÍTULO: RESPOSTA DA VEGETAÇÃO CAMPOS DE ALTITUDE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA FAIXA ALTUDINAL ACIMA DOS 400 METROS DA SERRA DO AMOLAR E MORRARIA DO URUCUM, PANTANAL 139
INTRODUÇÃO 140
METODOLOGIA 142

Área de estudo.....142
Faixa altudinal para análise meteorológica.....143
Campos de Altitude.....144
Aquisição de dados meteorológicos e NDVI.....145
Método de Análise de Álgebra de dados Raster (NDVI) 146
Análise estatística (Método de Correlação) 149
Análise e tratamento dos dados.....150
RESULTADOS 150
Características de distribuição de NDVI e fatores climáticos 150
Características de distribuição espacial do NDVI 154
Variação espacial do NDVI 156
Análises estatísticas 157
DISCUSSÃO.....162
CONSIDERAÇÕES FINAIS 165
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 166

CONCLUSÃO GERAL 171

INTRODUÇÃO GERAL

A fenologia da vegetação refere-se à recorrência anual do seu crescimento durante o ciclo de vida da vegetação, e esse padrão é influenciado por mudanças nas condições climáticas sazonais e por outros fatores ambientais que influenciam na alteração do mosaico vegetacional ao longo das escarpas de morros e topos de serras e montanhas (ZHU et al., 2017; REN et al., 2021). Como uma representação macroscópica e integrada da renovação sazonal da vegetação, a fenologia da vegetação pode caracterizar os efeitos combinados das mudanças ambientais nos processos da vida vegetal ao longo do tempo, e esse processo é um parâmetro utilizado para monitorar os mecanismos de respostas dos processos biológicos às mudanças climáticas globais (CHEN & YANG, 2020). A fenologia da vegetação afeta as mudanças sazonais no ciclo biogeoquímico e propriedades biofísicas através de fatores como a refletância, rugosidade da superfície, condutividade do dossel, umidade, energia, CO_2 e matéria orgânica volátil biogênica (LI et al., 2021, MA, FENG & LIANG, 2022).

O aquecimento global tem exercido reflexos de aquecimento principalmente em regiões mais frias como áreas montanhosas, e o aumento da intensidade de calor e chuvas mais recorrentes, afetam a dinâmica da vegetação, devido a maior frequência e duração das ondas de calor nas últimas décadas (BALDWIN et al., 2019; LI et al., 2019). Alguns estudos demonstram que o planalto tibetano, área de grande altitude com estrutura vegetal diversa, principalmente contando com presença de gramíneas típicas de áreas montanhosas, está aquecendo duas vezes mais rápido que a taxa média global de aquecimento (YOU et al., 2010). A vegetação montanhosa, gramíneas de áreas montanhosas ou de regiões de alto perfil altimétrico, é muito sensível a eventos de alta temperatura devido à limitação do calor do ambiente (DONG et al., 2022).

A onda de calor também afeta significativamente a vegetação de escalas regionais a globais, o que foi testemunhado pelos estudos baseados no índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) derivado de satélite (ZHOU et al., 2019; ZAITCHIK et al., 2006). Estudos recentes começaram a examinar os impactos da temperatura extrema na vegetação (por exemplo, produtividade, fenologia) no planalto tibetano (ZHANG & CAO, 2017; HE, RICHARDS & ZHAO, 2015). Como um tipo específico de evento extremo de alta temperatura, a onda de calor foi relatada recentemente pela literatura no planalto tibetano (YANG et al., 2021). No entanto, muito poucos estudos foram

realizados sobre os efeitos ambientais como a temperatura e precipitação em áreas tropicais no Pantanal brasileiro. Portanto, é pouco compreendida a resposta da vegetação montanhosa nesse caso os Campos de Altitude presentes em áreas montanhosas do Pantanal, às ondas de calor e precipitação. É necessário avaliar os efeitos climáticos na vegetação Campos de Altitude de forma mais ampla e fornecer informações valiosas para enfrentar as mudanças climáticas nessa região e entender seus efeitos a longo prazo.

A tecnologia de sensoriamento remoto fornece conjuntos de dados de observação de séries temporais para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala espacial local e regional. O sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado em estudos sobre cobertura vegetal, produtividade primária líquida e dinâmica de crescimento (LI & SHI, 2000; XIE et al., 2002; FANG et al., 2003; CHU et al., 2021; RAO et al., 2021). Muitos produtos de sensoriamento remoto têm sido aplicados para explorar as mudanças na vegetação e o impacto das mudanças climáticas (LI et al., 2000; PESSI et al., 2022).

As vegetações de montanhas são ecossistemas globalmente importantes. Elas são consideradas patrimônios com "valores excepcionais" para as comunidades ecológicas, adicionando mais uma "camada e suporte às medidas de proteção existentes" (HAMILTON & THORSELL, 2002). Além disso, as vegetações montanhosas ou vegetações montanhosas são locais de alta diversidade e ecossistemas ricos em espécies que coevoluíram em condições típicas desses habitats (DEBEKO et al., 2018), desempenham um papel importante no armazenamento de carbono (CONANT, 2010), que é um fator crucial na mitigação das mudanças climáticas (LAL, 2004). As vegetações montanhosas também fornecem recursos essenciais para a vida animal e à humanidade, bem como mantêm a estabilidade dos sistemas ecológicos (HALL et al., 2000; DOUSSOULIN-GUZMÁN et al., 2022). As pastagens são especialmente importantes para o abastecimento de alimentos, pois os ruminantes produzem 37% mais alimentos, leite e carne do que os suínos e aves (O'MARA, 2012; DOUSSOULIN-GUZMÁN et al., 2022).

Apesar da importância dos ecossistemas montanhosos em todo o mundo, poucos estudos examinaram os mecanismos envolvidos nas mudanças de uso/cobertura da terra nas vegetações montanhosas na América do Sul, e até o presente momento nenhum estudo foi desenvolvido nos Campos de Altitude presentes no Pantanal Sul-mato-grossense. A fim de avaliar os impactos potenciais das mudanças climáticas nas tendências dos ecossistemas de vegetação montanhosa, esta tese foi desenvolvida a fim de buscar

apresentar dados consistentes acerca da dinâmica das alterações espaciais da distribuição dos Campos de Altitude e quais fatores ambientais estão relacionados a estes eventos.

REFERÊNCIAS

BALDWIN, J. W.; DESSY, J. B.; VECCHI, G. A.; OPPENHEIMER, M. Temporally Compound Heat Wave Events and Global Warming: Na Emerging Hazard. **Earth's Future**, v. 7, p. 411–427, 2019.

CHEN, X. N.; YANG, Y. P. Observed earlier start of the growing season from middle to high latitudes across the northern hemisphere snow**. Environ. Res. Lett**., v. 15, p. 034042, 2020.

CHU, H. J.; ALI, M. Z. & BURBEY, T. J. Spatio-temporal data fusion for fi-ne-resolution subsidence estimation. **Environmental Modelling & Soft-ware**, v. 137, n. 2, p. 104975, 2021.

CONANT, R. T. **Challenges and Opportunities for Carbon Sequestration in Grassland Systems; A Technical Report on Grassland Management and Climate Change Mitigation.** Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2010. 57p.

DEBEKO, D.; ANGASSA, A.; ABEBE, A. et al. Human-climate induced drivers of mountain grassland over the last 40 years in Sidama, Ethiopia: perceptions versus empirical evidence. **Ecol Process**, v. 7, n. 34, 2018.

DONG, Y.; WU, N.; LI, F. et al. The Holocene temperature conundrum answered by mollusk records from East Asia. **Nat Commun**, v. 13, n. 5153, 2022.

DOUSSOULIN-GUZMÁN, M.-A.; PÉREZ-PORRAS, F.-J.; TRIVIÑO-TARRADAS, P.; RÍOS-MESA, A.-F.; GARCÍA-FERRER PORRAS, A.; MESAS-CARRASCOSA, F.-J. Grassland Phenology Response to Climate Conditions in Biobio, Chile from 2001 to 2020. **Remote Sens**., v. 14, p. 475, 2022.

FANG, J. Y.; PIAO, S. L.; HE. J. S. et al. Vegetation activity in China has been increasing in the last 20 years. **Science in China (Earth Sciences)**, v. 33, n. 6, p. 554–565, 578–579, 2003.

HALL, D. O.; Scurlock, J.M.O.; Ojima, D.S.; Parton, W.J. Grasslands and the Global Carbon Cycle: Modeling the Effects of Climate Change. **In**: The Carbon Cycle; Wigley, T.M.L., Schimel, D.S., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, pp. 102–114, 2000.

HE, S.; RICHARDS, K.; ZHAO, Z. Climate extremes in the Kobresia meadow area of the Qinghai-Tibetan Plateau, 1961–2008. **Environ. Earth Sci**., v. 75, p. 60, 2015.

HAMILTON, L. S. & THORSELL, J. **A global overview of mountain protected areas on the world heritage list**: a contribution to the global theme study of world heritage

natural sites. Working paper 6 world heritage, IUCN Larry Hamilton, Vice Chair-Mountains, World Commission on Protected Areas. 2002. 32p.

LI, Z.; GUO, X.; YANG, Y.; HONG, Y.; WANG, Z.; YOU, L. Heatwave Trends and the Population Exposure Over China in the 21st Century as Well as Under 1.5 C and 2.0 C Global Warmer Future Scenarios. **Sustainability**, v. 11, p. 3318, 2019.

LI, X. X.; FU, Y. S. H.; CHEN, S. Z.; XIAO, J. F.; YIN, G. D.; LI, X.; ZHANG, X.; GENG, X. J.; WU, Z. F.; ZHOU, X. C.; et al. Increasing importance of precipitation in spring phenology with decreasing latitudes in subtropical forest area in China. **Agric. For. Meteorol**., p. 304–305, 108427, 2021.

LI, X. B. & SHI, P. J. Sensitivity analysis of variation in NDVI, tempera-ture and precipitation in typical vegetation types across China. **Acta Phytoecologica Sinica**, n. 3, p.379–382, 2000.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **Science**, v. 304, p. 1623–1627, 2004.

MA, Y.; HUANG, X.; FENG, Q.; LIANG, T. Alpine Grassland Reviving Response to Seasonal Snow Cover on the Tibetan Plateau. **Remote Sens**., v. 14, p. 2499, 2022.

O'MARA, F. P. The role of grasslands in food security and climate change. **Ann. Bot**., v. 110, p. 1263–1270, 2012.

PESSI, D. D. et al. Loss of Natural Habitats: High-Altitude Vegetation, Pantanal. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, e2911326242, 2022.

REN, S. L. & PEICHL, M. Enhanced spatiotemporal heterogeneity and the climatic and biotic controls of autumn phenology in Northern grasslands. **Sci. Total Environ**., v. 788, 147806, 2021.

RAO, P. Z.; WANG, Y. C. & WANG, F. Analysis on the NDVI change and influence factors of vegetation cover in the Three-river Headwater re-gion. **Acta Agrestia Sinica**, v. 29, n. 3, p. 572–582, 2021.

YOU, Q.; KANG, S.; PEPIN, N.; FLÜGEL, W. A.; SANCHEZ-LORENZO, A.; YAN, Y.; ZHANG, Y. Climate warming and associated changes in atmospheric circulation in the eastern and central Tibetan Plateau from a homogenized dataset. **Glob. Planet Chang**., v. 72, p. 11–24, 2010.

YANG, L.; WANG, H.; LU, T.; LIU, L.; FU,W.;WEI, D. Characteristics of Air Temperature Variation in Lhasa City over the Past 49 Years. **Earth Environ**. v. 49, p. 492–503, 2021.

XIE, L.; WEN, G. & FU, Z. B. The response of the vegetation seasonal vari-ability and its spatial pattern to climate variation in China multi-year average. **Acta Meteorological Sinica**, v. 60, n. 2, p. 181–187, 2002.

ZAITCHIK, B. F.; MACALADY, A. K.; BONNEAU, L. R.; SMITH, R. B. Europe's

2003 heat wave: A satellite view of impacts and land– atmosphere feedbacks. **Int. J. Climatol**., v. 26, p. 743–769, 2006.

ZHOU, Y.; PEI, F.; XIA, Y.; WU, C.; ZHONG, R.; WANG, K.; WANG, H.; CAO, Y. Assessing the Impacts of Extreme Climate Events on Vegetation Activity in the North South Transect of Eastern China (NSTEC). **Water**, v. 11, p. 2291, 2019.

ZHANG, F. & CAO, G. Resilience of Energy and CO2 Exchange to a Summer Heatwave in an Alpine Humid Grassland on the Qinghai-Tibetan Plateau. **Pol. J. Environ. Stud**., v. 26, p. 385–394, 2017.

ZHU, J. X.; HU, H. F.; TAO, S. L.; CHI, X. L.; LI, P.; JIANG, L.; JI, C. J.; ZHU, J. L.; TANG, Z. Y.; PAN, Y. D.; et al. Carbon stocks and changes of dead organic matter in China's forests. **Nat. Commun**., v. 8, p. 151, 2017.

OBJETIVO GERAL

- Realizar o monitoramento por via de sensoriamento remoto sobre as dinâmicas espaciais da vegetação montanhosa/montanhosa Campos de Altitude na Serra do Amolar e Morraria do Urucum inseridos no Pantanal Sul-mato-grossense.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar uma revisão histórico-bibliográfica sobre as áreas de estudo Serra do Amolar e Morraria do Urucum bem como da vegetação Campos de Altitude presente nas áreas estudas;
- Apresentar uma abordagem bibliométrica para analisar padrões em pesquisas sobre os efeitos de mudanças do clima sobre a variação espaço-temporal da vegetação Campos de Altitude com o uso de técnicas de sensoriamento remoto e avaliar o estado atual das pesquisas sobre este tema;
- Realizar uma análise multitemporal dos padrões de distribuição da vegetação Campos de Altitude presente na Serra do Amolar e na Morraria do Urucum, no Mato Grosso do Sul, entre os anos de 1985 e 2020 e entre 1973 e 2022.
- Examinar os efeitos ambientais impulsionadores sobre a distribuição espacial da vegetação Campos de Altitude ao longo de uma série histórica de 1985 a 2022.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende duas áreas amostrais, sendo elas a Serra do Amolar e o Morraria do Urucum, ambas inseridas no Pantanal Sul-mato-grossense, no município de Corumbá-MS (Figura 1).

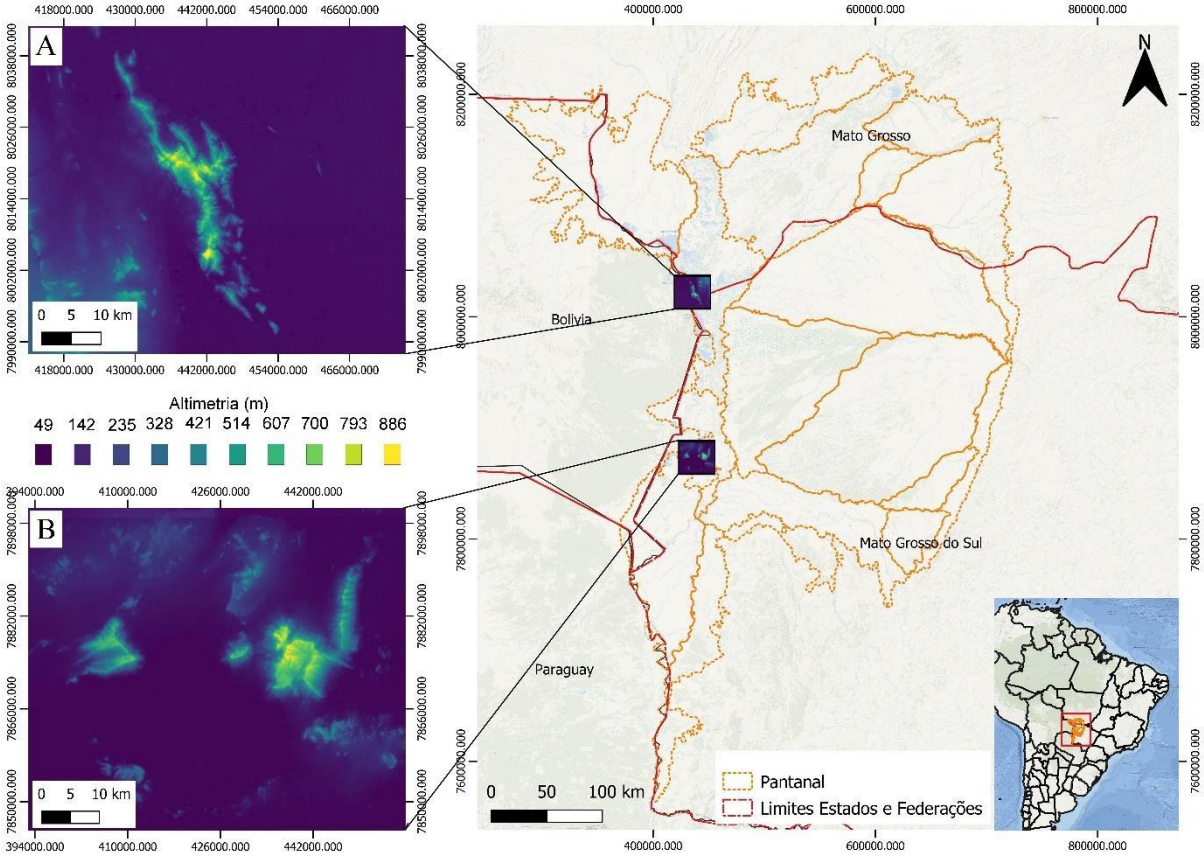

Figura 1. Localização das duas áreas de estudos, em a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal. Fonte: Dados vetoriais do Pantanal: Mioto (2016). Dados vetoriais de Estados e municípios: IBGE (2021). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S. Dados de imagens de elevação: TOPODATA (2021).

A Serra do Amolar está inserida na sub-região do Pantanal denominada Paraguai (MIOTO et al., 2012; SILVA & ABDON, 1998), por conta do rio Paraguai que faz limite com a Serra, tendo características peculiares da região por ser zona fronteiriça com o chaco boliviano e pela presença de grandes baías permanentemente alagadas (LARCHER et al., 2017; JUNK et al., 2006), constituindo uma composição entre a planície pantaneira e a Serra do Amolar, representando um dos maiores patrimônios de diversidade biológica

do Brasil (IHP, 2012). Está localizada a 180 km do Município de Corumbá e tem uma extensão de aproximadamente 40 km ao longo da fronteira entre Brasil e Bolívia (LARCHER et al., 2017), com formações geológicas Pré-Cambrianas, que exercem controle geológico sobre o escoamento das águas do Pantanal (SOUZA & SOUZA, 2010). A Serra do Amolar tem o ponto mais alto (Pico do Amolar) em torno dos 1.000 metros de altitude, e nesta área a vegetação é formada principalmente por ecossistemas de planície até Campos de Altitude que, juntas, formam um corredor biológico e geográfico potencialmente importante (ECOTRÓPICA, 2003; LARCHER et al., 2017).

A Morraria do Urucum está localizado próximo à área urbana de Corumbá, formado por morros residuais situados à borda sudoeste do Pantanal, possuindo os pontos mais altos do estado de Mato Grosso do Sul, com altitudes acima dos 1.000 metros (URBANETZ et al., 2012). A morraria é circundada pela planície alagável do Pantanal, região de contato de distintas províncias fitogeográficas, como Amazônia, Cerrado, Chaco e Florestas Meridionais do Sul, além de ser de especial interesse para a conservação, com espécies endêmicas como *Aspilia grazielae* nos campos de altitude e *Gomphrena centrota* E. Holzh. nas bancadas lateríticas (POTT et al., 2000, 2011; URBANETZ et al., 2012).

Vale destacar que na Morraria do Urucum existe atividade mineradora, pois apresenta grande reserva de minério de ferro e manganês. Essas atividades vêm modificando a paisagem da morraria, colocando em risco a comunidade vegetal e a estabilidade do terreno.

REFERÊNCIAS

ECOTRÓPICA – FUNDAÇÃO DE APOIO À VIDA NOS TRÓPICOS. **Plano de Manejo das RPPN'S Acurizal, Penha e Dorochê**. Cuiabá, Mato Grosso. 2003. 125p.

JUNK, W. J. et al. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquat. Sci.**, n. 68, p. 278–309, 2006.

LARCHER, L.; RABELO, A.; VIANA, D. F. P**. REDE DE PROTEÇÃO E CONSERVAÇÃO DA SERRA DO AMOLAR: UM MODELO DE CONSERVAÇÃO INTEGRADO**. In: João Carlos Ferreira de Melo Júnior; Therezinha Maria Novais de Oliveira. (Org.). Ciências ambientais: ensaios e

perspectivas. 1ed. Joinville: Univille, v. 1, p. 225-240, 2017.

IHP – INSTITUTO HOMEM PANTANEIRO. **Descobrindo o Paraíso: aspectos biológicos da reserva particular do patrimônio natural engenheiro Eliezer Batista – RPPN EEB/ Pantanal Sul**. Org. RABELO, A. C. P.; MOREIRA, V. F.; BERTASSONI, A.; AOKI, C. Rio de Janeiro, RJ. 2012. 111 p.

MIOTO, C. L.; ALBREZ, E. A; PARANHOS FILHO, A. C. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. **rev Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 165-180, 2012.

POTT, A. et al. Plant diversity of the Pantanal wetland. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, p. 265-273, 2011.

POTT, A. et al. Vegetação e uso da terra. p.111-131. **In**: SILVA, J.S.V. (ed.). Zoneamento ambiental da borda oeste do Pantanal: Morraria do Urucum e adjacências. Embrapa Informação e Tecnologia, Brasília, DF. 2000. 365p.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e Suas Sub-regiões. **Pesq. agropec. bras.**, v. 33, p. 1703-1711, 1998.

SOUZA, C. A.; SOUZA, J. B. Pantanal Mato-grossense: origem, evolução e as características atuais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, n. 11, p. 34-54, 2010.

URBANETZ, C. et al. Composição e Distribuição de Espécies Arbóreas em Gradiente Altitudinal, Morraria do Urucum, Brasil. **Oecol. Aust.**, v. 16, n. 4, p. 859-877, 2012.

PRIMEIRO CAPÍTULO: VEGETAÇÃO NATURAL DE AMBIENTES MONTANHOSOS: MORRARIA DO URUCUM E SERRA DO AMOLAR, UMA REVISÃO

Resumo

Ambientes montanhosos são considerados um habitat único com características ecossistêmicas distintas. Portanto, é necessário que existam mais estudos visando entender e caracterizar esses habitats em buscar de sua preservação. Por conta disso, este capítulo teve como objetivo caracterizar duas áreas montanhosas, a Morraria do Urucum e a Serra do Amolar, em busca de abordar discussão sobre os Campos de Altitude, vegetação presente em ambas as áreas abordadas. Foi elaborado uma abordagem descritiva, discorrendo sobre o contexto histórico e descritivo de ambas as áreas de estudo, abordando em especial a presença dos Campos de Altitude. Ambas as áreas de estudo possuem os Campos de Altitude, estando presentes acima dos 700 m de altitude. Além disso, diferente da Serra do Amolar, a Morraria do Urucum não possui Unidades de Conservação em seu território, levantando a preocupação de se fazer necessário a conservação dos Campos de Altitude que estão presentes na área. Ações de conservação são urgentes, se com elas for possível frear a perda de áreas montanhosas e evitar processos de extinção, porém a conservação da biodiversidade dos Campos de Altitude precisa refletir propriedades ecológicas e processos sucessionais e, portanto, permitir práticas de manejo adequadas.

Palavras-chave: Unidades de Conservação; Campos de Altitude; Pantanal, Morros; Ecossistemas Montanhosos.

FIRST CHAPTER: NATURAL VEGETATION OF MOUNTAINOUS ENVIRONMENTS: MORRARIA DO URUCUM AND SERRA DO AMOLAR, A REVIEW

Abstract

Mountainous environments are considered a unique habitat with distinct ecosystem characteristics. Therefore, it is necessary that there are more studies to understand and characterize these habitats in search of their preservation. Because of this, this chapter

aimed to characterize two mountainous areas, Morraria do Urucum and Serra do Amolar, in order to address a discussion about the Campos de Altitude (grassland), vegetation present in both areas addressed. A descriptive approach was developed, discussing the historical and descriptive context of both areas of study, addressing in particular the presence of the Campos de Altitude. Both study areas have the Campos de Altitude, being present above 700 m of altitude. In addition, unlike Serra do Amolar, Morraria do Urucum does not have Conservation Units in its territory, raising the concern that it is necessary to conserve the Campos de Altitude that are present in the area. Conservation actions are urgent, if with them it is possible to stop the loss of mountainous areas and avoid extinction processes, but the conservation of the biodiversity of the Campos de Altitude needs to reflect ecological properties and successional processes and, therefore, allow adequate management practices.
Keywords: Conservation Units; Grassland; Pantanal; Hills; Mountainous Ecosystems.

1.1 INTRODUÇÃO

Ecossistemas montanhosos tropicais são considerados vulneráveis às mudanças climáticas devido à grande porcentagem de flora endêmica com distribuições limitadas que, às vezes, são restritas a uma única cordilheira (KATTAN et al., 2004; RAMIREZ-VILLEGAS et al., 2014). Espécies vegetais restritas em determinadas faixas de distribuição altitudinal devem ter tolerâncias de habitat estreitas àquelas faixas no perfil de elevação.

Altas taxas de perda e renovação de espécies vegetais são esperadas com o aquecimento do clima nos ecossistemas montanhosos (RAMIREZ-VILLEGAS et al., 2014), principalmente nas zonas tropicais onde o clima sofre maiores mudanças, e com a expectativa de que 60% da flora pode ser perdida ou seriamente ameaçada até 2050 (LEON-GARCIA e LASSO, 2019).

No ano de 1992 aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, Brasil, na qual foi abordada uma série de questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável como um meio de reduzir o desgaste/degradação ambiental induzido pelo homem, caracterizado por um documento denominado de “Agenda 21” (ONU, 1992; BENISTON, 2003). Nesse documento, em especial o capítulo 13, é dedicado exclusivamente a regiões montanhosas e descreve temas sobre a importância da conservação desses ambientes. Acontece aí pela primeira

vez um reconhecimento oficial e explícito de que as montanhas e planaltos são um componente importante do meio ambiente global, afirmando haver uma preocupação expressa pela conservação desses habitats, ilustrando o cenário de declínio da qualidade ambiental geral de muitas montanhas (BENISTON, 2003; DIMITROVSKA et al., 2015). É importante citar um trecho do capítulo 13 da Agenda 21 onde é declarado que:

> As montanhas são fontes importantes de água, energia, minerais, produtos florestais e agrícolas e áreas de recreação. Eles são depósitos de diversidade biológica, lar de espécies ameaçadas de extinção e uma parte essencial do ecossistema global. A maioria das áreas montanhosas estão sofrendo degradação ambiental (ONU, 1992, Capítulo 13).

A gestão dos recursos naturais de ambientes montanhosos surge como um dos desafios mais significativos para a compreensão humana e capacidade organizacional no século atual. Montanhas e planaltos constituem uma pequena parcela da superfície terrestre, por volta de 20 por cento, entretanto é difícil de encontrar uma área que não esteja afetada ou sob influência de características ambientais montanhosas (BANDYOPADHYAY, 1989; BISWAS et al., 2012; DIMITROVSKA et al., 2015). Desde o século 20 observa-se que o impacto humano nos ambientes montanhosos aumentou consideravelmente, e essas intervenções têm um impacto direto causando perturbação a esses habitas naturais. O impacto negativo de tais intervenções é devido ao nível relativamente baixo de compreensão das particularidades ecossistêmicas do habitat montanhoso (BANDYOPADHYAY, 1989).

Ambientes montanhosos são fontes de água doce, energia hidroelétrica, enriquecimento aluvial de solos de várzea, ecoturismo, funcionando como reservatórios de biodiversidade única (BISWAS et al., 2012; VIVIROLI et al., 2007; LAMA e SATTAR, 2002). Grande parte dos remanescentes florestais mundiais é relegado para as montanhas (PRICE, 2003; BISWAS et al., 2012), os ambientes montanhosos tornam-se fonte de muitos valores relacionados à reserva florestal, incluindo madeira, produtos florestais não madeireiros e serviços ecossistêmicos (APPANAH e RATMAN, 1992; BISWAS et al., 2012).

Os habitats montanhosos se traduzem em uma ampla diversidade de tipos de ecossistemas, em especial tipos florestais específicos presentes em altitudes elevadas, incluindo florestas, savanas, pastagens, vegetação de afloramento rochoso e pântanos (SCARANO et al., 2016). A cobertura vegetal dos Campos de Altitude é predominantemente formada por arbustos, ervas e gramíneas em afloramentos rochosos

intercalados, solos rasos e pântanos ocasionais (RIBEIRO et al. 2007), e tem sido a vegetação com maior sensibilidade às alterações da cobertura do solo por pastagem, silvicultura (PILLAR et al., 2009) e mineração (BARROS, 2014).

Dentre fisionomias vegetais brasileiras presentes em regiões montanhosas, submetidas a perda de cobertura vegetal, pode-se citar os chamados Campos de Altitude, que estão presentes, no Brasil, nos biomas Mata Atlântica, Amazônia, Cerrado e Pantanal (SCARANO et al., 2016; URBANETZ et al., 2012; ZUCCO et al., 2011), em uma faixa altitudinal de 1.200 m a 3.000 m. Há também os Campos Rupestres em altitude, dentro do bioma Cerrado, em altitudes mais baixas variando de 1.000 a 2.000 m (SCARANO et al., 2016; FERNANDES et al. 2014; ZUCCO et al., 2011).

Uma das ações prioritárias do Programa Nacional de Pesquisas e Conservação em Ecossistemas de Montanhas (CONABIO, 2008) é promover estudos de longa duração para o monitoramento de ecossistemas montanhosos. Atualmente, dentro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), existe uma meta específica para montanhas, dentro do objetivo 15.4 onde diz que até 2030 deverá assegurar a conservação dos ecossistemas de montanha, incluindo a sua biodiversidade, para melhorar a sua capacidade de proporcionar benefícios que são essenciais para o desenvolvimento sustentável. A compilação desse trabalho vai ajudar não apenas as partes interessadas relevantes, como órgãos ambientais, a priorizar suas atividades de monitoramento ambiental, mas também atores da tomada de decisões no país para um desenvolvimento ambiental sustentável para regiões montanhosas.

Considerando a importância da conservação dos ambientes montanhosos, este trabalho teve como objetivo sintetizar o conhecimento existente e escrever uma revisão histórico-bibliográfica sobre a Morraria do Urucum e sobre a Serra do Amolar presente no Pantanal Sul-mato-grossense, além de elucidar os conhecimentos existentes sobre a vegetação Campos de Altitude (vegetação de altitude) presente em ambos os locais montanhosos.

1.2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi de caráter qualitativo descritivo, cuja abordagem consistiu em levantamento bibliográfico sobre informações das áreas de estudo, Serra do Amolar e Morraria do Urucum, bem como sobre a vegetação dos Campos de Altitude, presentes em ambas as áreas de estudo. Para tanto, foram utilizados o Google Scholar,

SciElo, Science Direct, Mendeley e Scopus para busca de material, utilizando as palavras-chave combinadas (em inglês) "Campos de Altitude" ou "Serra do Amolar", ou "Morraria do Urucum", seguidas da palavra ou "vegetação de altitude", ou "Pantanal", ou "ecossistemas montanhosos". Apenas artigos científicos, livros, capítulos de livros foram incluídos, excluindo documentos como resumos de reuniões e relatórios científicos (para evitar o uso de literatura cinza e/ou não revisada por pares), incluindo todas as informações publicadas até 2022. Cada documento foi revisado para descartar aqueles que não estão diretamente relacionados ao tema. Para este estudo foram utilizados os documentos que continham informações pertinentes ao tema. Os documentos encontrados nas plataformas utilizadas e mais informações estão descritos no Quadro 1.1.

Quadro 1.1. Informações da coleta de dados bibliográficos para a revisão realizada neste estudo.

Critério	**Definição**
Bases de dados	Google Scholar, SciElo, Science Direct, Mendeley e Scopus
Tipo de documentos	Artigos Científicos, Livros e Capítulos de Livros
(palavras-chave)	"Campos de Altitude" ou "Serra do Amolar", ou "Morraria do Urucum" ou "vegetação de altitude" ou "Pantanal" ou "ecossistemas montanhosos".
Período de publicação	até 2022
Idioma de publicação	Inglês
Quantidade de documentos filtrados	1006
Documentos revisados	120
Documentos usados	23

A classificação da vegetação encontrada e fotografada nas áreas dos Campos de Altitude foi realizada por meio do uso do manual técnico da vegetação brasileira do IBGE (IBGE, 2012), pelo qual foi feito a busca pelas espécies em áreas de Campos de Altitude e procurado os seus nomes científicos para catalogar as espécies fotografadas e usadas na

seção Campos de Altitude.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Serra do Amolar

A região oeste do Pantanal brasileiro é caracterizada pela ocorrência de unidades de paisagem que se repetem ao longo do rio Paraguai. Essas unidades são compostas por morros de relevo residual como a morraria do Urucum e do Amolar, sendo ladeados por grandes lagos, que regionalmente são conhecidos como baías, e pela planície de inundação

O complexo Pantanal está inserido nos territórios brasileiro, paraguaio e em menor parcela no território boliviano (MIOTO et al., 2012), caracterizado como sendo uma planície (DAMASCENO JÚNIOR, 2005), com uma área aproximada de 140.640 km² (MIOTO et al., 2012). O Pantanal conta com unidades compostas por morros de relevo residual como a morraria do Urucum e do Amolar, sendo ladeados por grandes lagos, que regionalmente são conhecidos como baías, e pela planície de inundação (DAMASCENO JÚNIOR, 2005).

No Brasil, está inserido em grande parte na região do Centro-Oeste brasileiro, abrangendo aproximadamente 132.768 km², na Bolívia com 7.515 km², e no Paraguai, com a menor área, 356 km². O Pantanal é parte integrante da Bacia hidrográfica do Alto Paraguai (BAP), a qual possui uma área em território brasileiro de 361.666 km², setorizada em Planalto (64%) e Planície pantaneira (36%) (SILVA & ABDON, 1998). A Bacia do Alto Paraguai tem seus limites demarcados por variados sistemas de elevações do planalto pantaneiro, como chapadas, serras e Morrarias (RABELO et al., 2012; DAMASCENO JÚNIOR, 2005; MAGALHÃES, 1992). Alguns exemplos são a Chapada dos Guimarães, as Serras de Maracajú, Morraria do Urucum, a Serra do Amolar e Bodoquena. A planície é composta por vários rios, como o Cuiabá, Piquiri, Taquari, Paraguai e Aquidauana, sendo todos eles pertencentes à BAP (RABELO et al., 2012). Por todas essas características o Pantanal é considerado uma das maiores áreas úmidas contínuas do planeta (PEARSON & BELETSKY, 2005).

Dentre todos os sistemas de elevação do planalto pantaneiro, existe uma das mais importantes áreas do Pantanal que é a Serra do Amolar. A Serra do Amolar apresenta inúmeras variações, em nível florístico, edáfico, climático, topográfico e em aspectos que vão desde a quantidade de corpos d’água (drenagem) às formações circundantes

(RABELO et al., 2012). Ela está situada em uma sub-região do Pantanal denominada Paraguai, por conta da presença do rio Paraguai, que percorre o oeste do Pantanal, mesma região onde está inserida a Serra do Amolar (SILVA & ABDON, 1998; JUNK et al., 2006), agregando as áreas dos municípios de Corumbá-MS e Ladário-MS. A área dessa sub-região compreende 8.147 km2, representando cerca de 6% do Pantanal brasileiro e fazendo fronteira com a Bolívia (RABELO et al., 2012).

A Serra do Amolar está localizada a cerca de 180 km do município de Corumbá, e prossegue nas cristas montanhosas orientadas no sentido sudeste e noroeste, se estendendo por mais 40 km ao longo da fronteira com a Bolívia, até atingir a divisa com o Estado de Mato Grosso (Figura 1.1A).

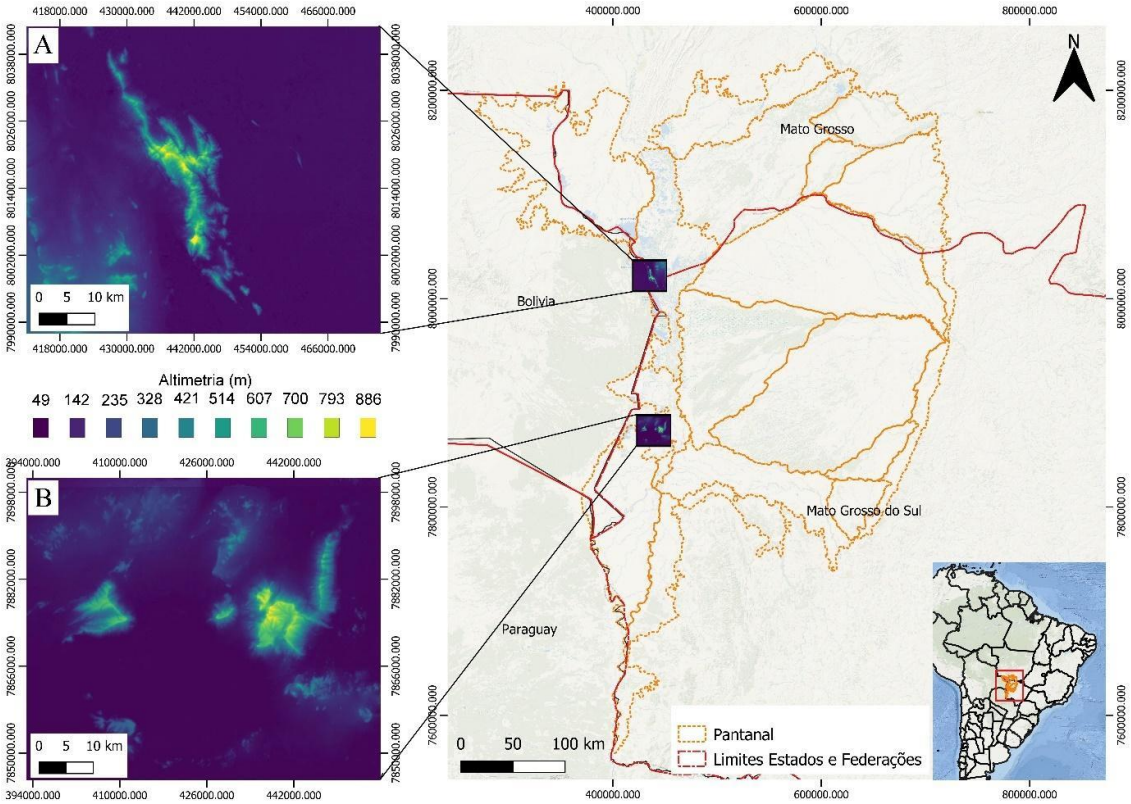

Figura 1.1. Localização: a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal. Fonte: Dados vetoriais do Pantanal: Mioto (2016). Dados vetoriais de Estados e municípios: IBGE (2021). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S. Dados de imagens de elevação: TOPODATA (2021).

As suas morrarias têm origem Pré-Cambriana, e funcionam como um controle geológico do escoamento fluvial do Pantanal e desempenham um papel importante na intrincada rede ecológica que integra rios, planícies e comunidades bióticas

(COLLISCHONN et al., 2005; ZUCCO et al., 2011). O ponto mais elevado da Serra do Amolar chama-se “Pico do Amolar”, com uma altitude aproximada de 900 m (Figura 1.2). A característica peculiar desta região é a presença desta formação montanhosa relativamente isolada associada com as influências do rio Paraguai, e com vegetação específica nos pontos mais altos, os Campos de Altitude (Figuras 1.3, 1.4 e 1.5).

Figura 1.2. Fotografia retirada pela câmera de monitoramento em tempo real do Instituto Homem Pantaneiro no pico mais alto da Serra do Amolar. Nessa imagem está um mosaico de ambientes que varia desde Campo Sujo de Cerrado até Campos Rupestres com presença de *Vellozia variabilis*. Crédito da imagem: Instituto Homem Pantaneiro – IHP.

Figura 1.3. Campos de Altitude presente na Serra do Amolar. Crédito da imagem: Instituto Homem Pantaneiro – IHP.

Figura 1.4. Campos de Altitude presente na Serra do Amolar. Crédito da imagem: Instituto Homem Pantaneiro – IHP.

Figura 1.5. Campos de Altitude presente na Serra do Amolar. Crédito da imagem: Instituto Homem Pantaneiro – IHP.

As características climáticas do local são coletadas por uma estação pluviométrica instalada pela Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) e atualmente mantida pela Agência Nacional de Águas (ANA), inserida na comunidade do Amolar, localizada a 9 km a montante da RPPN EEB – Engenheiro Eliezer Batista (6 km de distância linear). Ela foi instalada em 1968, porém apresenta série plurianual contínua

e sem falhas apenas para o período de 1995 a 2007 (ZUCCO et al., 2011). O clima da região da serra é típico de trópicos, com verões muito quentes e úmidos, chuvas em abundância entre os meses de outubro a março (médias mensais de 300 mm), e período de seca no inverno entre os meses de abril a setembro (médias mensais de 100 mm), temperaturas médias entre 25 ºC, podendo chegar a 40 ºC (ZUCCO et al., 2011).

Os aspectos sedimentares da Serra do Amolar, possui predominantemente os sedimentos quaternários, que ocupam aproximadamente 80% do total da área da Serra do Amolar. As terras altas e as morrarias são formadas por unidades sedimentares de conglomerados e arenitos, que preferencialmente situam-se na porção Centro-Norte formando morfologicamente cristas alongadas com direção Noroeste-Sudeste. Extensos depósitos detritais do tipo coluvionar bordejam as morrarias, preferencialmente na borda dos morros, onde se denota a configuração de escarpa rochosa no topo das sequências. No domínio das morrarias, ocorrem adicionalmente arenitos com intercalações de conglomerados (ZUCCO et al., 2011). A sedimentação do tipo Formação Urucum encontrada em grande parte na Serra do Amolar, data do período Pré-Cambriano e ocorreu em condições climáticas distintas das atuais e anterior a processos tectônicos como o soerguimento da cadeia andina (ZUCCO et al., 2011).

A Serra do Amolar possui uma ampla rede de proteção, com áreas de preservação privada e parque nacional. Uma RPPN é definida pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), na Lei n° 9.985 de 2000, como “uma área privada, gravada com perpetuidade, com o objetivo de conservar a diversidade biológica”. Nestas áreas somente são permitidas as atividades de pesquisa científica, visitação com objetivos turísticos, recreativos e educacionais (SNUC, 2004). Possui as RPPNs: Engenheiro Eliezer Batista (W 57º18'29", S 18º05'26"), com gestão do Instituto Homem Pantaneiro e cerca de 20.000 hectares; RPPN Rumo ao Oeste (W57º38'35", S 17º49'52"), com cerca de 900 hectares; a RPPN Penha (W 57º30'09", S17º54'34"), com cerca de 13.100 hectares; a RPPN Acurizal (W 57º33'13", S 17º49'52") de 13.200 hectares e a RPPN Estância Dorochê (W 17°27´08” S, 57°01´28”) com cerca de 26.500 hectares, todas de propriedade e gestão da Fundação Ecotrópica (ECOTROPICA, 2003; MOREIRA, 2011). Encontra-se ainda na zona de influência da Serra do Amolar o Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (W 57º24'11", S 17º50'47”), gerido pelo ICMBio com uma área de aproximada de 135.000 hectares. A área total abrangida pela RPCSA (Rede de Proteção e Conservação da Serra do Amolar) é de 272.952 hectares (MOREIRA, 2011) (Figura 1.6).

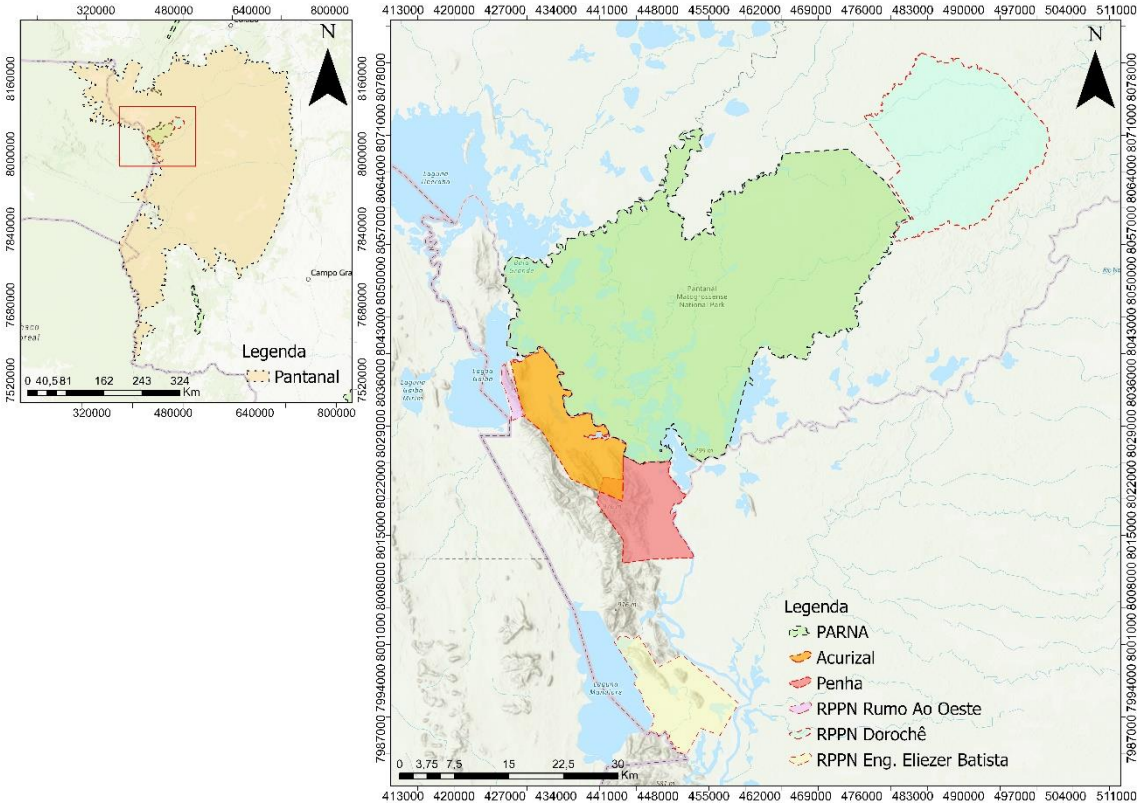

Figura 1.6. Localização das unidades de conservação presentes na rede da Serra do Amolar. Fonte: Dados vetoriais bioma: IBGE (2019). Dados vetoriais Unidades de Conservação ICMBio (2020).

1.3.2 Morraria do Urucum

A Morraria do Urucum está localizada às margens da cidade de Corumbá, Oeste do estado de Mato Grosso do Sul, nas coordenadas 19°13'18.92"S e 57°35'8.12"O (Figura 1.7B).

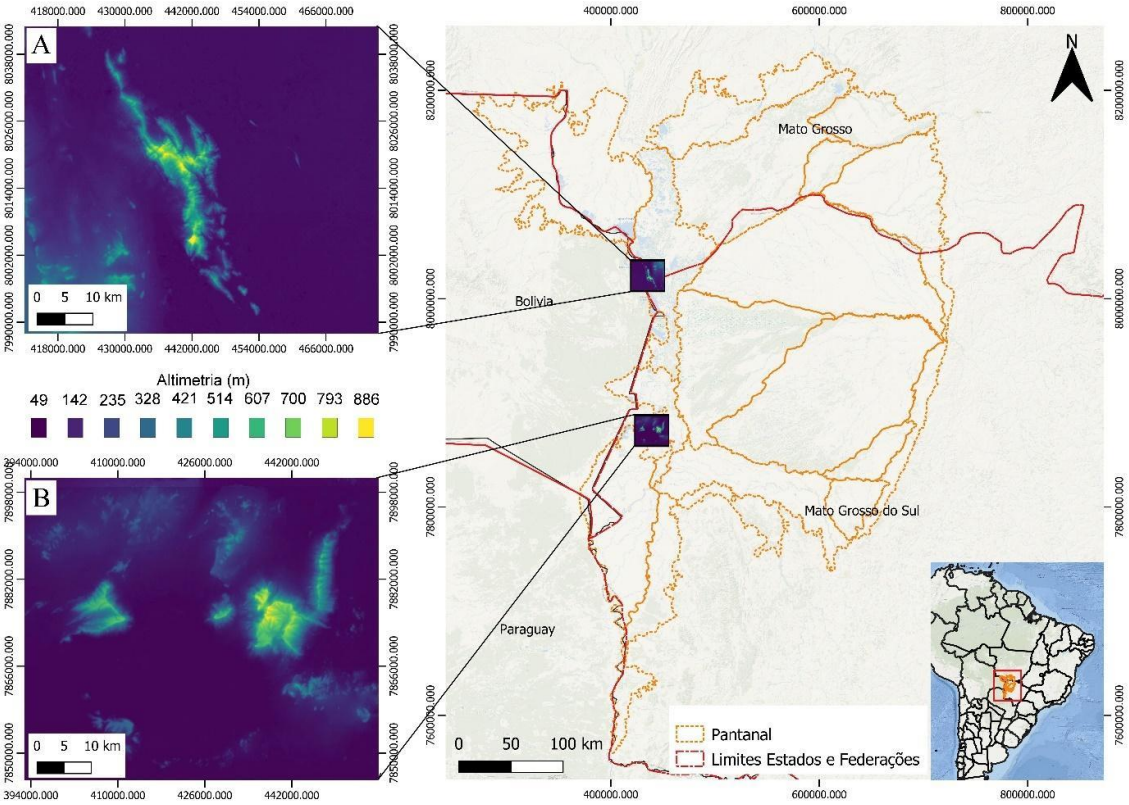

Figura 1.7. Localização: a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal. Fonte: Dados vetoriais do Pantanal: Mioto (2016). Dados vetoriais de Estados e municípios: IBGE. Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S. Dados de imagens de elevação: TOPODATA.

A altitude da Morraria do Urucum varia de 100 m a 1065 m (Morro Santa Cruz, ponto mais alto da Morraria do Urucum) (NEVES & DAMASCENO JÚNIOR, 2011). Uma parte da área da Morraria do Urucum vem sendo minerada há décadas, sendo realizado pela Mineração Urucum, empresa da Vale (FREITAS, 2010).

O clima da região é caracterizado por ser do tipo tropical de savana, tipo Aw classificado por Koeppen (1948). A temperatura média anual está na ordem dos 25,1 °C, com média no mês mais quente nos 30,6 ºC e o mês mais frio com 19,8 ºC. A temperatura máxima absoluta atinge por volta dos 40 °C de outubro a janeiro, e as mínimas absolutas próximas a 0 °C de maio a agosto. A precipitação anual é por volta dos 1070 mm com déficit hídrico anual de 318 mm (URBANETZ et al., 2012). O Morro São Domingos apresenta superfície estrutural tabular de bordas escarpadas na qual ocorrem solos predominantemente com litologias pré-cambrianas do grupo Jacadigo, Formação Urucum (FRANCO & PINHEIRO, 1982; URBANETZ et al., 2012). Alguns dos tipos de solo encontrados na Morraria do Urucum são do tipo Planossolo (encontrados a 100 m de

altitude), Argissolo eutrófico (200 m de altitude), Cambissolo distrófico (300 m e 500 m de altitude) e Neossolo eutrófico (acima de 700 m de altitude) (URBANETZ et al., 2012).

Os morros de calcários de Corumbá em conjunto com a Morraria do Urucum são formações de morros residuais situadas ao longo da zona fronteiriça com a Bolívia, a Oeste do rio Paraguai com altitude máxima de até 1.060 m registrado por estudos de Tomas et al. (2010), constituindo o ponto mais alto do Mato Grosso do Sul (MS), abrangendo total de área aproximada de 1.311 km (SILVA et al., 2000; TOMAS et al., 2010). Conforme destaca Tomas et al. (2010), a região da Morraria do Urucum apresenta característica ímpar no território brasileiro. em função das influências que recebe de ecossistemas vizinhos, dos endemismos que contêm, e da ocorrência de espécies de distribuição restrita a essa área, assim como observado também na Serra do Amolar.

A riqueza de espécies em alguns grupos taxonômicos é considerável quando comparada com outras no território sul-mato-grossense, apesar do amplo desconhecimento sobre fungos, líquens, invertebrados, espeleofauna, ictiofauna, algas, e briófitas, que são os grupos com menos estudos ou sem nenhum levantamento detalhado para essas áreas montanhosas do Mato Grosso do Sul. Portanto, sem uma avaliação mais completa sobre a biodiversidade da região, acaba que limita enormemente a avaliação de impactos de atividades antrópicas e definição de estratégias de conservação (TOMAS et al., 2010).

A Floresta estacional Semidecidual só começa na altitude 400m na região. Abaixo disso toda vegetação é de Floresta Estacional Decidual, em áreas de calcário ou não. Pode citar a minha tese de doutorado para isso. Não está publicada, mas eu mergulhei nesses morros para entender a vegetação.

A tipologia vegetacional que é observado na Morraria do Urucum varia de Floresta Estacional Decidual a cerca de 100 m de altitude, Floresta Estacional Semidecidual a partir dos 400 m de altitude, e os Campos de Altitude (topo dos morros na cota de 1000 m de altitude) (NEVES & DAMASCENO JÚNIOR, 2011; DAMASCENO JÚNIOR, 2005), além de Floresta Estacional Decidual nas áreas calcárias (TOMAS et al., 2010; URBANETZ et al., 2012; de LIMA et al., 2019). Ocorrem também gradações com Floresta Perenifólia e Mata de Galeria, e uma estreita faixa de Cerrado na transição para Campos de Altitude. Há pequenas ilhas de vegetação xerofítica em bancadas lateríticas localizadas no sopé da Morraria do Urucum e em algumas encostas. A composição da flora e da fauna da região possui elementos do Chaco, do Cerrado e da Amazônia, e a riqueza botânica da área é alta, ocorrendo mais de 973 espécies de 116

famílias (POTT et al., 2000; TOMAS et al., 2010), justificada principalmente pela grande variedade de fitofisionomias. Os Campos de Altitude estão presentes na Morraria do Urucum conforme levantamento e catalogação de estudos realizados por Urbanetz et al. (2012) e Damasceno Júnior et al. (2005), onde estes últimos catalogoram 63 espécies com maior frequência (91.23) da família botânica Gramineae de tipologias Campos Sujos. Já Urbanetz et al. (2012) encontrou 1295 indivíduos pertencentes a 32 famílias e 74 espécies, entre elas das famílias pertencentes aos Campos de Altitude presentes em pontos acima dos 700 m de altitude, como exemplo Fabaceae, Myrtaceae, Rubiaceae, Verbenaceae e etc. Os Campos de Altitude estão bem distribuídos pela Morraria do Urucum, principalmente nas áreas de maior elevação acima dos 700 m, conforme foi observado e verificado em campo (Figuras 1.8, 1.9 e 1.10).

Figura 1.8. Campos de Altitude distribuídos em zona de altitudes acima dos 700 m na Morraria do Urucum. Crédito da Imagem: Vale – Mina Urucum.

Figura 1.9. Campos de Altitude distribuídos em zona de altitudes acima dos 700 m na Morraria do Urucum. Crédito da Imagem: Vale – Mina Urucum.

Figura 1.10. Campos de Altitude distribuídos em zona de altitudes acima dos 700 m na Morraria do Urucum. Crédito da Imagem: Vale – Mina Urucum.

A Morraria do Urucum não possui Unidades de Conservação (UCs), nem em nível municipal, estadual e nem em nível federal conforme verificado nos bancos de dados da IMASUL, MMA, FUNAI, ECOTRÓPICA, ICMBio. O monitoramento dessas

áreas, possibilita iniciativas de preservação e conservação dos recursos naturais e do ambiente montanhoso, uma vez que é demonstrado a importância da biodiversidade montanhosa pela presença de espécies endêmicas nessas áreas que são tão escassas no estado de Mato Grosso do Sul, e a nível Brasil.

Estudos realizados por Sonoda et al. (2021) e Pinto et al. (2015) demonstram que o Pantanal brasileiro não possui uma ampla área total com UCs, o que é algo preocupante, já que as áreas protegidas são reconhecidas como principal estratégia na conservação *in situ* da biodiversidade (SONODA et al., 2021; CHAPE et al., 2005). O estabelecimento de áreas protegidas é uma importante ação de valorização e de manutenção do meio ambiente e dos recursos naturais existentes, e Sonoda et al. (2021) reafirmam que as áreas protegidas, além de serem essenciais para a conservação da biodiversidade, são vitais para responder a desafios emergentes, como proteção hídrica, saúde, redução do risco de desastres e mudanças climáticas.

Portanto, a Morraria do Urucum merece atenção especial no que tange a sua conservação, seja por políticas públicas na criação de Unidades de Conservação, ou por iniciativas de estudos científicos que demonstrem a biodiversidade endêmica dessas regiões e de seu papel na manutenção do ecossistema pantaneiro.

1.3.3 Campos de Altitude

Ambientes montanhosos naturais usualmente se diferenciam de seu entorno, em função das diferentes características ambientais desses habitats, tais como o solo e o clima, refletindo diretamente nas características da flora e da fauna. Muitas dessas áreas possuem ambientes campestres, especialmente em áreas serranas, de chapadas ou planaltos, e que recebem diferentes denominações, tais como: Campos de Altitude, Altimontanos, Campos Rupestres, Páramos (VASCONCELOS, 2014).

Os Campos de Altitude são ecossistemas naturais com alta diversidade de espécies vegetais e animais (Figuras 1.11, 1.12, 1.13, 1.14). Garantem serviços ambientais importantes, como a conservação de recursos hídricos, a disponibilidade de polinizadores, e o provimento de recursos genéticos. Além disso, abrigam alta biodiversidade e oferecem beleza cênica com potencial turístico importante (PILLAR et al., 2009; VASCONCELOS, 2011).

Figura 1.11. Campos de Altitude gramíneo-herbáceo (Capim rabo-de-raposa, *Aristida sp*.) na Morraria do Urucum. Crédito da Imagem: Vale – Mina Urucum.

Figura 1.12. Capim-dourado (*Axonopus aureus*) na Morraria do Urucum. Crédito da Imagem: Vale – Mina Urucum.

Figura 1.13. Capim-bobó (*Ctenium sp*.) na Morraria do Urucum. Crédito da Imagem: Vale – Mina Urucum.

Figura 1.14. Capim-pânico (*Panicum sp*.) na Morraria do Urucum. Crédito da Imagem: Vale – Mina Urucum.

No geral, os Campos de Altitude ocorrem principalmente acima de 900 m de altitude, em montanhas, morros e serras cujas rochas são de origem pré-cambriana e que foram remodeladas por movimentos tectônicos a partir do Paleógeno, estando associados, principalmente ao afloramento de quartzito, arenito e minério de ferro (VASCONCELOS, 2011). No Brasil, outras áreas com vegetações já tratadas como "rupestres" ou "campos rupestres", mas que não estão associadas a altas altitudes, são os campos rupestres que ocorrem sobre substrato em áreas do Cerrado onde há presença de rochas. Já os Campos de Altitude são típicos dos pontos mais elevados de montanhas que se soergueram principalmente durante o Terciário, estando geralmente situados acima de 1.500 m de altitude, porém também visualizado em ambientes acima dos 700 m de altitude (Morraria do Urucum e Serra do Amolar), e associados a rochas ígneas ou metamórficas, como granito e gnaisse (VASCONCELOS, 2011).

Portanto, a denominação "Campos de Altitude" é a classificação nominal dada para a vegetação campestre que ocorre nas partes mais elevadas (acima de 700 m), porém tanto os Campos Rupestres da cadeia do espinhaço quanto os Campos de Altitude das serras e morros são representados por um conjunto de comunidades predominantemente herbáceo-arbustivas que variam em função do relevo, microclima, profundidade do solo e natureza do substrato, o que dá um caráter de mosaico a estes tipos de vegetação (ALVES et al., 2007; RAPINI et al., 2008; VASCONCELOS, 2011).

O Brasil está entre os países denominados megadiversos (BARTHLOTT et al., 1996, LEWINSOHN & PRADO, 2005; OVERBECK et al., 2007), entretanto existem ameaças à fauna, flora e paisagens naturais (BRANDON et al., 2005, MITTERMEIER et al., 2005; OVERBECK et al., 2007). Segundo a atual classificação oficial dos biomas do Brasil feita pelo IBGE (2019), o país possui seis biomas terrestres: Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado, Pantanal e Pampa, além das áreas costeiras. A vegetação Campos de Altitude, também descrita como vegetação campestre do Brasil, pode ser encontrada nos biomas Pampa, correspondente à metade sul do estado do Rio Grande do Sul, no bioma Mata Atlântica, no Cerrado e no Pantanal. Este último inclui áreas de campos nas formações montanhosas, como já demonstrado nos capítulos anteriores, onde é constatado a presença dessa formação campestre na Serra do Amolar e Morraria do Urucum, ambas áreas inseridas no Pantanal. Esse tipo de vegetação forma mosaicos com as florestas na parte mais baixa do perfil altimétrico, e nas áreas mais altas verifica-se a presença dos Campos de Altitude. Este trabalho oferece uma revisão das características ecológicas dos Campos de Altitude e da sua importância no contexto do Pantanal

brasileiro, e do seu estado atual de conservação. As vegetações campestres das regiões montanhosas ainda não são tratadas como área prioritária para conservação, assim como outras formações não-florestais no Brasil.

Os Campos de Altitude merecem mais atenção da comunidade científica, não só pela sua conotação biológica e geológica, mas também por se apresentarem como as primeiras áreas de drenagem para o suprimento de água de grande parte da população brasileira, justificando por si só a sua preservação. Por isso, as atuais ameaças e os desafios para sua conservação devem ser estudados para elencar políticas públicas e métodos científicos para conservação dessas áreas prioritárias, como por exemplo a criação de Unidades de Conservação.

1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando a conservação desses habitats montanhosos, a criação de áreas de proteção nas categorias menos estrita, que permite certos tipos de uso da terra seriam, pois, mais adequadas e efetivas que áreas de conservação nos níveis maiores (I-III), podendo dessa forma conciliar propostas econômicas e práticas sustentáveis de manejo como o pastejo e a mineração, encorajando a reintrodução de gramíneas forrageiras nativas e estimulando o diferimento.

O manejo é essencial para a conservação dos Campos de Altitude, por outro lado, áreas de Campos de Altitude dentro de UCs sob proteção integral proporcionariam uma oportunidade única para pesquisas em dinâmica da vegetação e processos sucessionais que ainda não são bem compreendidos. Os resultados de estudos sobre sucessão proporcionariam uma base essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável dos Campos de Altitude do Brasil. Ações de conservação são urgentes, se com elas for possível frear a perda de áreas montanhosas e evitar processos de extinção, porém a conservação da biodiversidade dos Campos de Altitude precisa refletir propriedades ecológicas e processos sucessionais e, portanto, permitir práticas de manejo adequadas.

Outras iniciativas importantes que deveriam compor a pauta de uma agenda política socioambiental para os Campos de Altitude podem ser: (i) a difusão do conhecimento e valorização dos seus atributos ecológicos, socioeconômicos e culturais para o conjunto da sociedade por vias de trabalhos e pesquisas científicas pelos grupos de pesquisa da academia brasileira; (ii) a realização de inventários sobre a biodiversidade e

o monitoramento periódico da cobertura vegetal; (iii) a definição de instrumentos de ordenamento territorial; (iv) o fomento às atividades que promovem o uso sustentável dos Campos de Altitude, como o turismo rural e o ecoturismo; (v) o apoio às atividades de pesquisa e extensão voltadas principalmente à biologia, ecologia e uso sustentável e (vi) uma maior integração entre instituições em torno de objetivos comuns.

1.5 REFERÊNCIAS

APPANAH, S. & RATNAM, L. The importance of forest biodiversity to developing countries in Asia. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 5, n. 2, p.201-215, 1992.

ALVES, R. J. V.; CARDIN, l. & KROPF, M. S. Angiosperm disjunction "campos rupestres – restingas": a re-evaluation. **acta Botanica Brasilica**, v. 21, p. 675-685, 2007.

BISWAS, S.; SWANSON, M. E.; VACIK, H. Natural Resources Depletion in Hill Areas of Bangladesh: A Review. **J. Mt. Sci**., v. 9, p. 147–156, 2012.

BANDYOPADHYAY, J. **Natural Resource Management in the Mountain Environment: Experiences from the Doon Valley, India**. International Centre for Integrated Mountain Development Kathmandu, Nepal. 1989. 57p.

BRANDON, K. et al. Special section: Brazilian conservation: challenges and opportunities. **Conservation Biology**, v. 19, p. 595-600, 2005.

BARTHLOTT, W.; LAUER, W. & PLACKE, A. Global distribution of species diversity in vascular plants: towards a world map of phytodiversity. **Erdkunde**, v. 50, p. 317-327, 1996.

BENISTON, M. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. **Climatic Change**, v. 59, p. 5-31, 2003.

BARROS, D. A. **CAMPOS DE ALTITUDE SOB INTERFERÊNCIA DA MINERAÇÃO DE BAUXITA NO PLANALTO DE POÇOS DE CALDAS, MG**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras: UFLA, 2014. 141p.

COLLISCHONN, B. Estimativa preliminar do comprimento do remanso do rio Paraguai a montante de Amolar. **In**: Águasul – Simpósio de Recursos Hídricos do Sul, 2005,

Santa Maria - RS. Anais - Uso sustentável dos recursos hídricos: tecnologia, gestão e educação, 2005.

CONABIO. **Deliberação nº 57, de 28 de outubro de 2008**. Dispõe sobre a criação da Câmara Técnica Temporária sobre Ecossistemas de Montanha. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/estruturas/conabio/_arquivos/deliberacao_57_15.pdf Acesso em 22 de outubro de 2021.

CHAPE, S.; HARRISON, J.; SPALDING, M. & LYSENKO, I. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as na indicator for meeting global biodiversity targets. **Philosophycal Transactions of the Royal Society B Biological Sciences**, v. 360, p. 443–455, 2005.

DAMASCENO JÚNIOR, G. et al. Vegetation of the Morraria de Santa Cruz, Brazil. ResearchGate, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274370305_Vegetation_of_the_Morraria_de_Santa_Cruz_Brazil. Acesso em: 23, abr. 2022.

DAMASCENO JÚNIOR, G. A. Estudo Florístico e Fitossociológico de um Gradiente Altitudinal no Maciço Urucum – Mato Grosso do Sul – Brasil. Tese (Doutorado) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 153. 2005.

DIMITROVSKA, O.; RADEVSKI, I.; GORIN, S.; TALESKA, M. QUALITY OF THE ENVIRONMENT IN MOUNTAIN AREAS AND SUSTAINABLE USE OF MOUNTAIN RESOURCES. **In**: International Scientific Conference GEOBALCANICA 2015. Physical Geography; Cartography; Geographic Information Systems & Spatial Planing, 2015. 193-198p.

ECOTROPICA. **PLANO DE MANEJO DAS RPPN'S ACURIZAL, PENHA E DOROCHÊ**. Cuiabá, 2003. 125p.

FRANCO, M. S. M. & PINHEIRO, R. Geomorfologia **In**: Projeto RADAMBRASIL. Levantamento dos Recursos Naturais. v. 27. Folha SE 21. Corumbá e parte da folha SE 20. Rio de Janeiro, p. 161-224, 1982.

FERNANDES, G. W.; BARBOSA, N. P. U.; NEGREIROS, D.; PAGLIA, A. P. Challenges for the conservation of vanishing megadiverse rupestrian grasslands. **Natureza e Conservação**, v. 12, p. 162-165, 2014.

FREITAS, B. T. **Tectônica e Sedimentação do Grupo Jacadigo (Neoproterozóico,**

MS). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica – Universidade de São Paulo, 2010. 144p.

IBGE. **Mapa da vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil**. 2019. Acessado em: 26 de fev. 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=acesso-ao-produto

IBGE. **Biomas**. 2019. Acessado em: 26 de fev. 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico: inventário das formações florestais e campestres: técnicas e manejo de coleções botânicas: procedimentos para mapeamentos**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 272p.

ICMBIO. **Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio**. 2020. Acessado em: 22 de fev. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais

JUNK, W. J. et al. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, v. 68, n. 3, p. 1-32, 2006.

KATTAN, G. H. et al. Biological diversification in a complex region: A spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the Andes of Colombia. **J. Biogeogr**., v. 31, p. 1829–1839, 2004.11

KOEPPEN, W. **Climatología: con un estudio de los climas de la tierra**. México, Fondo de la Cultura Económica, 1948. 478p.

LEON-GARCIA, I. V. & LASSO, E. High heat tolerance in plants from the Andean highlands: Implications for paramos in a warmer world. **PLoS ONE**, v. 14, n. 11, p. e0224218, 2019.

LEWINSOHN, T. M. & PRADO, P. I. How many species are there in Brazil? **Conservation Biology**, v. 19, p. 619-624, 2005.

LAMA, W. B. & SATTAR, N. **Mountain Tourism and the Conservation of Biological and Cultural Diversity**. Case study - Mountain Forum Thematic Paper for the Bishkek Global Mountain Summit. UNEP (draft). 23-28 April, 2002. 32p.

LIMA, M. S. et al. Checklist of the flora in ironstone outcrops at the Urucum Plateau, Corumbá, Mato Grosso do Sul. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 3, p. e20180708, 2019.

MAGALHÃES, N. W. **Conheça o Pantanal**. São Paulo: Terragraph, 1992. 390p.

MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. & ALBREZ, E. A. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. **Revista Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 165–180, 2012.

MIOTO, C. L. **GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE DAS PECULIARIDADES DOS RECURSOS HÍDRICOS DA PLANÍCIE PANTANEIRA**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2016. 94p.

MITTERMEIER, R. A. et al. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, p. 601-607, 2005.

MOREIRA, V. F. **Rede de Proteção e Conservação da Serra do Amolar: Rompendo Fronteiras para a Conservação do Pantanal**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Corumbá, 2011. 76p.

NEVES, D. R. M. & DAMASCENO JÚNIOR, G. A. Post-fire phenology in a campo sujo vegetation in the Urucum plateau, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Braz. J. Biol**., v. 71, n. 4, p. 881-888, 2011.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Earth Summit: Agenda 21**. The United Nations Programme of Action from Rio The final text of agréments negotiated by governments at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), 3-14 junho 1992, Rio de Janeiro, Brazil. 294p.

OVERBECK, G. E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101-116, 2007.

PRICE, M.F. Why mountain forests are important. **The Forestry Chronicle**, v. 79, n. 2, p. 219-222, 2003.

PINTO, J. S. et al. Diagnóstico e avaliação da eficiência da preservação do ambiente em Mato Grosso do Sul a partir da inclusão do pagamento de serviços ambientais. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 35, p. 225-240, 2015.

PILLAR, V. de P. et al. **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

PEARSON, D. L. & BELETSKY, L. **Brazil – Amazon & Pantanal. Northampton: Interlink Publishing Group**. 2005. 492p.

POTT, A.; SILVA J. S. V.; SALIS, S. M.; POTT, V. J.; SILVA, M. P. Vegetação e uso da terra. p.111131. **In**: SILVA, J. S. V. (Ed.). Zoneamento ambiental da borda oeste do Pantanal: Morraria do Urucum e adjacências. Brasília: Embrapa Informação e Tecnologia. 2000. 365p

RAMIREZ-VILLEGAS, J. et al. Using species distributions models for designing conservation strategies of Tropical Andean biodiversity under climate change. **J. Nat. Conserv**., v. 22, p. 391–404, 2014.

RAPINI, A. A flora dos campos rupestres da Cadeia do espinhaço. **Megadiversidade**, v. 4, p. 16-24., 2008.

RABELO, A. C. P. et al. **Aspectos Biológicos da Reserva Particular do Patrimônio Natural Engenheiro Eliezer Batista Pantanal Sul: Descobrindo o Paraíso**. Impresso no Brasil – Rio de Janeiro: RJ, 2012. 111p.

RIBEIRO, K. T.; MEDINA, B. M. O.; SCARANO, F. R. Species composition and biogeographic relations of the rock outcrop flora on the high plateau of Itatiaia, SE Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, 30, 623-639, 2007.

SILVA, J. S. V. et al. Avaliação integrada do Morraria do Urucum e adjacências procedimentos e diretrizes. p.922. **In**: SILVA, J. S. V. (Ed.). Zoneamento ambiental da borda oeste do Pantanal: Morraria do Urucum e adjacências. Brasília: Embrapa Informação e Tecnologia, 2000. 365p.

SILVA, J. S. V. & ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1703-1711, 1998.

SCARANO, F. R.; CEOTTO, P.; MARTINELLI, G. CLIMATE CHANGE AND "CAMPOS DE ALTITUDE": FORECASTS, KNOWLEDGE AND ACTION GAPS IN BRAZIL. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 2, p. 139-144, 2016.

SNUC – **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza / MMA**. 2004. SNUC: Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000; decreto no 4.340, de 22 de agosto de 2002. 5 ed. Brasília, DF: MMA/SBF, 56 p.

SONODA, F. A. et al. A efetividade das áreas protegidas na conservação das espécies de mamíferos do bioma Pantanal. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat**., v. 16, n. 3, p. 371-440, 2021.

TOMAS, W. M. et al. Borda Oeste do Pantanal e Morraria do Urucum em Corumbá, MS: Área Prioritária para Conservação da Biodiversidade. **In**: 5 Simpósio Sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal. Corumbá: MS. 2010. 6p.

URBANETZ, C. et al. COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM GRADIENTE ALTITUDINAL, MORRARIA DO URUCUM, BRASIL. **Oecologia Australis**, n. 16, v. 4, p. 859-877, 2012.

VASCONSELOS, M. F. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? **Revista Brasil. Bot**., v. 34, n. 2, p.241-246, 2011.

VASCONSELOS, V. V. CAMPOS DE ALTITUDE, CAMPOS RUPESTRES E APLICAÇÃO DA LEI DA MATA ATLÂNTICA: ESTUDO PROSPECTIVO PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS. **Bol. geogr**., Maringá, v. 32, n. 2, p. 110-133, 2014.

VIVIROLI, D.; DÜRR, H.H.; MESSERLI, B.; MEYBECK, M.; WEINGARTNER, R. Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. **Water Resources Research**, v. 43, p. W07447, 2007.

ZUCCO, C. A.; TIZIANEL, F. A. T.; de JESUS, F.; SARACURA, V. F. **Plano de Manejo da RPPN Eng. Eliezer Batista**. Corumbá, MS: IHP – Instituto Homem Pantaneiro, 2011. 139p.

SEGUNDO CAPÍTULO: GEOTECNOLOGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM VEGETAÇÃO DE ALTITUDE

Resumo

A análise bibliométrica é considerada um estudo rápido e eficiente para avaliar as tendências de pesquisa e as redes acadêmicas em diferentes disciplinas de pesquisa. O objetivo desse estudo foi realizar uma análise bibliométrica e apresentar uma visão geral das tendências de pesquisa sobre a variabilidade espacial e temporal da vegetação de altitude em resposta às mudanças climáticas com o auxílio de geotecnologias. Para tanto, foi realizada a pesquisa bibliográfica usando o banco de dados Web of Science em 11 de dezembro de 2020, para reunir publicações acadêmicas sobre alterações espaço-temporais de vegetação de altitude em resposta às mudanças climáticas, entre os anos de 1945 e 2020. Obteve-se um total de 54 publicações com resumos alinhados. Foi realizada a leitura de todos esses documentos e chegou-se ao número de 27 publicações que atenderam a todos os critérios relacionados ao objetivo dessa análise. A análise demonstrou que o número de publicações relacionadas ao tema desta pesquisa ainda é muito pequeno e restrito a poucos países e a tipos de vegetação específicas de determinadas áreas montanhosas.

Palavras-chave: Vegetação campina; Publicações científicas; Mudanças climáticas; Variações espaço-temporais; Altitude; Distribuição da vegetação; Geotecnologias.

SECOND CHAPTER: GEOTECHNOLOGY AND CLIMATE CHANGE IN ALTITUDE VEGETATION

Abstract

Bibliometric analysis is considered a quick and efficient study to assess research trends and academic networks in different research disciplines. The aim of this study was to perform a bibliometric analysis and present an overview of research trends on the spatial and temporal variability of highland vegetation in response to climate change with the aid of geotechnologies. To this end, a bibliographic search was carried out using the Web of Science database on December 11, 2020, to gather academic publications on spatiotemporal changes in altitude vegetation in response to climate change, between the years of 1945 and 2020. A total of 54 publications with aligned abstracts were obtained.

All these documents were read and the number of 27 publications that met all the criteria related to the objective of this analysis was reached. The analysis showed that the number of publications related to the topic of this research is still very small and restricted to a few countries and specific vegetation types in certain mountainous areas.
Keywords: Grasslands; Scientific publications; Climate change; Spatial-temporal variations; Altitude; Vegetation distribution; Geotechnologies

2.1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem se discutido ativamente sobre as mudanças climáticas atuais, por ser um processo complexo, que tem como resultado a alteração da química da atmosfera e do equilíbrio global de energia, resultando em temperaturas elevadas, padrões de precipitação alterados e eventos climáticos extremos (CORREA-DÍAZ et al., 2020; BLUNDEN & ARNDT, 2018).

Neste contexto, o aquecimento global traz muitos desafios para o desenvolvimento da sociedade humana, e também para o ecossistema terrestre, pois o aquecimento global tem causado distúrbios florestais (MA et al., 2019).

A frequência e gravidade dos distúrbios aumentarão sob a influência das mudanças climáticas nos ecossistemas florestais, devido ao crescimento e distribuição de plantas dependentes das condições climáticas e de seu habitat, pois a distribuição da vegetação demonstrou ser muito sensível ao clima (MA et al., 2019; WANG et al., 2014)

Dado que a vegetação de alta elevação, como por exemplo os Campos de Altitude, são um tipo de ecossistema sensível ao clima, fazendo deste tipo de vegetação um bioindicador adequado para monitorar os efeitos das mudanças climáticas, uma vez que experimentam mudanças mais rápidas de temperatura do que os locais de baixa elevação (CORREA-DÍAZ et al., 2020; PEPIN et al., 2015). Espera-se que a vegetação que cresce na linha das árvores (vegetação mais densa), modulem o processo de formação de madeira de acordo com as imposições climáticas, garantindo o transporte de água e suporte físico enquanto equilibra as trocas para transpiração e fotossíntese (CORREA-DÍAZ et al., 2020), sendo que variações nos padrões de distribuição de água e temperatura é um fator chave na distribuição espacial das árvores (TAO et al., 2018).

A alteração na distribuição espacial e temporal da vegetação é um importante indicador das respostas dinâmicas dos ecossistemas às mudanças climáticas (ZHANG, R. et al., 2019; JEONG et al., 2011), portanto, pesquisas sobre a distribuição espaço-

temporal da vegetação não só pode melhorar nossa compreensão das respostas da vegetação quanto às mudanças climáticas, mas também tem um significado importante para aumentar a precisão das simulações de troca de matéria-energia entre o clima e a vegetação (ZHANG, R. et al., 2019, POULIOT et al., 2009).

Por conta da importância desse tema que vem sendo muito discutido, e que pouco ainda se sabe, pois são estudos recentes, é importante que se tenha uma análise bibliométrica sobre estudos dessa temática. Análise bibliométrica é considerada um estudo rápido e eficiente para avaliar as tendências de pesquisa e as redes acadêmicas em diferentes disciplinas de pesquisa (ZHANG, X. et al., 2019; ZHANG et al., 2016), podendo também fornecer orientação para pesquisadores jovens e iniciantes (ZHANG, X. et al., 2019). Também pode encorajar e desafiar os pesquisadores a conduzir estudos adicionais (TAN et al., 2014). Na maioria dos casos, uma análise bibliométrica resume as tendências de pesquisa e redes acadêmicas com base em resultados de publicações, categorias de assunto, principais periódicos, autores ativos, países produtivos, instituições de pesquisa e frequências de palavras-chave. Portanto, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise bibliométrica e apresentar uma visão geral das tendências de pesquisa sobre a variabilidade espacial e temporal da vegetação de altitude em resposta às mudanças climáticas com o auxílio de geotecnologias, e elucidar os principais pontos de direções de pesquisas futuras.

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Estratégia de pesquisa e extração de dados

Neste estudo, a pesquisa bibliográfica foi realizada usando o banco de dados Web of Science (WOS, https://clarivate.com), em 11 de dezembro de 2020, para reunir publicações acadêmicas sobre alterações espaço-temporal de vegetação de altitude em resposta às mudanças climáticas para os anos disponíveis. Este banco de dados é uma das fontes mais populares entre pesquisadores e acadêmicos e tem sido projetado especificamente para avaliar a importância e a influência das publicações científicas por meio do fator de impacto do periódico, apesar desse sistema ser um assunto de debate contínuo (CHIU & HO, 2005; ZHANG et al., 2016). De acordo com o Journal Citation Reports (JCR) de 2018, o ISI Web of Science indexa 11.655 periódicos principais com referências de citação em 234 disciplinas científicas (ZHANG et al., 2019).

Pesquisaram-se todas as publicações relacionadas ao tema desse estudo no banco

de dados do ISI (Institute for Scientific Information) Web of Science Core Collection (Índices: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI) utilizando os termos ("HIGH-ALTITUDE" OR "GRASSLAND" OR "HIGHLANDS" OR "VEGETATION" OR "ALPINE" OR "PASTURES") AND ("CLIMATE CHANGE" OR "CLIMATE VARIABILITY" OR "GLOBAL WARMING") AND ("REMOTE SENSING" OR "GEOPROCESSING" OR "REMOTE DETECTION") pelo campo do tópico que inclui título, resumo, palavras-chave do autor, e palavra-chave mais termos. No campo "tipos de documento", a busca foi filtrada para artigos, livros e capítulos de livros, escritos e publicados em inglês até 2020. Essa filtragem resultou em 3.081 documentos (Quadro 2.1).

Quadro 2.1. Informações usadas como critério no refinamento da busca por artigos.

Critério	**Definição**
Bases de dados	*Web of Science* (WOS)
Índices	SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI
Tipo de documentos	Artigos, Livros e Capítulos de Livros
Strings (palavras-chave)	*("HIGH-ALTITUDE" OR "GRASSLAND" OR "HIGHLANDS" OR "VEGETATION" OR "ALPINE" OR "PASTURES") AND ("CLIMATE CHANGE" OR "CLIMATE VARIABILITY" OR "GLOBAL WARMING") AND ("REMOTE SENSING" OR "GEOPROCESSING" OR "REMOTE DETECTION")*
Temática	Variação espaço-temporal da vegetação de altitude em função das alterações climáticas
Período de publicação	1945 a 2020
Instituição de pesquisa	Sem restrições
Idioma de publicação	Inglês
Quantidade de documentos filtrados	3.081

2.2.2 Análise e visualização de dados

Após a obtenção dos dados brutos da pesquisa bibliográfica (3.081 documentos), foi inicialmente realizada uma revisão dos documentos encontrados no software EndNote X9 (The EndNote Team, 2013), a partir da leitura dos títulos, palavras-chave e do resumo.

Os artigos que tinham alguma relação com o campo de estudo em foco foram selecionados e, para garantir a precisão da busca e minimizar quaisquer erros dos dados fornecidos pelo banco de dados, foram examinados todos os documentos recuperados por meio de leitura integral, a fim de identificar publicações que não foram relacionadas ao campo de estudo, ou por falta de informação nos dados que se deseja analisar.

2.2.3 Análise quantitativa

A análise bibliométrica foi realizada usando uma abordagem de análise quantitativa e técnica de mapeamento de conhecimento. A análise quantitativa foi realizada com base nas informações fornecidas pela *Web of Science*, do crescimento e da citação de publicações, autores ativos, anos de publicação, palavras-chave do autor, países, revistas mais publicadas e áreas de conhecimento.

O mapeamento do conhecimento, ou seja, análise de rede, foi realizado usando-se o *software* VOSviewer (VAN ECK; WALTMAN, 2010), onde visou a rede e a "força da ligação" entre palavras-chave do autor, países e autores.

2.2.4 Análise qualitativa

Para a análise qualitativa foi realizada a leitura integral dos documentos de maior relevância segundo o critério do número de citações e o "índice H" (*H-index*). Esse índice corresponde à quantidade de artigos com citações superior ou igual ao número de publicações de determinado autor, dando uma ideia de quais autores, numericamente, possuem maior nível de produção científica (HIRSCH, 2005). Esse índice pode ser usado na estimativa do nível de impacto, de significância e de produtividade de autores e países (CHAVES, 2020). Dentre os documentos que foram analisados, foi verificado o *H-index* entre os autores e, assim, registrado o valor daquele de maior pontuação e deixando o nome sublinhado para identificação. Para melhor visualização do processo foi confeccionado um fluxograma descritivo representado na Figura 2.1.

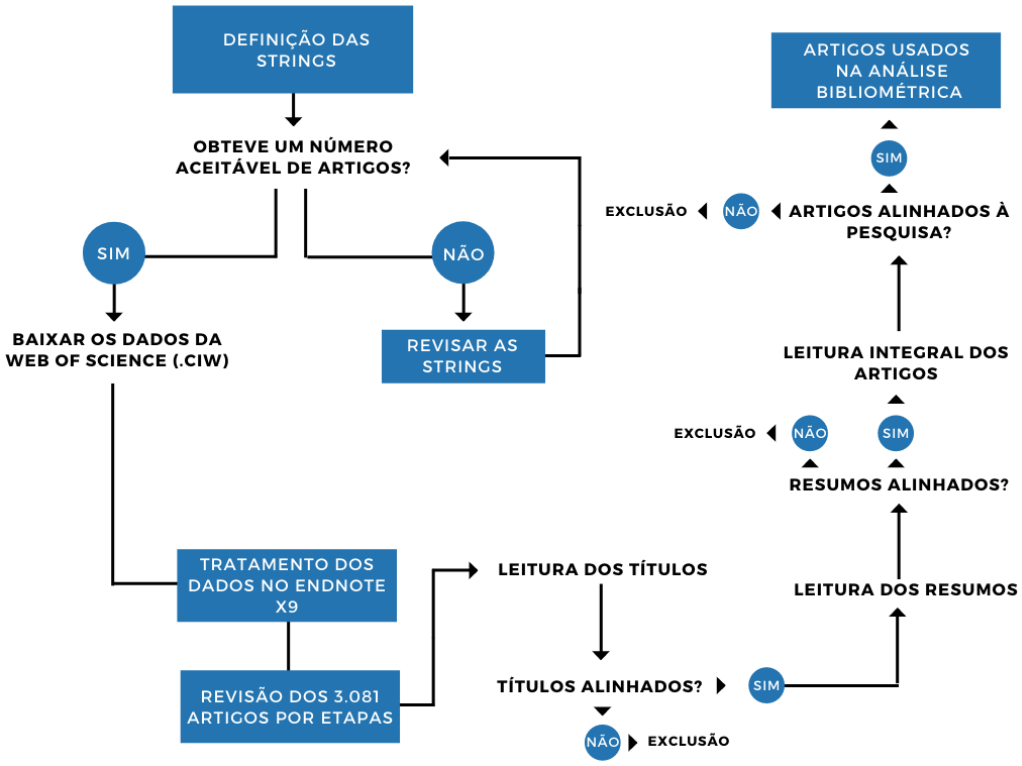

Figura 2.1. Passo a passo ilustrado no fluxograma, onde os processos realizados na busca de artigos para a análise bibliométrica seguiram os critérios descritos nessa figura desde a base de dados (*Web of Science*) até o tratamento dos dados no EndNote. Fluxograma confeccionado gratuitamente no site Canva (CANVA, 2020).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Análise quantitativa: produção científica, e anos de publicação

Obteve-se um total de 54 publicações com resumos alinhados. Foi realizada a leitura de todos esses documentos e chegou-se ao número de 27 publicações que atenderam a todos os critérios relacionados ao objetivo dessa análise (Figura 2.2).

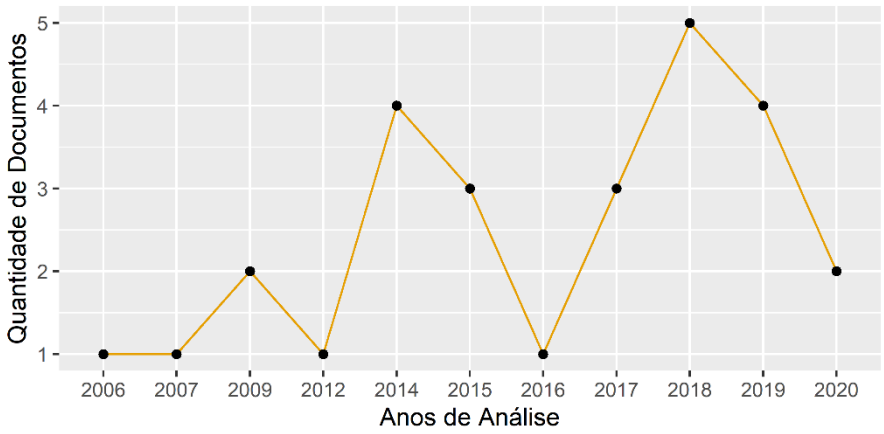

Figura 2.2. Quantidade de publicações por ano dos documentos alinhados à pesquisa.

Destes 27 documentos destacam-se os artigos com 21 (78,78%), seguido de capítulos de livro com 5 (18,52%) e livro com 1 (3,70%). A primeira publicação nesse sentido foi registrada em 2006 e intitulada "*Impact of climate change in the Hengduan Mountains of northwestern Yunnan, PR China: Vegetation distribution change in foretime and future*" (Sun et al., 2006), na qual os autores realizaram uma simulação futura da distribuição espacial da vegetação de altitude nas montanhas de Hengduan, na China, usando dados climáticos. A última publicação foi intitulada "*Climate warming benefits alpine vegetation growth in Three-River Headwater Region, China*" (BAI et al., 2020)

O número de publicações dedicadas à análise espaço-temporal da vegetação de altitude, com o uso de sensoriamento remoto, aumentou a partir de 2014 e teve um déficit em 2016, tornando a ter maiores números de publicação a partir de 2017. Em 2020 o número foi baixo, o que pode estar relacionado aos artigos que ainda não haviam sido publicados até a data dessa análise. A mudança no número de documentos publicados é um índice importante na medição da pesquisa e do progresso de um determinado campo de assunto. Isso pode refletir o foco de atenção durante um determinado período, como um indicador de quais são os problemas que estão recebendo maior atenção por parte da academia científica (WANG et al., 2019).

2.3.2 Os países e publicações mais citadas

O número de publicações por países e o número de citações por ano é mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Produção científica dos 5 principais países contribuintes. Legenda: NP: Número de Publicações; NC: Número de Citações.

	Países									
	China		**Romênia**		**Alemanha**		**Itália**		**Eritreia**	
Ano de Publicação	**NP**	**NC**	**NP**	**NC**	**NP**	**NC**	**NP**	**NC**	**NP**	**NC**
2006	1	0								
2007	1	0								
2009	2	91								
2012	1	1								
2014	4	55								
2015	3	75								
2016	1	39								
2017	2	23	1	15						
2018	4	26			1	7				
2019	2	4					1	4	1	10
2020	2	0								
Total	**23**	**314**								

Pode-se observar que o número de publicações ao longo dos primeiros anos foi majoritariamente realizado por pesquisadores da China, ocorrendo uma publicação em 2017 por pesquisadores da Romênia e seguido de outros países nos anos subsequentes. O número de artigos publicados por pesquisadores chineses foi maior do que o publicado por outros pesquisadores de outras nações, sendo que só em 2017 ocorreu o interesse de pesquisas por parte de outras nações no monitoramento da dinâmica espaço-temporal da vegetação de altitude em resposta às mudanças climáticas com o uso de sensoriamento remoto. Vale ressaltar que há mais publicação por parte dos chineses que de outros pesquisadores de outras nações em todos os anos de análise. Os dados sugerem que os estudiosos chineses estão se tornando mais favoráveis a publicar dados que corroboram com as alterações climáticas do que outras nações, e para uma exposição mais ampla de suas pesquisas estão sendo publicados em língua inglesa em periódicos internacionais, aumentando suas colaborações internacionais.

O aumento de publicações na área de mudanças climáticas, por parte de pesquisadores da China, pode ter relação com acordos de cooperação internacional sobre mudanças climáticas, do qual a China iniciou mudanças significativas em muitos aspectos (LI, 2016). Paralelamente às suas conquistas econômicas, o volume de publicações científicas oriundos da China, no monitoramento ambiental, também aumentou exponencialmente, e ultrapassou os Estados Unidos como o maior colaborador de artigos científicos na área de monitoramento ambiental (ENGELS, 2018; XIE, 2020). Sob a

perspectiva dos líderes da China foram traçadas mudanças significativas por um sistema de gestão mais ecológica e ambiental mais eficiente, visando realizar um arranjo institucional na busca de um estágio de desenvolvimento de conceitos de governança que devem levar em conta o crescimento do país, mas que também se preocupe com a proteção ambiental, o que significa que as autoridades competentes em matéria de recursos, proteção ecológica e ambiental deve desempenhar um papel mais importante, aumentando dessa forma os investimento em matéria de desenvolvimento de pesquisas que monitorem as alterações climáticas e do meio ambiente (XIE, 2020).

2.3.3 Periódicos mais ativos, áreas do conhecimento e palavras-chave

A análise dos periódicos permite obter uma visão geral do tema em estudo nos diversos campos acadêmicos, assim, na Tabela 2.2 são apresentados todos os periódicos que registram o número de publicações sobre o assunto dessa pesquisa; além disso, o número de citações recebidas, o fator de impacto (*CiteScore* 2019) e o *Scimago Journal Ranking* (SJR) também estão disponíveis. Ao todo foram 22 periódicos, do total de 27 publicações, tendo um total de citações de 367 (Figura 2.3). O periódico mais citado é o *Climatic Change*, com 1 artigo; 94 citações (23,44%), Citescore: 8.3; SJR: 1.908, seguido por *National Science Review*, com 1 artigos; 52 citações (12,97%), Citescore: 9.1; SJR: 2.243, e *Science of the Total Environment*, com 3 artigos; 44 citações (10,97%); Citescore: 8.6; SJR: 1.661.

Tabela 2.2. Ranking dos periódicos com maior produtividade científica e número de citações. NP: Número de Publicações; NC: Número de Citações; NC%: Percentual do Número de Citações.

Periódico	**NP**	**NC**	**NC%**	**Citescore 2019**	**SJR**
Climatic Change	1	94	23,44	8.3	1.908
National Science Review	1	52	12,97	9.1	2.243
Science of the Total Environment	3	44	10,97	8.6	1.661
Sensors	1	34	8,48	5.0	0.653
Agricultural and Forest Meteorology	1	26	6,48	7.2	1.836
Quaternary International	1	23	5,74	4.9	1.015
Remote Sensing of Environment	1	23	5,74	15.1	3.541
International Journal of Remote Sensing	1	21	5,24	4.6	0.928
Environmental Research Letters	1	20	4,99	8.9	2.675
Climate Research	1	17	4,24	4.0	0.804
Remote Sensing	1	13	3,24	6.1	1.422
Biology Letters	1	11	2,74	5.6	1.651
Biogeosciences	1	7	1,75	6.7	1.761
Applied Vegetation Science	1	4	1,00	6.0	1.115
Ecological Indicators	1	4	1,00	7.6	1.331
Environmental Earth Sciences	1	4	1,00	4.0	0.604
Canadian Journal of Remote Sensing	1	2	0,50	4.9	0.905
Scientific World Journal	1	1	0,25	2.9	0.384
IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)	4	1	0,25	0.9	0.279
Arabian Journal of Geosciences	1	0	0,00	2.0	0.404
Forests	1	0	0,00	2.7	0.652
Spie Int Soc Optical Engineering	1	0	0,00	1.0	0.215

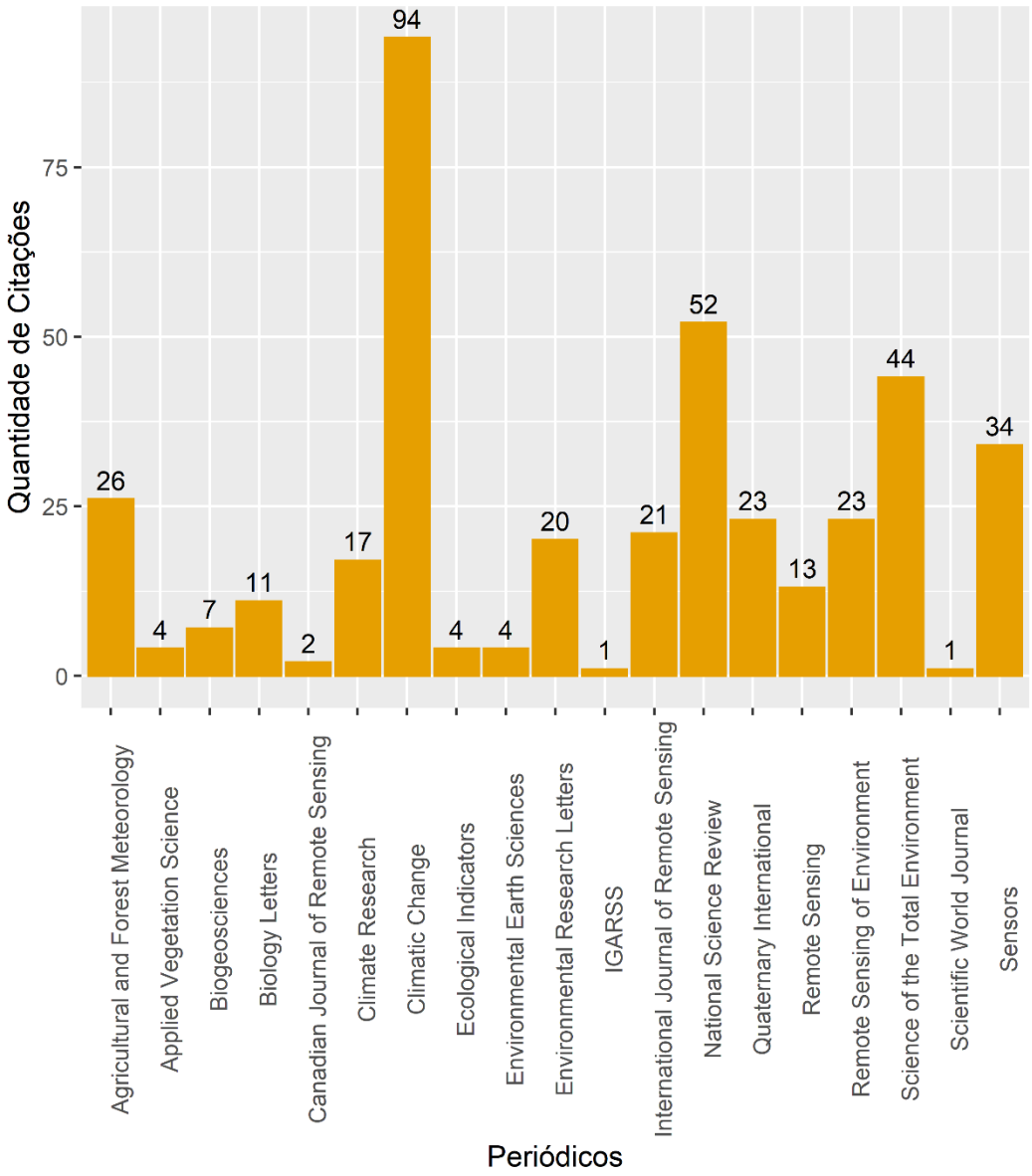

Figura 2.3. Número de citações por periódicos.

Verifica-se na Figura 2.4 que as citações das publicações aqui analisadas começam no ano de 2010 e possuem uma tendência de aumentar ao longo dos anos, principalmente a partir de 2016.

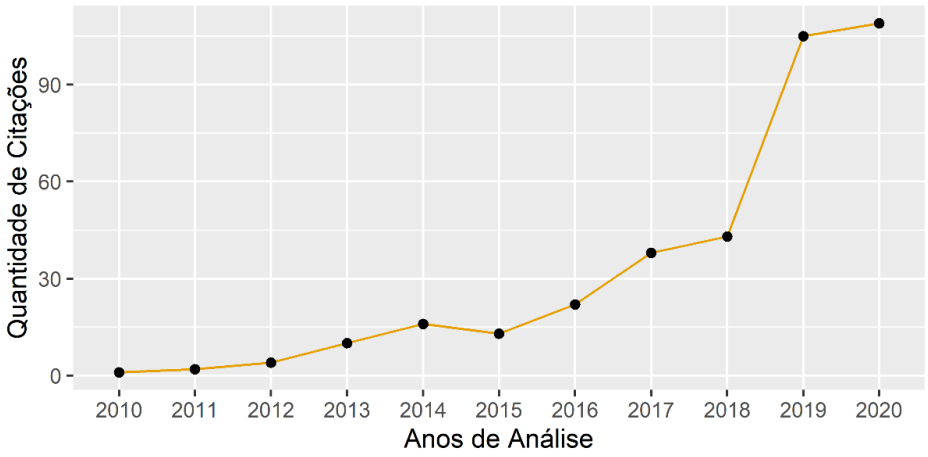

Figura 2.4. Número de vezes que os documentos analisados nessa pesquisa foram citados ao longo dos anos de análise.

Isso sugere que tem aumentado o interesse de pesquisadores em desenvolvimento de pesquisas na área de monitoramento das alterações climáticas e seus efeitos sobre a vegetação, pois como é verificado nos artigos aqui analisados, tiveram eles objetivos similares aos da pesquisa aqui desenvolvida, ou seja, possuem alguma relação na dinâmica de clima x vegetação.

O crescimento exponencial da literatura sobre mudanças climáticas, de maneira geral, e de áreas específicas, pode ser resultado de vários fatores, como por exemplo, os encontros entre as nações para discutir as mudanças climáticas, também possivelmente induzido pela crescente influência dos Relatórios de Avaliação do IPCC que, eventualmente, tornaram a pesquisa sobre mudanças climáticas um dos temas mais importantes atualmente (HAUNSCHILD et al., 2016). Além disso, os efeitos, impactos e riscos das mudanças climáticas sobre a biosfera tornaram-se uma preocupação cada vez mais concreta, o que induz à maioria da comunidade científica a realizar pesquisas sobre esse tema (TAI & JAMES, 2018; HAUNSCHILD et al., 2016).

A pesquisa por área de conhecimento cobriu 19 áreas temáticas (Figura 2.5) identificadas pelo banco de dados usado nessa pesquisa (WOS, *Web of Science*). As quatro categorias mais comuns foram Ciências Ambientais com 9 publicações indexadas nessa área (17,65%), Sensoriamento Remoto com 8 publicações (15,69%), Geociências com 6 publicações (11,76%) e Ciências Meteorológicas Atmosféricas com quatro (4) publicações (7,84%). A Figura 2.6 apresenta a produção científica desses quatro grupos em porcentagem, por área temática. Percebe-se, assim, o amplo campo de pesquisa, em diversas áreas, que propõe o tema em análise.

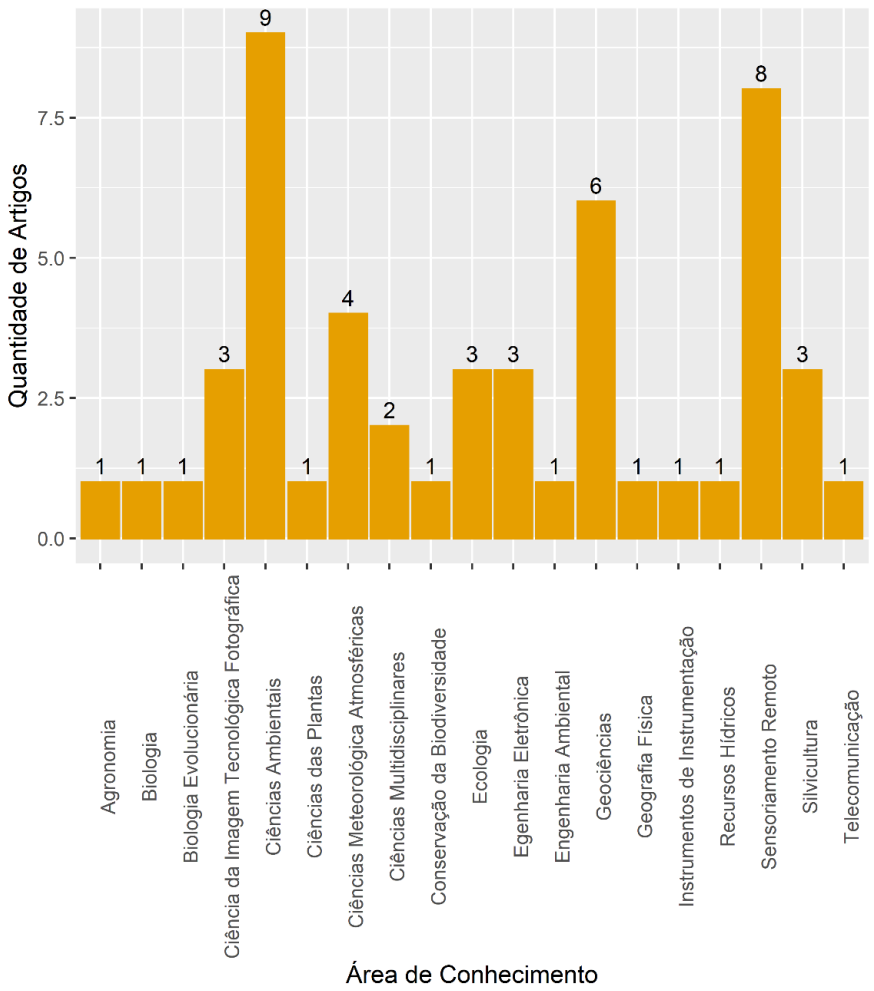

Figura 2.5. Produção científica por área de conhecimento.

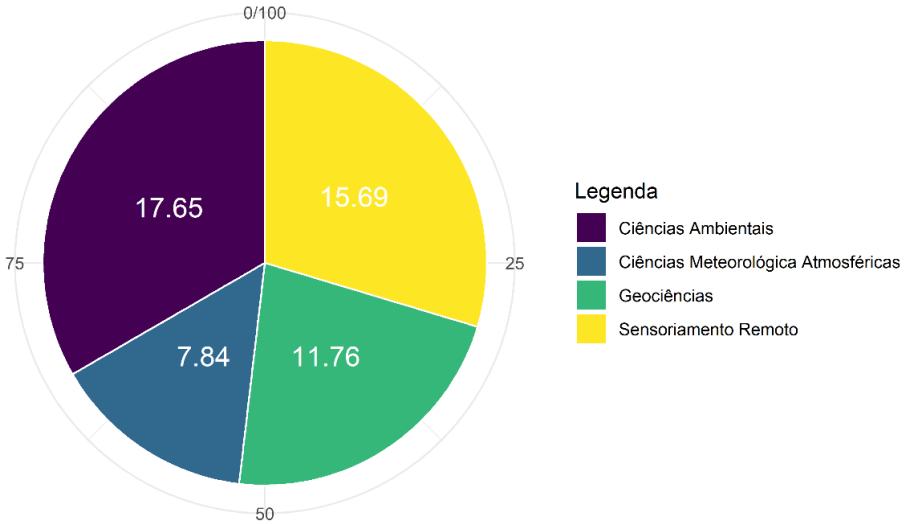

Figura 2.6. Percentual por área de conhecimento.

As palavras-chave podem fornecer indicações sobre as prioridades de pesquisa e os interesses dos cientistas e pesquisadores em determinadas áreas de pesquisa. De

acordo com essas palavras-chave, os dez primeiros, em termos de ocorrências totais, estão descritos na Tabela 2.3. As palavras-chave *Climate Change*, *Remote Sensing* e *Tibetan Plateau* tiveram maior frequência de uso nas publicações analisadas.

Tabela 2.3. As 10 principais palavras-chave de alta frequência das publicações analisadas nessa pesquisa.

Número	Palavras-chave	Frequência
1	Climate Change	15
2	Remote Sensing	14
3	Tibetan Plateau	12
4	NDVI	8
5	Temperature	7
6	Vegetation	6
7	China	6
8	Ecosystems	5
9	MODIS	5
10	Time-series	4

A análise da relação entre as palavras-chave e as suas forças de ligação é usada para determinar a estrutura cognitiva e os tópicos mais importantes do campo acadêmico e das áreas estudadas, usando mapas visuais de semântica, com base na análise de conteúdo técnico (DONG & CHEN, 2015; HERRERA-FRANCO et al., 2020). O *software* VOSviewer (VAN ECK; WALTMAN, 2010) foi utilizado para a construção da coocorrência das palavras-chave, usando as palavras-chave do autor do banco de dados obtido da *Web of Science*. As palavras-chave NDVI, *Remote Sensing*, *Climate Change*, *Temperature* e *Tibetan Plateau* tiveram as maiores forças de ligação entre todas as palavras-chave do autor e estavam altamente conectadas a *Remote Sensing* (Figura 2.7). Além disso, essas informações relacionadas à Força Total do *link* (força de ligação) denota a importância de uma palavra-chave no campo, uma vez que um valor mais alto significa que ela foi vinculada a outras palavras-chave mais vezes. As palavras-chave *Dynamics*, *Trend Analysis* e MODIS foram as mais utilizadas atualmente, conforme a escala em anos, na cor amarela, mais próxima de 2020.

Vale ressaltar que, quando um grande número de palavras-chave do autor aparece uma única vez, mostra a falta de continuidade e divergência na pesquisa, enquanto que as palavras-chave possuem maior número de repetições permitem identificar os tópicos mais utilizados no campo de pesquisa e determinação de sua estrutura (HERRERA-FRANCO et al., 2020; BAIER-FUENTES et al., 2019). Essas

palavras-chave são usadas pelos autores para descrever o mesmo conceito, por isso é necessário estabelecer um padrão de consistência em sua estrutura, exigindo o ajuste dos termos encontrados no plural para o singular e sinônimos antes da construção das *strings* que serão usados na busca por artigos nas bases de dados.

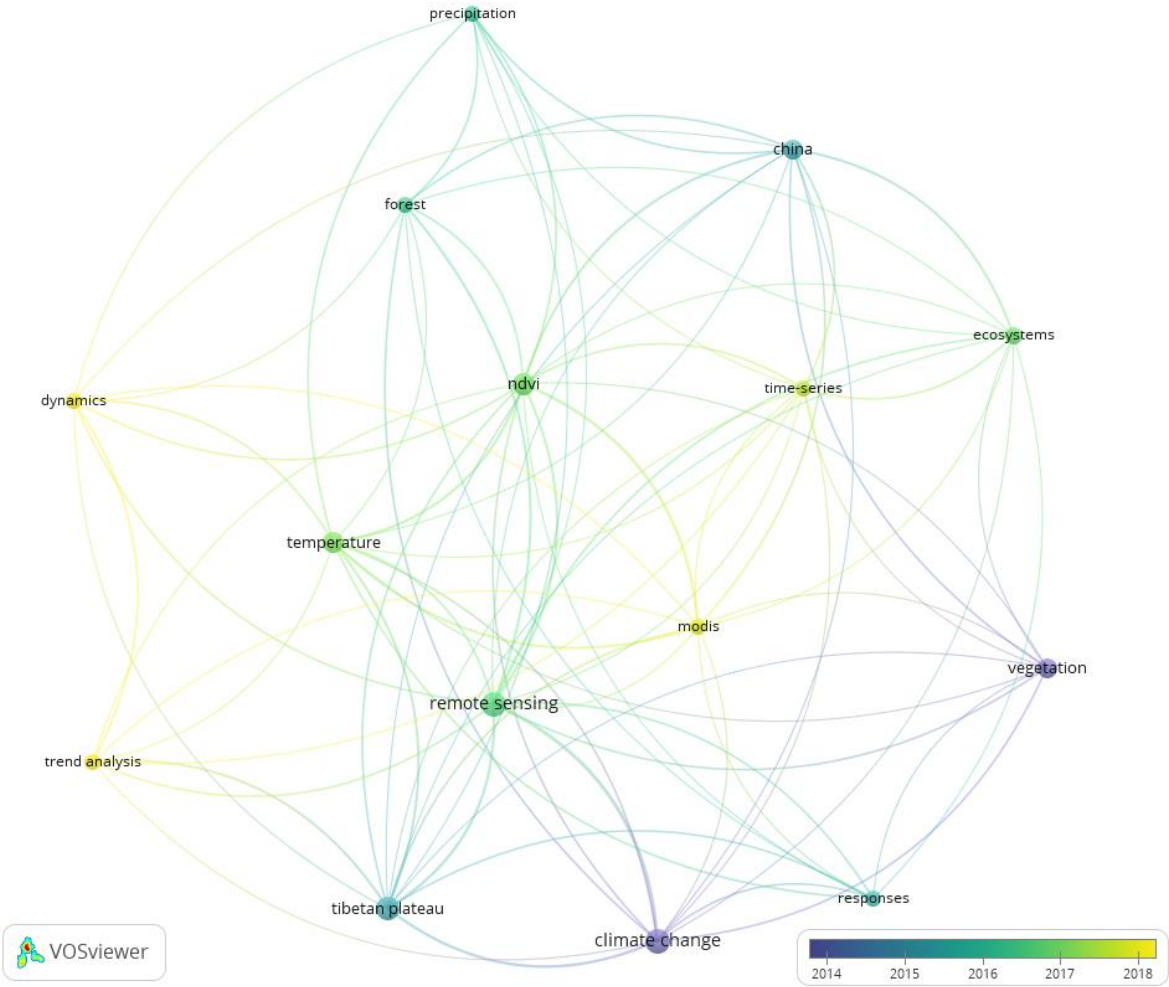

Figura 2.7. Análise de rede de coocorrência de palavras-chave do autor mais frequentemente usadas. As cores são representadas na legenda de anos (2014-2018).

2.3.4 Análise qualitativa: autores mais ativos

Para cada um dos dez artigos foi registrado o *H-index* do autor com a pontuação mais alta e sublinhado o nome para identificação (Tabela 2.4).

Tabela 2.4. Informações bibliográficas dos dez autores com maior H-index entre os artigos usados nessa análise.

Número	**Artigo**	***H-index***
1	He, Z. B., et al. (2015). Assessing temperature sensitivity of subalpine shrub phenology in semi-arid mountain regions of China. Agricultural and Forest Meteorology, 213: 42-52	32
2	Zhou, L. H., et al. (2009). Response of Vegetation Coverage on Climate Change in Arid Mountain of Northwest China. 2009 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vols 1-5. New York, Ieee: 1871-	28
3	Li, W. & Xu, J. (2012). TYPICAL ALPINE WETLAND LANDSCAPE CHANGES IN EASTERN TIBETAN PLATEAU UNDER CLIMATE CHANGE OVER 15 YEARS. 2012 Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium. New York, Ieee: 4907-4910.	26
4	Shen, M. G., et al. (2015). Plant phenological responses to climate change on the Tibetan Plateau: research status and challenges. National Science Review, 2(4): 454-467.	25
5	Huang, N., et al. (2018). No upward shift of alpine grassland distribution on the Qinghai-Tibetan Plateau despite rapid climate warming from 2000 to 2014. Science of the Total Environment, 625: 1361-1368.	21
6	Zhou, H. K., et al. (2014). Field evidence for earlier leaf-out dates in alpine grassland on the impact of Tibetan Plateau from 1990 to 2006. Biology Letters, 10(8): 5.	19
7	Sun, J. H., et al. (2006). Impact of climate change in the Hengduan Mountains of northwestern Yunnan, PR China: Vegetation distribution change in foretime and future. Earth Observing Systems Xi. J. J. Butler and J. Xiong. Bellingham, Spie-Int Soc Optical Engineering. 6296.	17
8	Gao, Q. Z., et al. (2009). Dynamics of alpine grassland NPP and its response to climate change in Northern Tibet. Climatic Change, 97(3-4): 515-528.	16
9	Li, C. B., et al. (2014). Regional vegetation dynamics and its response to climate change-a case study in the Tao River Basin in Northwestern China. Environmental Research Letters, 9(12): 12.	14
10	Zhang, J., et al. (2007). Evaluation of Grassland Dynamics in the Northern-Tibet Plateau of China Using Remote Sensing and Climate Data. Sensors, 7:3312-3328.	13

É importante compreender melhor a extensão e a gravidade dos impactos das mudanças climáticas sobre a vegetação de altitude e, ao usar uma abordagem bibliométrica para revisar a literatura sobre os efeitos do clima sobre as respostas da vegetação de altitude, no espaço e tempo, com o uso de ferramentas de sensoriamento remoto, foi possível identificar os principais autores que tratam desse assunto e as publicações que sustentam essa literatura, visando entender melhor quais trabalhos estão sendo realizados nesse sentido. Os próximos parágrafos discutem a diversidade, a

complexidade, as aplicações e a amplitude da pesquisa, as suas implicações e lacunas, bem como os benefícios e as limitações desta metodologia de revisão.

O trabalho desenvolvido por He et al. (2015) implicou em entender as alterações fenológicas da vegetação de altitude, ou seja, a distribuição dos tipos de vegetação arbustivos montanhosas em resposta à mudanças de temperatura numa região montanhosa da China e, a partir dessas observações, entender as restrições climáticas no tempo de folhagem e foliação, além das alterações espaciais desse tipo de vegetação e projetar padrões fenológicos em diferentes cenários futuros, quando possa ocorrer mudanças climáticas mais acentuadas. O trabalho vale-se de uma ferramenta comumente utilizada para realizar este tipo de observação, que é o índice de vegetação, geralmente usa-se o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que possui mais aplicabilidade sobre a vegetação e é um índice atraente devido a sua capacidade de delinear rapidamente a vegetação e o estresse vegetativo, o que tem grande apelo em trabalhos ambientais e em estudos de uso da terra. Essa técnica foi rapidamente reconhecida na comunidade científica no início dos anos 1970 e todos os dados de sensoriamento remoto de satélite de observação da Terra foram equipados para produzir este índice em diferentes resoluções espaciais e temporais (HUANG, et al., 2020).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), usado na pesquisa de He et al. (2015), foi utilizado para relacionar as alterações da escala de NDVI e entender a dinâmica da vegetação de altitude em relação à temperatura. Já as pesquisas desenvolvidas por Li et al. (2014), Shen et al (2015) e Zhang et al. (2007) buscaram entender também as dinâmicas da vegetação de altitude da região do Planalto Tibetano, na China e relacionaram alguns índices de vegetação para visualização da distribuição espaço-temporal desses índices, entre eles o índice de vegetação NDVI, com as variáveis de temperatura e precipitação ao longo de uma série temporal para determinar se o clima é ou não o motor dominante da mudança na vegetação de altitude e, em caso afirmativo, quais são as variáveis climáticas específicas que são mais eficazes para prever a mudança na distribuição da vegetação de altitude. Sun et al. (2006) e Zhou et al. (2009) aplicaram o índice de vegetação NDVI ao longo de uma região montanhosa da China com presença de vegetação de altitude e relacionaram as variações espaciais do NDVI ao longo de uma série histórica com variáveis climáticas para entender se havia alguma conexão entre as diferenças espaciais e temporais do índice com as flutuações das variáveis climáticas.

Também foram realizadas outras relações do uso do NDVI na busca de resultados que relacionassem as variações da vegetação de altitude às alterações

climáticas. A pesquisa desenvolvida por Huang et al. (2018) visou monitorar se a distribuição de vegetação de altitude aumentou em altitude no planalto tibetano e para tanto utilizou-se de uma análise de NDVI e cálculos de biomassa vegetal, dimensionando a distribuição vegetal no perfil altimétrico do planalto tibetano, na China, ao longo de uma série temporal, para tentar entender se há alguma relação com fatores externos, como por exemplo, as variações climáticas. Há pesquisas na literatura que se utilizam de técnicas de medição de biomassa vegetal através de índices de vegetação, como é o caso do NDVI, pois há fortes relações exponenciais entre NDVI e biomassa, NDVI e LAI (*Leaf Area Index*), que sugerem que o NDVI satura para valores mais altos de biomassa (HUETE et al., 2002; SANTIN-JANIN et al., 2009; WALKER et al., 2005; BOELMAN et al., 2003). Portanto, trabalhos que se utilizam de cálculos de NDVI na estimativa de biomassa vegetal são importantes no sentido de visualizar se uma determinada vegetação sofreu redução espacial numa determinada área, e a biomassa é um forte indicador, uma vez que alterações de biomassa sugerem que houve substituição de uma vegetação menor por outro maior ou vice-versa (HUANG et al., 2018).

Outro trabalho interessante foi desenvolvido por Gao et al. (2009), que utilizou índices de vegetação e analisou a produtividade primária líquida da vegetação de altitude no planalto tibetano e a sua dinâmica em resposta às mudanças climáticas. Essa análise da produtividade foi realizada dentro de uma série histórica (1981 a 2004) e, para tanto, utilizou-se do NDVI para aplicar uma fórmula da estimativa da produção primária líquida (NPP, *Net Primary Productivity*) para depois correlacionar a NPP com elementos climáticos de temperatura, precipitação, radiação solar e visualizar se há uma relação da variação de NPP com as flutuações dos dados climáticos. Esse trabalho de análise da produção primária líquida da vegetação de altitude é extremamente importante em estudos de mudanças ambientais em níveis globais, no que diz respeito à identificação dos impactos das mudanças climáticas na produção primária líquida da vegetação de altitude, e há trabalhos de pesquisas anteriores que estudaram a relação entre as mudanças climáticas e a dinâmica da produção primária líquida da vegetação em escalas global e regional (GAO et al., 2009; MELILLO et al., 1993; KNAPP & SMITH, 2001; FANG et al., 2001; NEMANI et al., 2003), e com isso entender melhor o comportamento da variação espacial da vegetação em resposta à variações exógenas (GAO et al., 2009).

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo apresentaram-se as tendências globais de pesquisas e redes acadêmicas sobre monitoramento das alterações espaço-temporal da vegetação de altitude em resposta às mudanças climáticas, por meio do sensoriamento remoto, cobrindo o período de 1945 a 2020.

No geral, os resultados bibliométricos deste estudo forneceram uma avaliação quantitativa do desenvolvimento da pesquisa no campo do monitoramento das mudanças espaço-temporal de vegetação de altitude usando sensoriamento remoto. Os resultados são um resumo das publicações em grande parte por acadêmicos chineses. Além de enriquecer o entendimento sobre o desenvolvimento histórico, *status* atual e tendência destas pesquisas, na China e no mundo todo, este estudo verificou o esforço colaborativo entre acadêmicos chineses de uma ampla gama de organizações no monitoramento de mudanças climáticas e seus efeitos sobre a flora de altitude. Além disso, os resultados deste estudo podem auxiliar estudantes e pesquisadores nas suas pesquisas e projetos, assim como a se envolver em esforços conjuntos de pesquisa em campos relacionados.

A análise demonstrou ainda que o número de publicações relacionadas ao tema desta pesquisa ainda é muito pequeno e restrito a poucos países e a tipos de vegetação específicas de determinadas áreas montanhosas. A maioria das pesquisas foram desenvolvidas por pesquisadores chineses, sendo que a área mais estudada, nesse campo de pesquisa, foi o planalto tibetano na China. Isso indica que há escassez de estudos em outras regiões e países com diferentes tipos de vegetação e fatores climáticos regionais diferentes, o que torna necessário haver pesquisas em outros locais com condições diferentes, no que tange ao tipo de vegetação de altitude e aos fatores climáticos, na busca por fornecer informações precisas e oportunas sobre as alterações espaço-temporal da vegetação de altitude que é um tipo de vegetação sensível às mudanças climáticas, sendo uma ótima forma de buscar levantar informações quanto aos efeitos das alterações do clima na flora regional.

Além do mais, este estudo verificou que não há estudos publicados desenvolvidos no Brasil no que se refere ao monitoramento das alterações espaço-temporal do Campo de Altitude (vegetação de altitude regional) presente no Pantanal, este que é um importante *hotspot* mundial e por conta de que as áreas úmidas estão entre os ecossistemas mais frágeis e ameaçados da Terra, pois estão sujeitas ao impacto das atividades humanas e, mudanças climáticas poderiam ter graves impactos na hidrologia

do Pantanal (IORIS et al., 2014; JUNK et al., 2006), acarretando em graves consequências socioecológicas (BERGIER, 2013). Também, mudanças nas condições climáticas na região podem causar perturbações significativas no funcionamento do ecossistema, principalmente por alterar as taxas de precipitação e evapotranspiração que, por sua vez, podem afetar o regime de fluxo do rio e a dinâmica de inundação da planície de inundação. Os impactos das mudanças climáticas podem até mesmo ampliar e agravar consequências indesejáveis de algumas intervenções humanas nas condições hidrológicas da bacia (BRAVO et al., 2014; JUNK et al., 2006).

Portanto, torna-se importante estudos que visem monitorar as condições climáticas no Pantanal, pois o Pantanal tem importância como sistema hidrológico de amortecimento para áreas da jusante, regulador climático regional, valiosa área de retenção e purificação de água e centro de manutenção da biodiversidade (JUNK et al., 2006). Apesar de enfrentar as implicações atuais na legislação ambiental brasileira, é preciso dar atenção a este bioma sensível, e que as políticas dos tomadores de decisão levam em consideração a importância do Pantanal para o mundo. Visando a importância do desenvolvimento de estudos no monitoramento da dinâmica da vegetação Campo de Altitude no Pantanal, estudos são necessários visando compreender as dinâmicas espaço-temporal do Campo de Altitude presente no Pantanal que possam fornecer respostas do atual cenário ambiental desse importante *hotspot*.

2.5 REFERÊNCIAS

BLUDEN, J.; ARNDT, D. S. State of the Climate in 2017. **Bull. Am. Meteorol. Soc**., v. 99, p. 332, 2018.

BAI, Y. et al. Climate warming benefits alpine vegetation growth in Three-River Headwater Region, China. **Science of the Total Environment**, v. 742, p. 140574, 2020.

BAIER-FUENTES, H. et al. International entrepreneurship: A bibliometric overview. **Int. Entrep. Manag**. J., v. 15, p. 385-429, 2019.

BOELMAN, N. T. et al. Response of NDVI biomass and ecosystem gas exchange to long-term warming and fertilization in wet sedge tundra. **Oecologia**, v. 135, p. 414-421, 2003.

BERGIER, I. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Sci**

Total Environ, 463-464, p. 1060−1066, 2013.

BRAVO, J. M. et al. (2014). Impact of projected climate change on hydrologic regime of the Upper Paraguay River basin. **Clim Change**, v. 127, p. 27-41.

CANVA. (2020). Disponível em: https://www.canva.com/pt_br/. Acessado em: 16 de setembro de 2020.

CHAVES, J. R. (2020). **Sintaxe Espacial e Mobilidade na Paisagem Urbana como ferramenta para gestão**. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade de Mato Grosso do Sul, Campo Grande. 2020. 125p.

CHIU, W. T; HO, Y. S. Bibliometric analysis of homeopathy research during the period of 1991 to 2003. **Scientometrics**, v. 63, p. 3–23, 2005.

CORREA-DÍAZ, A. et al. Long-Term Wood Micro-Density Variation in Alpine Forests at Central México and Their Spatial Links with Remotely Sensed Information. **Forests**, v. 11, p. 452, 2020.

DONG, D.; CHEN, M. L. Publication trends and co-citation mapping of translation studies between 2000 and 2015. **Scientometrics**, v. 105, p. 1111-1128, 2015.

ENGELS, A. Understanding how China is championing climate change mitigation. **PALGRAVE COMMUNICATIONS**, v. 4, n. 101, p. 1-6, 2018.

FANG, J. et al. Inter-annual variability in net primary production and precipitation. **Science**, v. 293, p. 1723a, 2001.

GAO, Q. et al. Dynamics of alpine grassland NPP and its response to climate change in Northern Tibet. **Climate Change**, v. 97, p. 515-528, 2009.

HAUNSCHILD, R.; BORNMANN, L.; Marx, W. Climate Change Research in View of Bibliometrics. **PLoS ONE**, v. 11, n. 7, p. e0160393, 2016.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.

HUANG, N. et al. No upward shift of alpine grassland distribution on the Qinghai-Tibetan Plateau despite rapid climate warming from 2000 to 2014. **Science of the Total Environment**, v. 625, p. 1361-1368, 2018.

HUANG, S. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index

(NDVI) in the era of popular remote sensing. **J. For. Res**., v. 32, p. 1-6, 2020.

HERRERA-FRANCO, G.; et al. Research Trends in Geotourism: A Bibliometric Analysis Using the Scopus Database. **Geosciences**, v. 10, n. 379, p. 1-29, 2020.

HE, Z. B. et al. Assessing temperature sensitivity of subalpine shrub phenology in semi-arid mountain regions of China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 213, p. 42-52, 2015.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of the National academy of Sciences**, v. 102, n. 46, p. 16569-16572, 2005.

IORIS, A. A. R.; Irigaray, C. T.; Girard, P. Institutional responses to climate change: opportunities and barriers for adaptation in the Pantanal and the Upper Paraguay River Basin. **Clim Change**, v. 127, p. 139-151, 2014.

JEONG, S. J. et al. Phenology shifts at start vs. end of growing season in temperate vegetation over the Northern Hemisphere for the period 1982–2008. **Glob. Chang. Biol**. v. 17, p. 2385–2399, 2011.

JUNK, W. J. et al. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquat. Sci**., 68, p. 278–309, 2006.

KNAPP, A. K.; SMITH, M. D. Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. **Science**, v. 291, p. 481-484, 2001.

LI, A. H. F. Hopes of Limiting Global Warming? China and the Paris Agreement on Climate Change. **China Perspectives**, v. 1, p. 49-54, 2016.

LI, C. B. et al. Regional vegetation dynamics and its response to climate change-a case study in the Tao River Basin in Northwestern China. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 12, p. 12, 2014.

LI, W & XU, J. Typical alpine wetland landscape changes in eastern Tibetan Plateau under climate change over 15 years. **In**: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Munich, Germany, pp. 4907-4910, 2012. doi: 10.1109/IGARSS.2012.6352512.

MA, X. et al. Sensitivity of Vegetation on Alpine and Subalpine Timberline in Qinling Mountains to Temperature Change. **Forests**, v. 10, p. 1105, 2019.

MELILLO, J. M. et al. Global climate change and terrestrial net primary production. **Nature**, v. 363, p. 234-240, 1993.

NEMANI, R. R. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, p. 1560-1563, 2003.

PEPIN, N. et al. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. **Nat. Clim. Chang**., v. 5, p. 424–430, 2015.

POULIOT, D. et al. Trends in vegetation NDVI from 1 km AVHRR data over Canada for the period 1985–2006. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 1, p. 149-168, 2009.

SANTIN-JANIN, H. et al. Assessing the performance of NDVI as a proxy for plant biomassusing non-linear models: a case study on the Kerguelenarchipelago. **Polar Biol**., v. 32, p. 861-871, 2009.

SHEN, M. G. et al. Plant phenological responses to climate change on the Tibetan Plateau: research status and challenges. **National Science Review**, v. 2, n. 4, p. 454-467, 2015.

SUN, J. et al. Impact of climate change in the Hengduan Mountains of northwestern Yunnan, P. R. China: Vegetation distribution change in foretime and future. **Proc. of SPIE**, v. 6296, p.62960X-1, 2006.

TAO, J. et al. Elevation-dependent effects of climate change on vegetation greenness in the high mountains of southwest China during 1982–2013. **Int. J. Climatol**., v. 38, p. 2029–2038, 2018.

TAN, J. et al. (2014). A bibliometric analysis of research on proteomics in Science Citation Index Expanded. **Scientometrics**., v. 98, p. 1473–1490, 2014.

TAI, T. C.; JAMES, P. W. R. Enhancing Climate Change Research With Open Science. **Front. Environ. Sci**., v. 6, n. 115, p. 1-5, 2018.

THE ENDNOTE TEAM. (2013). EndNote. Clarivate. Version X9. Available from https://endnote.com/

VAN ECK, N. J.; WALTAMN, L. VOSViewer: Visualizing Scientific Landscapes [Software]. Available from https://www.vosviewer.com. 2010.

WANG, X. et al. Alpine Cold Vegetation Response to Climate Change in the Western

Nyainqentanglha Range in 1972–2009. **The Scientific World Journal**, p. 1-9, 2014.

WANG, L. et al. Bibliometric Analysis of Remote Sensing Research Trend in Crop Growth Monitoring: A Case Study in China. **Remote Sens**., v. 11, p. 809, 2019.

WALKER, D. A. et al. The Circumpolar Arctic vegetation map. **Journal of Vegetation Science**, v. 5, n. 16, p. 267-282, 2005.

XI, Z. China' s historical evolution of environmental protection along with the forty years' reform and opening-up. **Environmental Science and Ecotechnology**, v. 1, p. 100001, 2020.

XIE, S. P. Ocean warming pattern effect on global and regional climate change. **AGU Advances**, v. 1, n. e2019AV000130, 2020. https://doi.org/10.1029/2019AV000130

ZHANG, R. et al. Grassland vegetation phenological variations and responses to climate change in the Xinjiang region, China. **Quaternary International**, v. 513, p. 56–65, 2019.

ZHANG, L. et al. A review of ecosystem services: a bibliometric analysis based on web of science. **Acta Ecologica Sinica**., v. 36, p. 5967–5977, 2016.

ZHANG, X. et al. Bibliometric analysis of highly cited articles on ecosystem services. **PLoS ONE**, v. 14, n. 2, p. e0210707, 2019.

ZHANG, J. et al. Comparing keywords plus of WOS and author key-words: A case study of patient adherence research. **J Assoc Inf Sci Technol**., v. 67, p. 967–972, 2016.

ZHANG, J. et al. Evaluation of Grassland Dynamics in the Northern-Tibet Plateau of China Using Remote Sensing and Climate Data. **Sensors**, v. 7, p. 3312-3328, 2007.

ZHOU, L. H. et al. Response of Vegetation Coverage on Climate Change in Arid Mountain of Northwest China. **In**: Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vols 1-5. New York, Ieee: 1871, 2009.

ZHOU, H. K.; YAO, B. Q.; XU, W. X.; YE, X.; FU, J. J.; JIN, Y. X. & ZHAO, X. Q. Field evidence for earlier leaf-out dates in alpine grassland on the eastern Tibetan Plateau from 1990 to 2006. **Biol. Lett**., 102014029120140291, 2014.

TERCEIRO CAPÍTULO: PERDA DE HABITATS NATURAIS: CAMPOS DE ALTITUDE, PANTANAL

Resumo

O objetivo foi quantificar a variação espaço-temporal da vegetação Campos de Altitude em duas diferentes áreas de análise entre os anos de 1985 e 2020. Primeiro foi realizada a classificação dos tipos de vegetação presentes nas duas áreas, por meio de uma composição falsa-cor RGB (Red, Green, Blue) substituindo os canais respectivamente pelos MIR-NIR-R (Middle Infrared, Near Infrared, Red). Após definir as classes de vegetação e criar polígonos sobre elas, foram sobrepostas ao produto NDVI (1985 e 2020), visando obter os valores máximos e mínimos do índice e identificar em quais faixas de valores estariam cada classe. Na sequência realizou-se uma composição falsa-cor multitemporal com a modificação do canal Red pelo produto NDVI 1985, canal Green pelo produto NDVI 2020 e o canal Blue sem nenhuma alteração. Os resultados demonstram que a área total dos Campos de Altitude diminuiu entre 1985 e 2020 nas duas áreas de estudo, sendo que na área 1 sofreu uma redução de 31,93% e na área 2 uma redução de 35,12%, enquanto que a vegetação de estrato mais denso (arbórea) ocorreu absolutamente o oposto, aumentou em sua distribuição espacial para ambas as áreas de estudo, sendo mais significativo o ganho na área 2 (230%). Houve um aumento perceptível de vegetação arbórea nas duas áreas de estudo durante os anos analisados. A tendência de aumento da fração da cobertura da vegetação arbórea está em consonância com a diminuição da vegetação Campos de Altitude e, esse fenômeno, pode ter relação com fatores ambientais, tais como variações na temperatura, quantidade de chuvas, radiação solar e composição do solo.

Palavras-chave: Composição multitemporal; Sensoriamento remoto; Vegetação montanhosa; Espaço-temporal; Índice de vegetação.

THIRD CHAPTER: LOSS OF NATURAL HABITATS: HIGH-ALTITUDE VEGETATION, PANTANAL

Abstract

The objective of this study is to quantify the spatiotemporal variation of high-altitude grassland (Campos de Altitude) in two different study areas between 1985 and 2020. First,

the types of vegetation present in both areas were classified using a false-color (Red, Green, Blue) composition, with the channels replaced by mid-infrared, near-infrared, red, respectively. Following the definition of vegetation classes and the creation of polygons over them, they were superimposed on the NDVI product (1985 and 2020) to obtain the maximum and minimum values of the index and to identify which value ranges each class would be in. Next, a multitemporal false-color composition was carried out with the modification of the Red channel by the NDVI 1985 product, the Green channel by the NDVI 2020 product and the Blue channel without any changes. The results show that the total area of Campos de Altitude decreased between 1985 and 2020 in both study areas, with area 1 losing 31.93% and area 2 losing 35.12%, whereas the vegetation of denser strata (arboreal) increased in its spatial distribution in both study areas, with area 2 gaining the most (230%). There was a noticeable increase in arboreal vegetation in the two study areas during the years analyzed. The tendency for the fraction of arboreal vegetation cover to increase is in line with the decrease in Campos de Altitude vegetation, and this phenomenon may be related to environmental factors such as temperature variations, amount of rainfall, solar radiation, and soil composition.
Keywords: Multi-temporal composition; Remote sensing; Mountainous vegetation; Spatiotemporal; Vegetation index.

3.1 INTRODUÇÃO

A vegetação nativa exerce um papel fundamental nos ecossistemas terrestres, afetando a cobertura da terra, a provisão de serviços ecossistêmicos como a disponibilidade e qualidade da água, o armazenamento e sequestro de carbono, contribuindo para a regulação do clima, o controle da erosão e sedimentação, além da manutenção da biodiversidade (NEWBOLD, 2018; JEONG et al., 2011). No entanto, a vegetação nativa de todos os ecossistemas tem passado por grandes alterações, sobretudo devido a mudanças no uso do solo e mudanças climáticas. As mudanças no uso do solo, com conversões de áreas naturais pela necessidade de fornecer alimentos, fibras, água e abrigo para a população são os grandes motores de perda de vegetação nativa (FOLEY et al., 2005). As mudanças climáticas também podem alterar o padrão de distribuição e crescimento da vegetação através da precipitação, temperatura e radiação, que podem alterar a energia e a água disponíveis, que são fundamentais para o crescimento das plantas, impactando no processo de acumulação de carbono, no processo do ciclo da água

e na decomposição e conversão do carbono orgânico do (LINSCHEID et al., 2020; TAI et al., 2020; PAN et al., 2018).

Numerosos estudos em diferentes regiões, como por exemplo o Planalto Tibetano, mostraram que as mudanças na vegetação demonstram heterogeneidade espacial e temporal, e que os impactos de mudanças climáticas na vegetação refletem na sua variação espacial e temporal (TAI et al., 2020; ZHANG et al., 2019). Explorar o padrão espacial e temporal da vegetação e discutir o papel motriz dos fatores climáticos têm sido um dos principais conteúdo da pesquisa atual de mudanças globais, tendo importante significado teórico e prático para avaliar a qualidade dos ecossistemas terrestres e regular os processos ecológicos de vegetação (TAI et al., 2020; WAMELINK et al., 2018; MU et al., 2020).

A alteração na distribuição espacial e temporal da vegetação é um importante indicador das respostas dinâmicas dos ecossistemas às mudanças climáticas (ZHANG et al., 2019; JEONG et al., 2011), portanto, pesquisas sobre a distribuição espaço-temporal da vegetação não só pode melhorar a compreensão das respostas da vegetação quanto às mudanças climáticas, mas também tem um significado importante para aumentar a precisão das simulações de troca de matéria-energia entre o clima e a vegetação (POULIOT et al., 2009; ZHANG et al., 2019).

O mapeamento da distribuição e composição da vegetação é uma prática básica para avaliações em larga escala da dinâmica dos ecossistemas e a sua resposta quanto às mudanças climáticas. Dado a dinâmica significativa da água, os tipos complexos de cobertura e as vastas dimensões do sistema, os levantamentos de campo tradicionais são frequentemente limitados por conta de não proporcionarem dados de cobertura espacial e temporal (HAN et al., 2015; MU et al., 2020). Por conta disso, vários métodos foram desenvolvidos para obter a distribuição espaço-temporal da vegetação usando imagens de sensoriamento remoto, sendo que os primeiros trabalhos usaram interpretação visual para discriminar e mapear tipos de cobertura por meio de composições de cores verdadeiras ou cores falsas (JOHNSTON & BARSON, 1993).

Com o tempo, o desenvolvimento de modelos baseados em regras melhorou amplamente a precisão da classificação (MU et al., 2020; HU et al., 2015; CHEN et al., 2018), como por exemplo, os algoritmos de aprendizado de máquina supervisionados, conhecidos como classificação supervisionada, tem sido amplamente empregados na discriminação das diferentes fenologias vegetais (BERBEROGLU et al., 2004; HAN et al., 2015; DRONOVA et al., 2012). Outra técnica que vem sendo empregada na análise

espaço-temporal da vegetação é a classificação multitemporal, a mesma utilizada no trabalho de Peres et al. (2016) que, por meio de técnicas de composição falsa-cor das bandas espectrais RGB de dados de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), conseguiram gerar informações de áreas que sofreram redução de fitomassa, que tendem para o vermelho, assim como aquelas que tiveram aumento, que aparecem na cor verde, e as áreas sem modificações na cobertura vegetal, que são visualizadas em amarelo.

O Pantanal é a maior planície tropical alagável do mundo, mas em meio à planície pantaneira ocorrem alguns Morrarias isolados, como o de Urucum, com 1.160 metros de altitude, próximo à cidade de Corumbá, e a Serra do Amolar. O bioma é o mais preservado do Brasil, com mais de 85% de vegetação nativa (SOS PANTANAL et al. 2017), no entanto, depende das atividades que são realizadas no planalto da Bacia do Alto Paraguai, que passa por uma rápida conversão do uso do solo (ROQUE et al. 2016; GUERRA et al. 2020). A região também sofre com as severas secas causadas pelas mudanças climáticas, que afetam o regime hídrico do bioma (MARENGO et al. 2021).

A Serra do Amolar e a Morraria do Urucum possuem uma cobertura vegetal típica de altitudes, o Campo de Altitude, que desempenha um papel importante no ambiente ecológico regional. O gradiente de elevação na Serra do Amolar leva a claras características de distribuição vertical do clima e da vegetação. O objetivo deste estudo é quantificar a variação espaço-temporal da vegetação presente nessas duas áreas de análise entre os anos de 1985 e 2020, o que pode fornecer evidências de variação da vegetação que podem estar atreladas a fatores ambientais ou antrópicos e, a partir dessa análise, se possa levantar prerrogativas do que levou essa vegetação a sofrer essa modificação ao longo dos anos de análise.

3.2 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende duas áreas amostrais, a saber, Serra do Amolar e Morraria do Urucum, ambas inseridas no Pantanal Sul-mato-grossense, no município de Corumbá-MS (Figura 3.1).

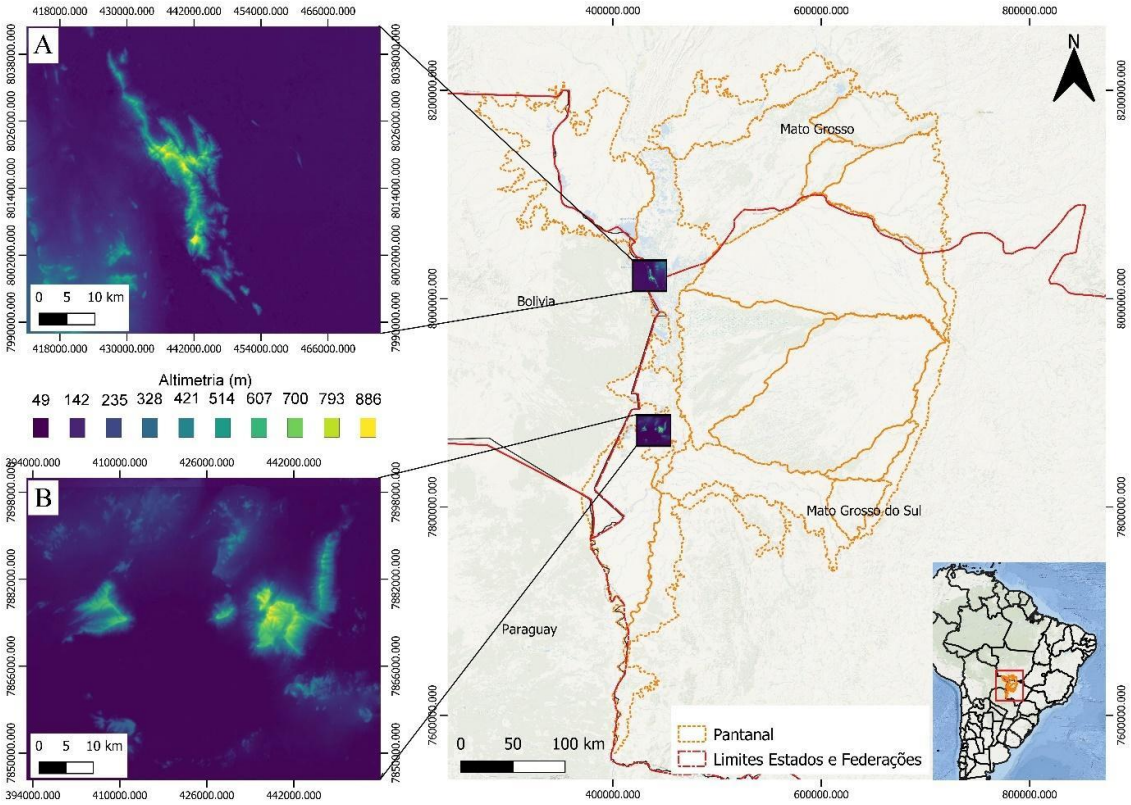

Figura 3.1. Localização das duas áreas de estudo, em a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal. Fonte: Dados vetoriais do Pantanal: Mioto (2016). Dados vetoriais de Estados e municípios: IBGE (2021). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S. Dados de imagens de elevação: TOPODATA (2021).

A Serra do Amolar está localizada na sub-região do Pantanal denominada Paraguai (SILVA & ABDON, 1998; MIOTO et al., 2012), devido ao Rio Paraguai que margeia a Serra, possuindo características peculiares da região por ser uma área de fronteira com o Chaco boliviano e por sua presença de grandes baías permanentemente inundadas (LARCHER et al., 2017; JUNK et al., 2006), constituindo uma composição entre a planície do Pantanal e a Serra do Amolar, representando um dos maiores ativos de diversidade biológica do Brasil (IHP, 2012). Está localizada a 180 km do município de Corumbá e possui uma extensão de aproximadamente 40 km ao longo da fronteira entre Brasil e Bolívia (LARCHER et al., 2017), com formações geológicas pré-cambrianas, que exercem controle geológico sobre o fluxo de água do Pantanal (SOUZA & SOUZA, 2010). A Serra do Amolar tem o ponto mais alto com cerca de 1.000 metros de altitude, e nesta área a vegetação é formada principalmente por ecossistemas de várzea até Campos de Altitude que, juntos, formam um corredor biológico e geográfico

potencialmente importante (ECOTROPICA, 2003, LARCHER et al., 2017).

O Morraria do Urucum está localizado próximo à área urbana de Corumbá, formado por morros residuais localizados na borda sudoeste do Pantanal, possuindo os pontos mais altos do estado do Mato Grosso do Sul, com altitudes superiores 1.000 metros (URBANETZ et al., 2012). As serras são circundadas pela várzea do Pantanal, região de contato de diferentes províncias fitogeográficas, como Amazônia, Cerrado, Chaco e Florestas Austrais, além de serem de especial interesse para a conservação, com espécies endêmicas como *Aspilia grazielae* nos campos de altitude e *Gomphrena centrota* nos bancos lateríticos (POTT et al., 2000, 2011; URBANETZ et al., 2012).

Vale ressaltar que no Morraria do Urucum há atividade de mineração, pois possui grande reserva de minério de ferro e manganês. Essas atividades vêm modificando a paisagem da morraria, colocando em risco a comunidade vegetal e a estabilidade do terreno.

3.2 Imagens Landsat 8, Landsat 5 e período de análise

Neste estudo foram utilizadas imagens Landsat 8 (LANDSAT 2020a, 2020b) e Landsat 5 (LANDSAT 1985a, 1985b), extensão .TIF, ambas projetadas no Sistema de Projeção Geográfica UTM SIRGAS 2000, obtido gratuitamente no site https://espa.cr.usgs.gov/index/. (US Department of the Interior US Geological Survey), que fornece todas as bandas espectrais, bem como índices de vegetação pré-calculados. Ambas as imagens receberam correção e tratamentos radiométricos para melhor aproveitamento e padronização das imagens, pois estamos trabalhando com sensores diferentes (OLI e TM) o que resulta em pequenas diferenças nas informações espectrais das imagens. Apenas o índice de vegetação NDVI foi obtido para este estudo, juntamente com os demais produtos. Aqui, os anos de análise são de 1985 a 2020, e as datas das imagens selecionadas foram 12 de setembro de 1985 para a Morraria do Urucum, 27 de agosto de 1985 para a Serra do Amolar e 28 de setembro de 2020 para ambas as áreas. As datas da imagem correspondem à estação seca do Pantanal, quando há um maior contraste entre as fitofisionomias e uma menor superfície de água (PERES et al., 2016).

3.3 Classificação dos tipos de vegetação

Para identificar os tipos de vegetação na área de análise, realizou-se uma composição falsa-cor RGB (Red, Green, Blue) no QGIS 3.10 (QGIS Development Team, 2021), substituindo os canais Red por MIR (infravermelho médio), Green por NIR

(infravermelho próximo) e Blue por R (vermelho) (Figura 3.2). Na Tabela 3.1 está descrito quais bandas foram utilizadas e seus respectivos canais para cada satélite utilizado.

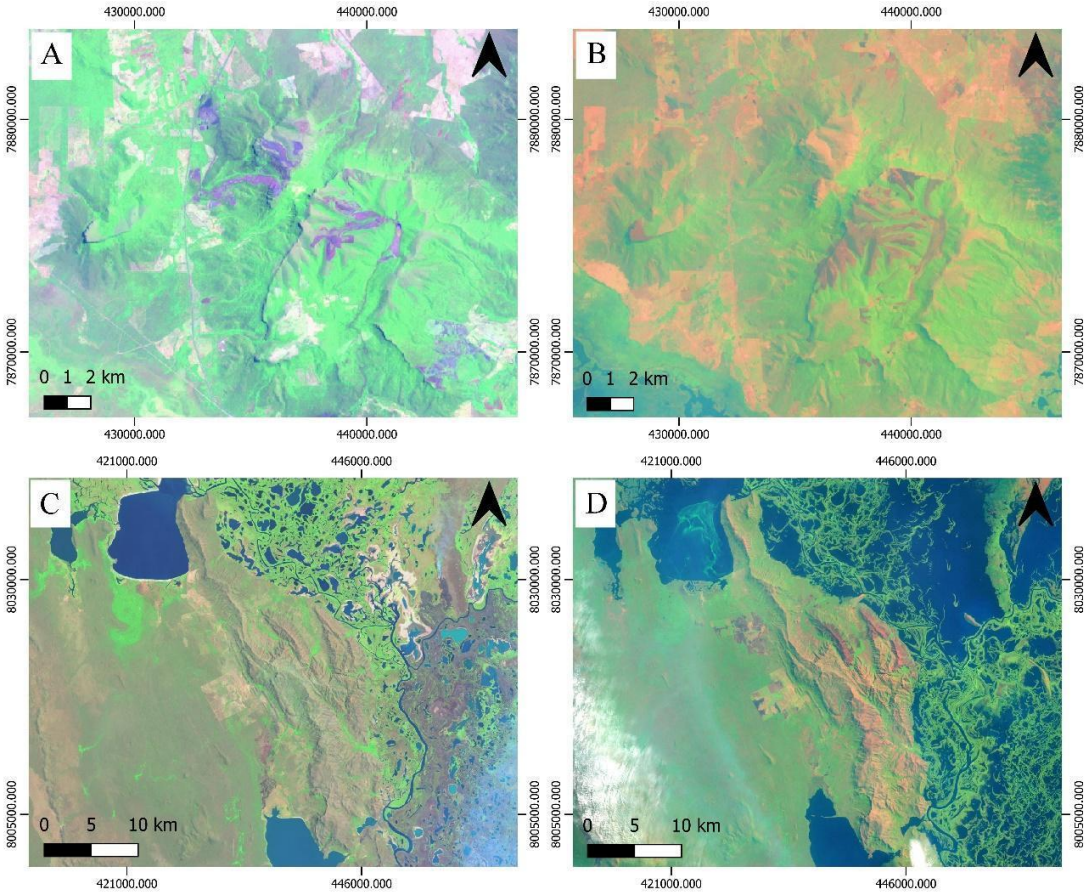

Figura 3.1. Composição falsa-cor R-G-B modificada para as bandas MIR-NIR-R, para as duas áreas de análise e nos dois anos de estudo (2020-1985). Em A cena de 2020 (28/09/2020) e em B cena de 1985 (27/08/1985), para a Morraria do Urucum; em C cena de 2020 e em D cena de 1985, para a Serra do Amolar. Todas as imagens foram obtidas no período de estiagem do Pantanal. As diferenças de volume de água entre as imagens C e D é devido a uma seca muito severa no Pantanal no ano de 2020. Imagens Landsat 8, (U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2020).

Tabela 3.1. Informações das bandas espectrais usadas e os seus respectivos canais para cada um dos satélites usados na análise.

Satélite	Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial
Landsat 5	TM (Thematic Mapper)	Vermelho (B3)	0.63 - 069 µm	30 m
		Infravermelho Próximo (B4)	0.76 - 0.90 µm	
		Infravermelho Médio (B5)	1.55 - 1.75 µm	
Landsat 8	OLI (*Operational Land Imager*)	Vermelho (B4)	0.630 - 0.680 µm	30 m
		Infravermelho Próximo (B5)	0.845 - 0.885 µm	
		Infravermelho Médio (B6)	1.560 - 1.660 µm	

Fonte: adaptado de EMBRAPA (2021).

Essa mesma composição foi realizada por um estudo no Pantanal desenvolvido por Peres et al. (2016) que a partir dessa mesma composição RGB modificada citada no parágrafo acima, diferenciaram as classes de arbórea/arbustiva e de vegetação rasteira. Portanto, optamos por usá-la neste estudo, uma vez que se pretende diferenciar as mesmas classes para proceder às análises.

Após a realização do procedimento de composição, foi possível identificar as áreas com vegetação de porte arbóreo, as de áreas com vegetação de porte gramíneo (Campo de Altitude) e as áreas com solo exposto, para as duas áreas de estudo (Figura 3.3).

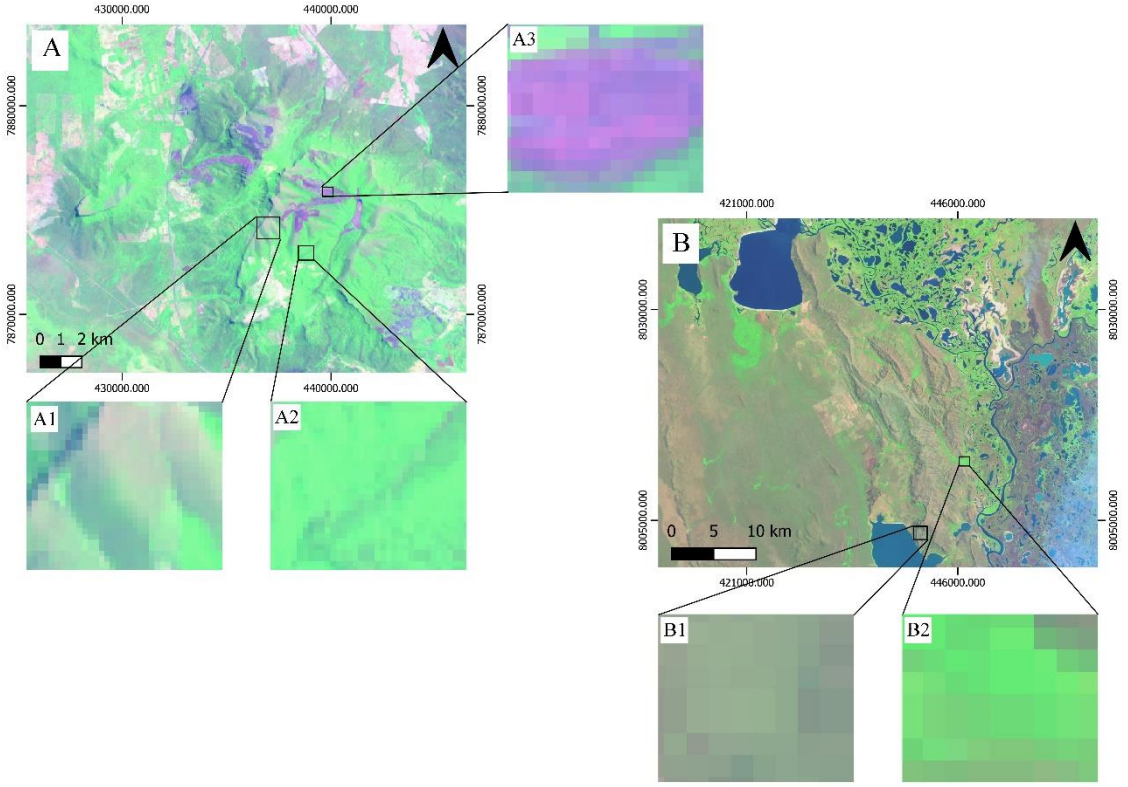

Figura 3.3. Identificação das classes de vegetação nas duas áreas de análise. Em A Morraria do Urucum; A1 gramínea (Campo de Altitude), A2 vegetação arbórea/arbustiva, A3 área com solo exposto (importante mencionar essas áreas para não confundir com vegetação). Em B Serra do Amolar; B1 gramínea (Campo de Altitude), B2 vegetação arbórea/arbustiva. Imagens Landsat 8, (U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2020).

Com as classes de vegetação definidas, foram realizados recortes de áreas amostrais (Figura 3.4) das classes de vegetação gramínea (Campo de Altitude), arbórea e solo exposto, com o auxílio da ferramenta polígono do QGIS 3.10, para serem sobrepostas ao produto NDVI (1985 e 2020). O objetivo foi obter os valores máximos e mínimos do índice e identificar em quais faixas de valores estaria cada classe. Embora numericamente os valores de NDVI possam variar entre -1 e 1, nos produtos prontos baixados do Landsat 5 e 8, os valores são distribuídos com um fator multiplicador igual a 20.000 para Landsat 5 e 10.000 para Landsat 8. Tais valores foram assim utilizados no presente trabalho de modo a facilitar a visualização e discussão dos resultados. Os valores mínimos e máximos de NDVI estão descritos na Tabela 3.2.

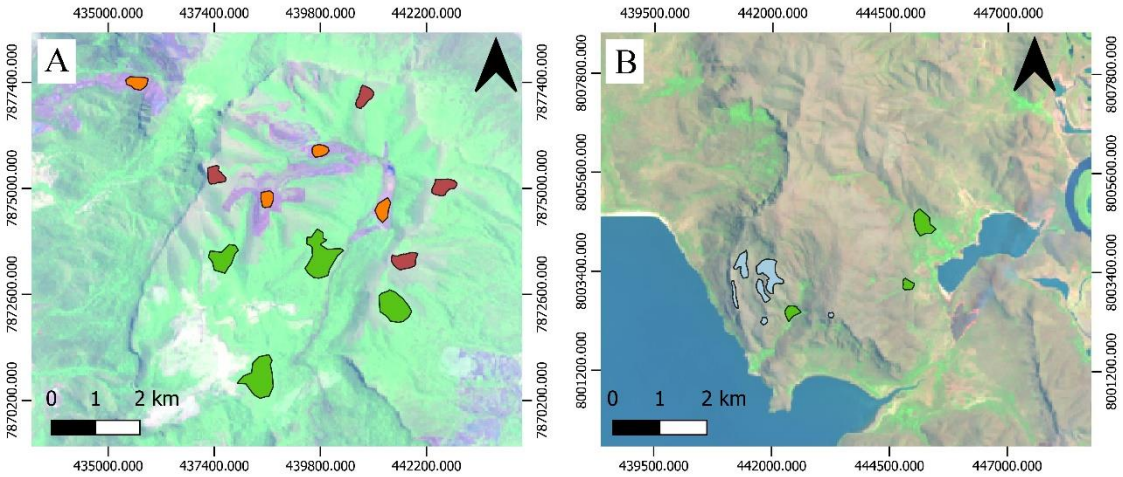

Figura 3.4. Áreas amostrais recortadas para definir as classes de vegetação. Em A Campo de Altitude (polígonos vermelhos), solo exposto (polígonos laranjas), e vegetação arbórea (polígonos verdes) na área de estudo Morraria do Urucum; Em B Campo de Altitude (polígonos cinza) e vegetação arbórea (polígonos verdes) na área de estudo Serra do Amolar. Imagens Landsat 8, (U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2020).

Tabela 3.2. Informações das escalas de valores mínimos e máximos dos produtos NDVI das imagens Landsat 5 e Landsat 8.

Área	Imagem	Ano	Valor mínimo	Valor máximo
Morraria do Urucum	Landsat 5	1985	-10000	20000
	Landsat 8	2020	-4360	10000
Serra do Amolar	Landsat 5	1985	-3486	20000
	Landsat 8	2020	-5250	10000

Na Morraria do Urucum destaca-se a presença de solo exposto devido às atividades de mineração. Essa atividade de mineração está presente na morraria desde meados da década de 70 pela empresa Urucum Mineração, que foi adquirida posteriormente pela CVRD (BRITO, 2011). Por conta disso, a classe de solo exposto também foi mensurada para que, posteriormente, fosse feita a subtração do total da área da classe mensurada no NDVI de 1985 (áreas onde não havia ainda mineração) com o NDVI de 2020 (áreas com solo exposto sem vegetação pós mineração), para não superestimar a classe naqueles locais. Feita a identificação dos valores máximos e mínimos de NDVI para as classes analisadas, o produto NDVI foi reclassificado no QGIS 3.10 com o auxílio da ferramenta r.recode para os intervalos definidos, gerando um produto de pixels agrupados. Depois foi convertido de raster para polígono para calcular

as áreas (em hectare) de cada classe, com o uso da calculadora de campo. Com isso, foi possível realizar a quantificação, em área, desses pixels. Como esse processo foi realizado para os dois produtos NDVI, de ambos os anos de análise (1985 e 2020), foi possível calcular a diferença da cobertura, em área, das classes, para constatação de variações entre esses anos.

A Morraria do Urucum também apresenta áreas de pastagem que foram classificadas a parte por meio da seleção manual por polígono, pois os valores de NDVI são similares aos valores de NDVI do Campo de Altitude, por se tratar de uma gramínea e as faixas de NDVI serem similares ou próximas. Nesse caso, a pastagem foi classificada como sendo Campo de Altitude e, após a seleção manual desta área com pastagem, foi realizada sua subtração do total da área de Campo de Altitude. Vale lembrar que essa área foi classificada devido a cena de 1985 ocorrer presença de Campo de Altitude nesse local (Figura 3.5).

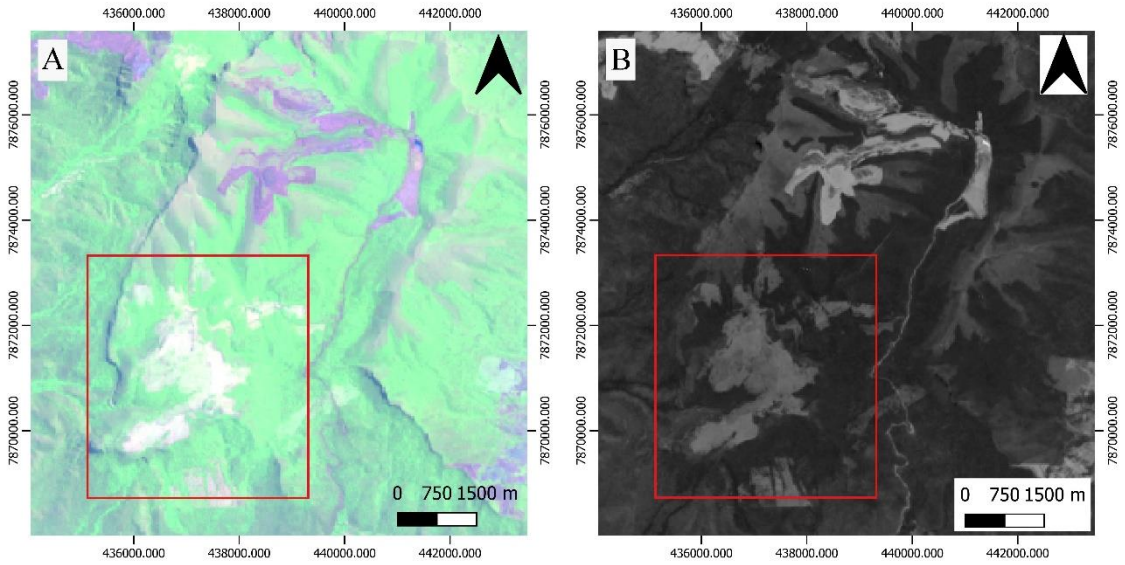

Figura 3.5. Área com pastagem na Morraria do Urucum na cena de 2020. Em A pastagem na imagem falsa-cor RGB. Em B produto NDVI com a pastagem delimitada, onde os valores de escala de NDVI se assemelham com o Campo de Altitude. Imagens Landsat 8, (U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2020).

3.4 Delimitação das áreas Morraria do Urucum e Serra do Amolar

Para evitar erros na classificação das classes e superestimar os pixels dos mapas NDVI (1985-2020) que não estavam dentro da área de interesse, principalmente a classe Campos de Altitude, que pode ser confundida com outros pixels NDVI, as duas áreas de

estudo foram delimitadas usando um procedimento QGIS 3.10. Os dados de altimetria (TOPODATA 2008) das áreas de estudo (disponíveis no site do INPE em: http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/) foram reclassificados para valores superiores a 400 metros, pois a partir desta atitude toda a área de interesse para este estudo foi expressa, contendo as partes mais altas com a presença dos Campos de Altitude, que foi a área com vegetação que nos interessou na análise. Após a reclassificação, o raster foi convertido em *shapefile* (Figura 3.6).

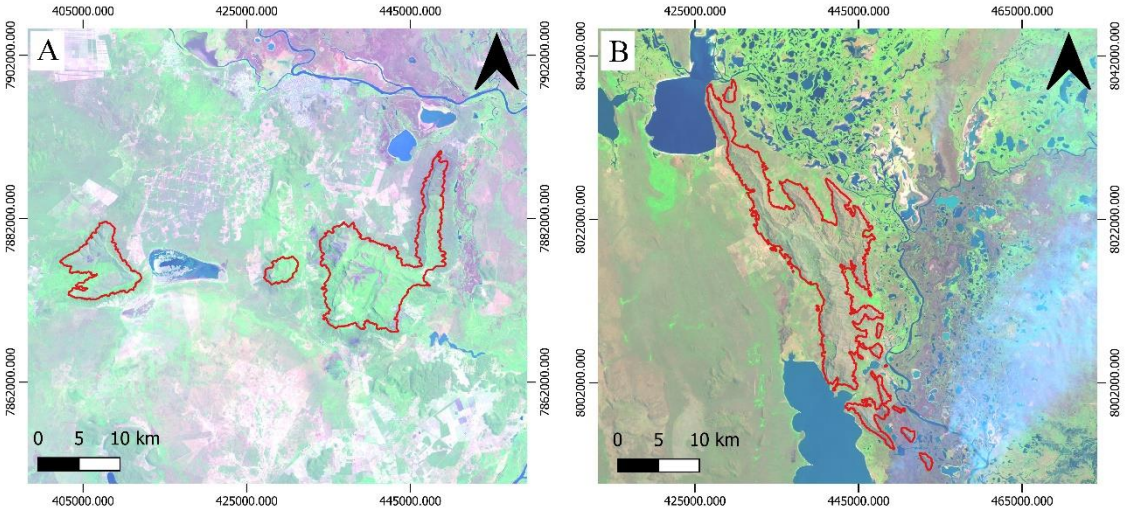

Figura 3.6. Polígonos gerados a partir dos dados de altimetria nas duas áreas de estudo. Em A) Morraria do Urucum; em B) Serra do Amolar. Imagens Landsat 8, (U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2020).

3.5 Composição falsa-cor multitemporal

Realizou-se uma composição falsa-cor multitemporal com a modificação do canal Red pelo produto NDVI 1985, canal Green pelo produto NDVI 2020 e o canal Blue sem nenhuma alteração. Essa composição serviu para validar visualmente os resultados da análise da alteração temporal da área do Campo de Altitude. Isso ocorreu devido as áreas que sofreram alguma alteração na vegetação seja em fitomassa ou onde houve substituição da vegetação por outro tipo de fitofisionomia ou uso da terra, apresentarem coloração vermelha na imagem. Áreas com aumento da fitomassa ou ocorrência de outro tipo de vegetação mais robusta, apresentam coloração verde. Locais sem modificação apresentam coloração amarela.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3.3 mostra os valores mínimo e máximo de NDVI para as duas áreas durante ambos os períodos.

Tabela 3.3. Valores mínimos e máximos de NDVI encontrados para Campos de Altitude nas duas áreas e anos analisados.

Área	Vegetação	Ano	Valor mínimo	Valor máximo
Morraria do Urucum	Campo de Altitude	1985	947	3243
		2020	4508	6927
	Vegetação Arbórea	1985	3525	4826
		2020	7172	8366
	Solo Exposto	1985	-	-
		2020	1192	4414
Serra do Amolar	Campo de Altitude	1985	947	3643
		2020	2531	4011
	Vegetação Arbórea	1985	3643	5316
		2020	4011	7589

Conforme mostrado na Tabela 3.3, os valores mínimos e máximos da escala espectral NDVI são diferentes para diferentes classes de cobertura do solo, e também para diferentes sensores (OLI e TM). As classes de solo descoberto e rasteiro (Campos de Altitude) são menores quando comparadas à vegetação arbórea, e os valores tendem a aumentar à medida que a vegetação se torna mais robusta. Portanto, por causa dessa diferença nas escalas de valores para as diferentes turmas, foi possível identificar e diferenciar as turmas analisadas neste estudo. Esse mesmo padrão de valores para classes e para diferentes sensores foi observado no estudo de Peres et al. (2016), onde foi utilizado o mesmo método de análise da cobertura do solo. A Figura 3.7 e a Figura 3.8 representam o produto NDVI de ambas as áreas de estudo, com tons mais escuros (cinza escuro) indicando áreas com maior biomassa vegetal, tons mais claros (cinza claro) indicando vegetação gramínea (Campos de Altitude) e tons brancos indicando áreas sem vegetação (solo exposto).

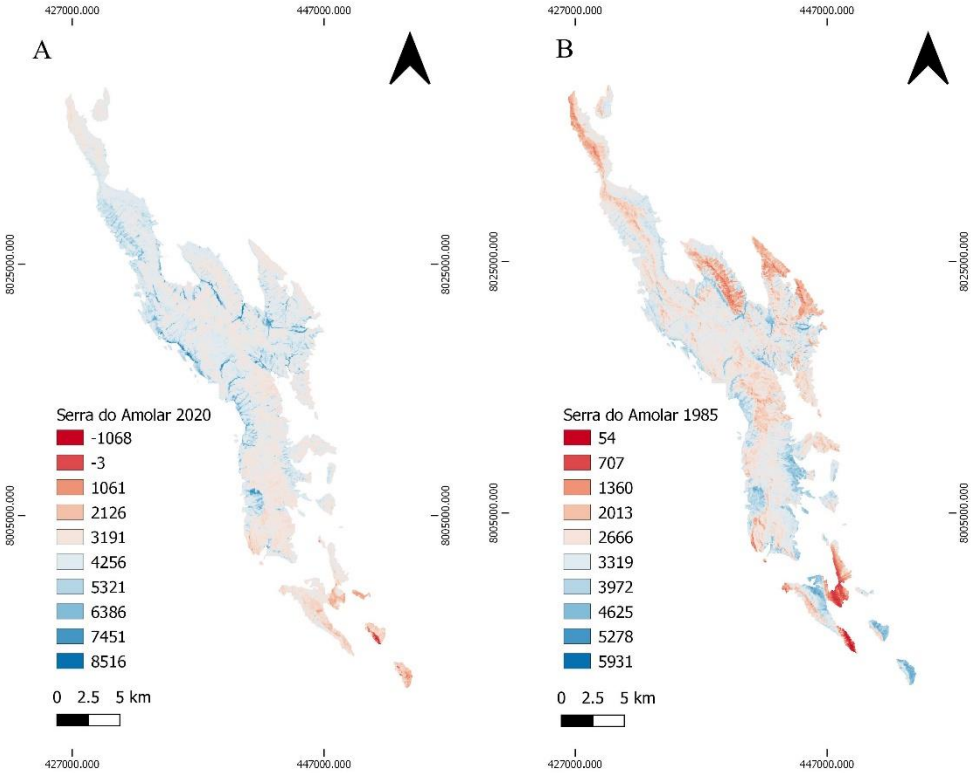

Figura 3.7. Imagens de produto NDVI das áreas de análise com os valores máximo e mínimo de NDVI conforme mostrado na Tabela 3.3. Em A e B, Serra do Amolar em 2020 e 1985, respectivamente.

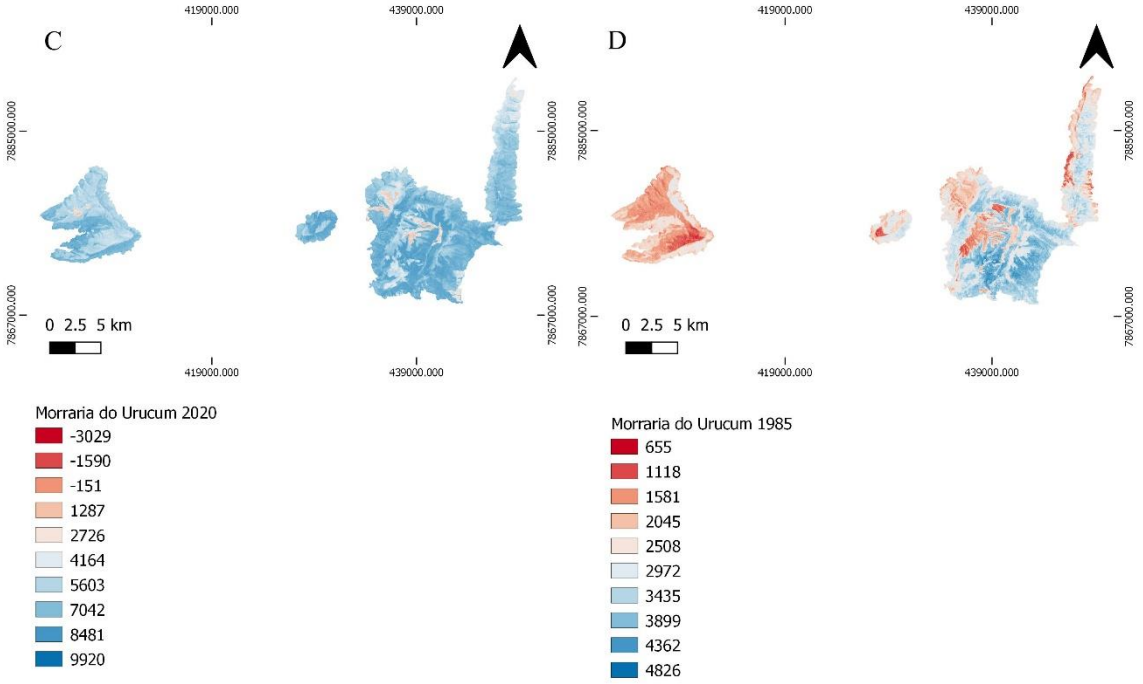

Figura 3.8. Imagens de produto NDVI das áreas de análise com os valores máximo e mínimo de NDVI conforme mostrado na Tabela 3.3. Em C e D, Morraria do Urucum em 2020 e 1985, respectivamente.

O gradiente de cores na Figura 3.7, correspondente aos valores por classe de cobertura do solo, conforme apresentado na Tabela 3.3. Para a área da Serra do Amolar, na Figura 3.7A (2020) os valores entre 2500 e 4000 estão ilustrados nas regiões mais altas da Serra do Amolar (acima de 500 metros, ver Figura 3.1). Nessas regiões estão os Campos de Altitude. O mesmo é visto na Figura 3.7B (1985), mas com a escala de valores diferentes, entre 950 e 3650. O mesmo ocorre para a área da Morraria do Urucum, nas Figuras 3.7C e 3.7D, onde as escalas de valores de 4500 a 6950 na imagem 3.7C (2020) referem-se a Campos de Altitude. E para a imagem 3.7D (1985), os valores de 950 a 3250 estão relacionados à classe de cobertura do solo Campos de Altitude.

A Tabela 3.4 descreve a área total quantificada para cada classe, bem como a comparação entre os anos de análise (1985-2020). Os valores negativos refletem uma diminuição nas respetivas classes, enquanto os valores positivos refletem um aumento nas respetivas classes.

Tabela 3.4. Distribuição espaço-temporal das classes analisadas e diferenças de área entre os anos estudados.

Área	Classe	Ano	Área (ha)	Diferença (ha)	Porcentagem
Morraria do Urucum	Campo de Altitude	1985	6.207	-1.982	-31,93
		2020	4.225		
	Arbórea	1985	4.109	1.267	30,83
		2020	5.376		
	Solo Exposto	1985	-	-	-
		2020	612		
	Pastagem	1985	-	-	-
		2020	420		
Serra do Amolar	Campo de Altitude	1985	18.911	-6.642	-35,12
		2020	12.269		
	Arbórea	1985	2.790	6.411	230
		2020	9.201		

A área dos Campos de Altitude diminuiu entre 1985 e 2020 nas duas áreas de estudo, com redução de 31,93% na Morraria do Urucum, e 35,12% na Serra do Amolar. O contrário foi observado na vegetação de estrato mais denso (arbórea), que teve aumento em sua distribuição espacial para as duas áreas, com aumento de 230% na Serra do Amolar.

Na Morraria do Urucum, a degradação do Campo de Altitude está atrelada principalmente à expansão das atividades antrópicas, pois nessa área há atividades de mineração pela Vale do Rio Doce e uma pequena área com pastagem para criação de gado. Juntas, essas duas atividades reduziram em 52,1% a área do Campo de Altitude.

A redução dos outros 47,9% podem estar relacionados a fatores ambientais, uma vez que o estrato arbóreo aumentou ao longo dos anos de análise, podendo ter ocupado a área onde havia Campo de Altitude em 1985. O mesmo foi observado na Serra do Amolar, onde houve uma redução de 35,12% (6.642 ha) do Campo de Altitude, valor muito próximo ao aumento na vegetação densa (arbórea), com 6411 ha.

Para avaliar com mais detalhes a evolução da perda de área de campo de altitude e aumento nas áreas de vegetação densa (arbórea), foi realizada a composição multitemporal que ilustra bem as áreas onde ocorreram redução (cores em vermelho), aumento (cores em verde) e áreas que não apresentaram diferença (cores em amarelo) na biomassa vegetal (Figura 3.9 e Figura 3.10).

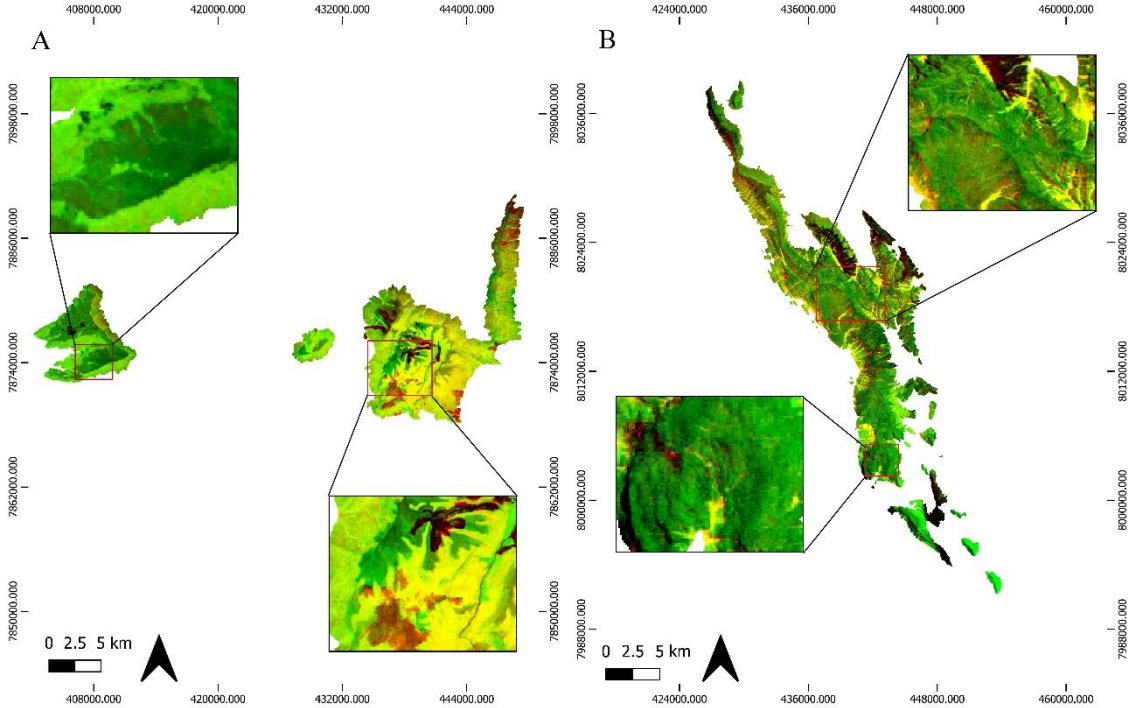

Figura 3.9. Composição multitemporal de produtos NDVI dos anos de análise. Em A, Morraria do Urucum; em B, Serra do Amolar. Legenda: Verde - ganho de biomassa vegetal; Vermelho - perda de biomassa vegetal; Amarelo - inalterado.

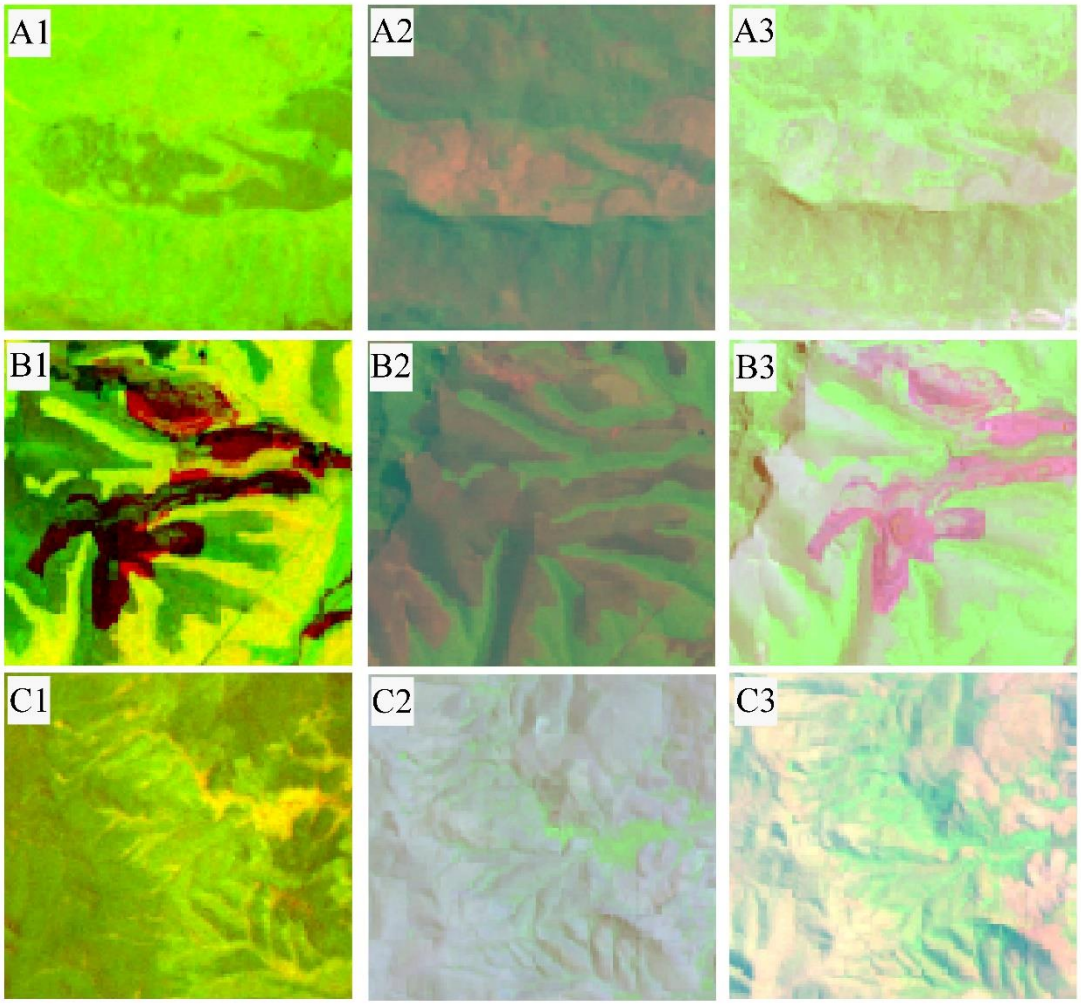

Figura 3.10. Área cortada para comparação entre os produtos NDVI de 1985 e 2020. Em: A1 e B1, Composição multitemporal, A2 e B2, Morraria do Urucum 1985, A3 e B3, Morraria do Urucum 2020; C1, Composição multitemporal, C2, Serra do Amolar 1985, e C3, Serra do Amolar 2020.

As duas áreas apresentaram ganho de biomassa vegetal, principalmente na Serra do Amolar (Figura 3.8B) e em algumas áreas da Morraria do Urucum (Figura 3.8A). Quanto mais escuro for a cor na escala verde, maior foi o ganho de biomassa vegetal. Isso se aplica também para a escala vermelha, que é bem visualizada na Morraria do Urucum nas áreas de pastagem e de mineração. Nas áreas com cores nas tonalidades de amarelo não houve diferença significativa de biomassa vegetal entre os anos analisados.

Em resumo, as áreas mais altas (acima de 700 m), com vegetação de Campo de Altitude, aumentaram gradualmente a sua biomassa vegetal, causada, por um lado, pelo avanço da vegetação densa (arbórea) e, por outro, a possibilidade de que o Campo de Altitude possa ter sofrido um aumento em sua densidade vegetal, refletindo uma resposta

espectral diferente e, consequentemente, de valores de NDVI também diferentes. Isso sugere que fatores ambientais possam estar relacionados com esse fenômeno, como também foi observado em estudos realizados por Wang et al. (2014), que realizaram uma análise histórica das alterações do NDVI em resposta à vegetação montanhosa, numa região do Planalto Tibetano, e constatou que o NDVI relacionado à vegetação montanhosa diminuiu e o NDVI de vegetação mais densa aumentou, entre os anos de análise, principalmente nas regiões mais altas (5.000 m a 6.000 m).

Zhang et al. (2007) estudaram a relação entre NDVI e variáveis climáticas e observaram que o crescimento da vegetação montanhosa refletiu no aumento do NDVI, sendo que a precipitação é considerada responsável pelas flutuações observadas de NDVI, e indicam que a evaporação de alto potencial pode impactar negativamente no crescimento da vegetação montanhosa, sendo substituída por outra vegetação mais densa. Estudos realizados por Zeng et al. (2019) estimaram a biomassa vegetal acima do solo (AGB, *above ground biomass*) de pastagens (vegetação montanhosa) por meio de índices de vegetação no Planalto Tibetano, de 2000 a 2014, e relacionaram a variáveis meteorológicas. Os autores observaram que houve uma heterogeneidade espacial óbvia e uma tendência de aumento da biomassa vegetal conforme o reflexo das variáveis ambientais (meteorológicas) e concluíram que a distribuição espacial do AGB campestre é sensível à precipitação, enquanto a dinâmica temporal do AGB foi significativamente correlacionada com a da temperatura.

As alterações de biomassa vegetal ficam mais evidentes na Figura 3.9, onde contrasta-se a composição falsa-cor multitemporal com os dois anos de análise. Nas Figuras A1 a A3 (Morraria do Urucum) percebe-se que o Campo de Altitude sofreu redução de área e evidencia a expansão de vegetação arbórea. O mesmo fenômeno se nota nas Figuras C1 a C3 (Serra do Amolar). Já nas Figuras B1 a B3 está evidenciado a supressão da vegetação (tons vermelhos a vermelho escuro) por conta da mineração presente na Morraria do Urucum. A Serra do Amolar é formada por um complexo de Unidades de Conservação e RPPNs, e além disso, é de difícil acesso (barco ou avião) o que dificulta atividades antrópicas. Mudanças significativas nas condições climáticas e alteração humana contínua, por meio do uso da terra e outras atividades, certamente afetam os ecossistemas de pastagens (vegetação montanhosa) naturais do mundo, especialmente em regiões que são muito sensíveis às mudanças climáticas, como por exemplo regiões montanhosas (BENISTON, 2003; ZHANG et al., 2007)

Este estudo apresenta as alterações espaço-temporais desiguais do Campo de

Altitude, e algumas relações entre as possíveis forças motrizes relacionadas com essa alteração. No entanto, são necessários estudos mais aprofundados para identificar as possíveis causas ambientais relacionadas às alterações espaço-temporal do Campo de Altitude nas áreas onde não houve atividade antrópica, tanto da Morraria do Urucum quanto da Serra do Amolar. Apesar disso, os resultados apresentados aqui descrevem parcialmente a dinâmica complexa do Campo de Altitude que está relacionado aos fatores ambientais e os possíveis mecanismos antrópicos (mineração) responsáveis pelo feedback da dinâmica e degradação do Campo de Altitude nesta região.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou a mudança na cobertura da vegetação montanhosa (Campo de Altitude) usando imagens Landsat entre os anos de 1985 e 2020. Houve um aumento perceptível de vegetação arbórea nas duas áreas de estudo durante os anos analisados. A tendência de aumento da fração da cobertura da vegetação arbórea está em consonância com a diminuição da vegetação Campo de Altitude e, esse fenômeno, pode ter relação com fatores ambientais, tais como temperatura, pluviometria, radiação solar e alterações físico-químicas do solo. Como foi observado em outras pesquisas (ZHOU et al., 2016; BAI et al., 2020; ZHANG et al., 2007; LI & QU, 2018; MA et al., 2019; SHEN et al., 2015), o aumento da temperatura e precipitação é o principal fator para o aumento da cobertura vegetal arbórea. Em outros pontos, a diminuição do Campo de Altitude está relacionada a pressões antrópicas dadas pela mineração e pastagem para gado na Morraria do Urucum.

Essa pesquisa envolveu a distribuição da cobertura vegetal em duas áreas montanhosas do Mato Grosso do Sul, e embora tenha sido observado a influência antrópica sobre as alterações de cobertura do solo na Morraria do Urucum, ainda não foi explicada a relação de variação espaço-temporal do Campo de Altitude nas áreas onde não houve pressão antrópica tanto na Morraria do Urucum como também na Serra do Amolar, porém os resultados demonstraram que houve claramente uma diferença entre os anos de estudo. Portanto, pesquisas futuras são necessárias em busca de entender quais foram os fatores ambientais que levaram a essa diferença na cobertura vegetal e entender a dinâmica de tais fatores visando dar atenção à vegetação Campo de Altitude por se tratar de um ecossistema importante do Pantanal e que necessita de monitoramento em busca de entender se há influências das mudanças climáticas nesta região.

3.5 REFERÊNCIAS

BAI, Y. et al. Climate warming benefits alpine vegetation growth in Three-River Headwater Region, China. **Science of the Total Environment**, v. 742: p. 1-10, 2020.

BERBEROGLU, S. et al. Mapping and monitoring of coastal wetlands of Cukurova Delta in the Eastern Mediterranean region. **Biodivers. Conserv**, v. 13, p. 615–633, 2011.

BRITO, N. de M. 2011. Desenvolvimento Econômico e Mineração: uma Abordagem da Atividade em Corumbá, MS. **Entre-Lugar**, v. 4, p. 123-150.

BENISTON, M. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. **Clim. Change**, v. 59, p. 5–31, 2003.

CHEN, B. et al. Dynamic monitoring of the Poyang Lake wetland by integrating Landsat and MODIS observations. ISPRS J. Photogramm. **Remote Sens**, v. 139, p. 75–87, 2018.

DRONOVA, I. et al. Landscape analysis of wetland plant functional types: the effects of image segmentation scale, vegetation classes and classification methods. **Remote Sens. Environ**, v. 127, p. 357–369, 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat. Acesso em: 28 jan. 2021.

ECOTRÓPICA – FUNDAÇÃO DE APOIO À VIDA NOS TRÓPICOS. **Plano de Manejo das RPPN'S Acurizal, Penha e Dorochê**. Cuiabá, Mato Grosso. 2003. 125p.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570–574, 2005.

GUERRA, A. et al. Drivers and projections of vegetation loss in the Pantanal and surrounding ecosystems. **Land Use Policy**, v. 91, p. 104388, 2020.

HAN, X. et al. Four decades of winter wetland changes in Poyang Lake based on Landsat observations between 1973 and 2013. **Remote Sens. Environ**., v. 156, p. 426–437, 2015.

HU, Y. X.; HU, J. L.; HUANG, Y.; DU, P. P.; HAN, J. L. & WANG, W. Huang

Monitoring wetland vegetation pattern response to water-level change resulting from the Three Gorges Project in the two largest freshwater lakes of China. **Ecol. Eng**., v. 74, p. 274-285, 2015.

IHP – INSTITUTO HOMEM PANTANEIRO. **Descobrindo o Paraíso: aspectos biológicos da reserva particular do patrimônio natural engenheiro Eliezer Batista – RPPN EEB/ Pantanal Sul**. Org. RABELO, A. C. P.; MOREIRA, V. F.; BERTASSONI, A.; AOKI, C. Rio de Janeiro, RJ. 2012. 111 p.

JEONG, S. J. et al. Phenology shifts at start vs. end of growing season in temperate vegetation over the Northern Hemisphere for the period 1982–2008. **Glob. Chang. Biol**, v. 17, p. 2385–2399, 2011.

JOHNSTON, R. M. & BARSON, M. M. Remote sensing of Australian wetlands: an evaluation of Landsat TM data for inventory and classification. **Mar. Freshw. Res**., v. 44, p. 235–252, 1993.

JUNK, W. J. et al. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquat. Sci**., 68, p. 278–309, 2006.

LARCHER, L.; RABELO, A. & VIANA, D. F. P. REDE DE PROTEÇÃO E CONSERVAÇÃO DA SERRA DO AMOLAR: UM MODELO DE CONSERVAÇÃO INTEGRADO. **In**: João Carlos Ferreira de Melo Júnior; Therezinha Maria Novais de Oliveira. (Org.). Ciências ambientais: ensaios e perspectivas. 1ed. Joinville: Univille, v. 1, p. 225-240, 2017.

LANDSAT. 2020. **Imagem Landsat 8 OLI**. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e NDVI. Landsat-8 image courtesy of the U.S. Geological Survey. Imagem de Satélite. Órbita 227 ponto 073. De 28 de setembro de 2020. 2020a.

LANDSAT. 2020. **Imagem Landsat 8 OLI**. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e NDVI. Landsat-8 image courtesy of the U.S. Geological Survey. Imagem de Satélite. Órbita 227 ponto 072. De 28 de setembro de 2020. 2020b.

LANDSAT. 1985. **Imagem Landsat 5 TM**. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e NDVI. Landsat-5 image courtesy of the U.S. Geological Survey. Imagem de Satélite. Órbita 227 ponto 073. De 12 de setembro de 1985. 1985a.

LANDSAT. 1985. **Imagem Landsat 5 TM**. Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e NDVI. Landsat-5 image courtesy of the U.S. Geological Survey. Imagem de Satélite. Órbita 227

ponto 072. De 27 de agosto de 1985. 1985b.

LI, X. & QU, Y. Evaluation of Vegetation Responses to Climatic Factors and Global Vegetation Trends using GLASS LAI from 1982 to 2010. **CANADIAN JOURNAL OF REMOTE SENSING**, v. 44, p. 357–372, 2018.

LINSCHEID, N. et al. Towards a global understanding of vegetation-climate dynamics at multiple time scales. **Biogeosciences**, v. 17, p. 945–962, 2020.

MA, X. et al. Sensitivity of Vegetation on Alpine and Subalpine Timberline in Qinling Mountains to Temperature Change. **Forests**, v. 10, p. 1-16, 2019.

MARENGO, J. M. et al. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 639204, 2021.

MIOTO, C. L. et al. 2012. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. **Rev Entre-Lugar**, v. 3, p. 165-180, 2012.

MU, S. et al. Monitoring the spatio-temporal dynamics of the wetland vegetation in Poyang Lake by Landsat and MODIS observations. **Science of the Total Environment**, v. 725, p. 138096, 2020.

NEWBOLD, T. Future effects of climate and land-use change on terrestrial vertebrate community diversity under different scenarios. **Proc. R. Soc. B Biol. Sci**., v. 285, p. 20180792, 2018.

PAN, N. et al. Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends. **Remote Sensing of Environment**, v. 214, p. 59-72, 2018.

PERES, P. N. et al. Variação da Cobertura do Solo no Pantanal de 2000 a 2015 por Sensoriamento Remoto com Software e Dados Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ, v. 39, p. 116-123, 2016.

POULIOT, D. et al. Trends in vegetation NDVI from 1 km AVHRR data over Canada for the period 1985–2006. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, p. 149-168, 2009.

POTT, A. et al. Plant diversity of the Pantanal wetland. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, p. 265-273, 2011.

POTT, A. et al. Vegetação e uso da terra. p.111-131. **In**: SILVA J. S. V. (ed.).

Zoneamento ambiental da borda oeste do Pantanal: Morraria do Urucum e adjacências. Embrapa Informação e Tecnologia, Brasília, DF. 2000. 365p.

QGIS Development Team, 2021. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org.

ROQUE, F. O. et al. Upland habitat loss as a threat to Pantanal wetlands. **Conserv. Biol**., v. 30, p. 1131–1134, 2016.

SHEN, M. et al. Plant phenological responses to climate change on the Tibetan Plateau: research status and challenges. **National Science Review**, v. 2, p. 454-467, 2015.

SILVA, J. S. V. & ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e Suas Sub-regiões. **Pesq. agropec. bras**., v. 33, p. 1703-1711, 1998.

SOUZA, C. A. & SOUZA, J. B. Pantanal Mato-grossense: origem, evolução e as características atuais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, v. 11, p. 34-54, 2010.

SOS-Pantanal, WWF-Brasil, Conservation-International, ECOA, Fundacion-AVINA. 2017. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai Porção Brasileira-Período de analise: 2016 a 2017**. Corumba. Embrapa Pantanal.

TAI, X.; EPSTEIN, H. E. & LI, B. Elevation and Climate Effects on Vegetation Greenness in an Arid Mountain-Basin System of Central Asia. **Remote Sensing**., v. 12, n. 10, p. 1665, 2020.

TOPODATA. **Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008. http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/

URBANETZ, C. et al. Composição e Distribuição de Espécies Arbóreas em Gradiente Altitudinal, Morraria do Urucum, Brasil. **Oecol. Aust**., v. 16, p. 859-877, 2012.

U.S. Geological Survey. Earth Explorer. Acessado em: 27 set. de 2020. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/

WAMELINK, W. et al. The role of abiotic soil parameters as a factor in the success of invasive plant species. **Emerging Sci. J**., v. 2, p. 308–365, 2018.

WANG, X. et al. Alpine Cold Vegetation Response to Climate Change in the Western

Nyainqentanglha Range in 1972–2009. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1-9, 2014.

ZHANG, R. et al. Grassland vegetation phenological variations and responses to climate change in the Xinjiang region, China. **Quaternary International**, v. 513, p. 56–65, 2019.

ZHANG, J. et al. Evaluation of Grassland Dynamics in the Northern-Tibet Plateau of China Using Remote Sensing and Climate Data. **Sensors**, v. 7, p. 3312-3328, 2007.

ZENG, N. et al. Estimating grassland aboveground biomass on the Tibetan Plateau using a random forest algorithm. **Ecological Indicators**, v. 102, p. 479-487, 2019.

ZHOU, J. et al. Alpine vegetation phenology dynamic over 16 yers and its covariation with climate in a semi-arid region of China. **Science of the Total Environment**, v. 572, p. 119-128, 2016.

QUARTO CAPÍTULO: APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NA ANÁLISE DAS MUDANÇAS DA VEGETAÇÃO DE CAMPOS DE ALTITUDE NO PANTANAL USANDO DADOS MULTITEMPORAIS LANDSAT

Resumo: Devido ao clima frio e altitude, a identificação das tendências dinâmicas da vegetação e dos principais fatores que contribuem para mudanças de cobertura vegetal em áreas de Campos de Altitude é essencial para entender alterações climáticas em regiões montanhosas onde são primariamente afetadas. O método NDVI fornece um dos índices mais comumente usados para avaliar efetivamente a fitossanidade e os padrões espaciais. Imagens Landsat-8 OLI e Landsat-1 MSS de 1973 a 2022 da Morraria do Urucum e Serra do Amolar foram pré-processadas na plataforma de nuvem GEE e QGIS. O método de reamostragem por pixel na escala de valores definidos para vegetação Campos de Altitude foi empregado para evidenciar mudanças da cobertura da vegetação e suas dinâmicas através do índice NDVI. Em ambas as áreas de estudo foi verificada tendência contínua de redução significativa da vegetação de campos de altitude em 50 anos. O decréscimo médio foi de 49% para Urucum (menos 2.164 hectares) e 43% para o Amolar (menos 3.959 hectares). O uso do GEE para obter dados de sensoriamento remoto combinado com a análise de imagens temporais oferece o potencial de perceber rapidamente tendências de mudança de cobertura da vegetação em grande e pequena escala.

Palavras-chave: NDVI; Vegetação Montanhosa; Pantanal; Habitats Naturais; Conservação; Monitoramento de Ecossistemas.

CHAPTER FOUR: APPLICATION OF REMOTE SENSING TO THE ANALYSIS OF CHANGES IN HIGH-ALTITUDE VEGETATION OF THE PANTANAL USING MULTITEMPORAL LANDSAT DATA

Abstract: Due to the cold climate and altitude, the identification of dynamic vegetation trends and the main factors that contribute to changes in vegetation cover in Campos de Altitude (grassland) areas is essential to understand climate change in mountainous regions where they are primarily affected. The NDVI method provides one of the most

commonly used indices to effectively assess plant health and spatial patterns. Landsat-8 OLI and Landsat-1 MSS images from 1973 to 2022 of Morraria do Urucum and Serra do Amolar were pre-processed in the GEE cloud platform and QGIS. The resampling method per pixel in the scale of values defined for vegetation Campos de Altitude was used to show changes in vegetation cover and its dynamics through the NDVI index. In both study areas, a continuous trend of significant reduction of vegetation in highland grasslands was observed over 50 years. The average decrease was 49% for Urucum (less 2,164 hectares) and 43% for Amolar (less 3,959 hectares). The use of GHG to obtain remote sensing data combined with temporal image analysis offers the potential to quickly perceive trends in large and small scale vegetation cover change.
Keywords: NDVI; Mountainous Vegetation; Wetland; Natural Habitats; Conservation; Ecosystem Monitoring.

4.1 INTRODUÇÃO

A capacidade de resposta espectral de uma planta está relacionada à como as espécies competem e respondem aos efeitos estressores do ambiente (MAHAUT et al., 2020; SCHER et al., 2020), refletindo na forma com que se distribuem no espaço, moldando assim a estrutura das comunidades vegetais (SCHER et al., 2020).

A produtividade vegetal é tradicionalmente estimada diretamente pela medição da biomassa e cobertura acima do solo, processo que requer altos recursos humanos, financeiros e demanda muito tempo. Para contornar esse desafio, o uso de estimativas de biomassa a partir de produtos de sensoriamento remoto surge como uma ferramenta que pode ser aplicada para estudos de extensas áreas (HEINSCH et al., 2006; YU et al., 2018).

Imagens de satélite, por exemplo, por meio de suas bandas espectrais, ao serem processadas em Sistemas de Informações Geográficas, geram índices de vegetação, que medem a biomassa vegetal, ocorrência de distúrbios na saúde das plantas, além sua distribuição espacial, entre outras variáveis. A estimativa da cobertura vegetal requer relativamente pouco tempo e recursos quando se utilizam métodos de sensoriamento remoto aplicando-se índices de vegetação.

Com o avanço e melhoria das imagens multiespectrais, que são mais sensíveis em medir a interação das plantas com a radiação solar, houve uma melhora na capacidade de estimar a produtividade da planta e padrão fenológico (CERASOLI et al., 2018; FISCHER et al., 2019). Os índices de vegetação multiespectrais envolvem uma coleção

de razões e transformações de intensidades de refletância de luz detectadas em certas bandas espectrais, tais como NIR (Infravermelho próximo), MIR (infravermelho médio) etc. As imagens de satélite de alta resolução estão cada vez mais sendo disponibilizadas de forma gratuita por plataformas digitais, sendo importantes para aplicações agroambientais, como por exemplo o projeto CBERS, uma parceria entre Brasil e China.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), baseado na razão da diferença normalizada da refletância relativa da superfície em comprimentos de onda vermelho e infravermelho próximo, está correlacionado com a cobertura de vegetação saudável (MYNENI et al., 1995). O NDVI está fortemente associado à cobertura vegetal, índice de área foliar, biomassa e uso da terra, que pode refletir de forma abrangente a intensidade da fotossíntese e do metabolismo da vegetação (KRAKAUER et al., 2017). O NDVI pode ser usado para avaliar quantitativamente a cobertura e o crescimento da vegetação, que é considerado um indicador eficaz para monitorar as mudanças na vegetação terrestre e, portanto, tem sido amplamente utilizado em pesquisas e manejo em áreas como agricultura e ecologia (KRAKAUER et al., 2017).

Este trabalho teve como objetivo analisar as mudanças temporais e espaciais da cobertura vegetal em área montanhosa do Pantanal por meio do índice de vegetação NDVI através da técnica de reamostragem por pixel e validado com índices de ecologia da paisagem, com o uso de produtos do Landsat sensor MSS e OLI, entre os anos de 1973 e 2022.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a Serra do Amolar e a Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal Sul-mato-grossense, no município de Corumbá-MS (Figura 4.1).

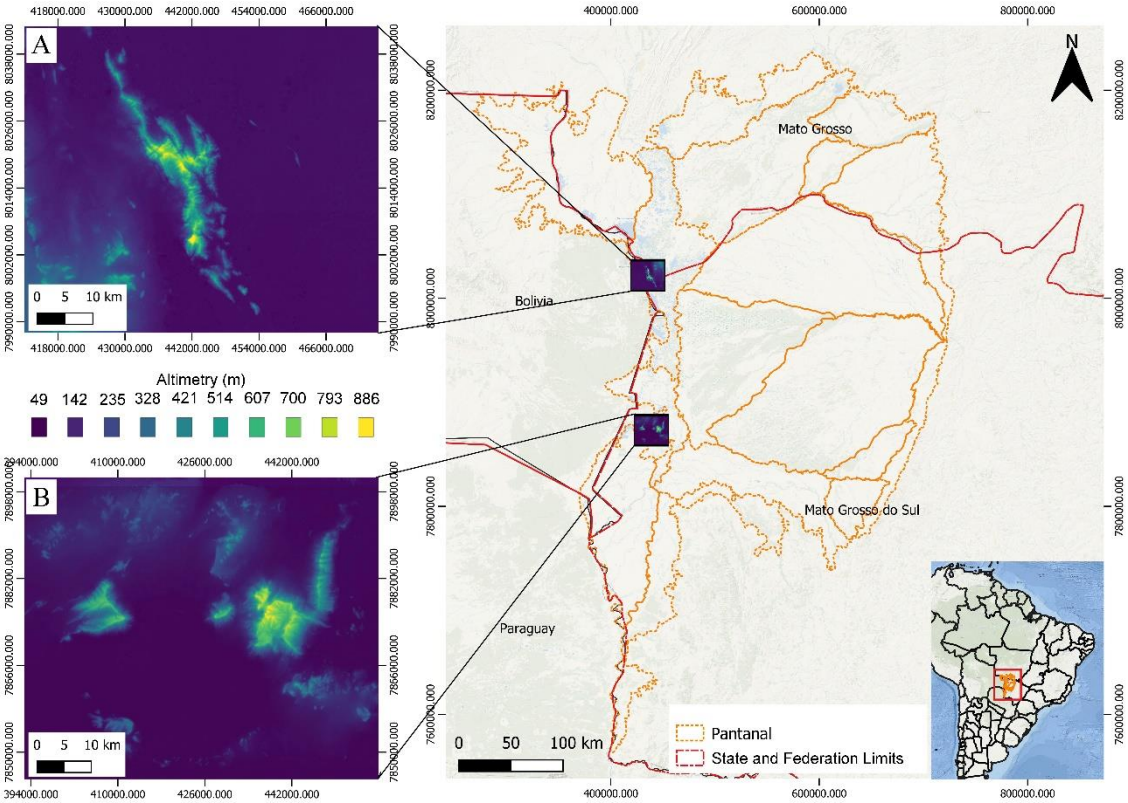

Figura 4.1. Localização das duas áreas de estudos, em a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal. Fonte: Dados vetoriais do Pantanal: Mioto (2016). Dados vetoriais de Estados e municípios: IBGE (2021). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S. Dados de imagens de elevação: TOPODATA (2021).

4.2.2 Dados de satélite e processamento de imagens

Devido às características climáticas na estação chuvosa, há dificuldades de obtenção de imagens sem nuvens. Assim, coletou-se duas cenas de imagens Landsat 8 (para realizar mosaico que abrange toda a área de estudo) na estação seca durante o período de abril a outubro de 2022 e uma cena de imagens Landsat 1 de 1973 (USGS, 2022), porém apenas uma cena do mês de março estava em boas condições de uso Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Dados técnicos e datas das cenas dos satélites usados na análise temporal da vegetação da Serra do Amolar e Morro do Urucum.

Satélite	Sensor	Resp. Temporal	Resol. Radiométrica	Operação	Resol. Espacial	Data das Cenas
Landsat 1	MultiSpectral Scanner (MSS)	18 dias	6 bits	1972 - 1978	80 m	16/03/1973
Landsat 8	Operational Land Imager (OLI)	16 dias	16 bits	2013 até o momento	30 m	14/06/2022 (Cena 1)
Landsat 8	Operational Land Imager (OLI)	16 dias	16 bits	2013 até o momento	30 m	14/06/2022 (Cena 2)

As imagens Landsat foram pré-processadas usando a plataforma QGIS 3.10 (QGIS TEAM, 2022). As principais etapas do processamento incluem (i) aquisição do produto de refletância de superfície do USGS no site: https://earthexplorer.usgs.gov/ (USGS, 2022) e GEE (*Google Earth Engine*) (GORELICK et al., 2017); (ii) seleção da cena alvo de entrada e cenas de referência; (iii) detecção de cenas com ausência de nuvens sem que ocorra o mascaramento por sombra nas imagens e; (iv) processamento das imagens no QGIS. A Figura 4.2 mostras as bandas separadamente (NIR-R-G), já a Figura 4.3 mostra o resultado das imagens compostas de saída (vermelho = banda do infravermelho próximo, verde = banda vermelha, azul = banda verde) do Landsat 8 e Landsat 1 sobre a área de estudo.

As imagens do satélite Landsat 1, sensor *MultiSpectral Scanner* (MSS) foram obtidas a partir da plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine*. Os dados do MSS estão disponíveis de 1972 a 1978. Foram utilizadas as bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo (NIR), bandas 4, 5 e 6, respectivamente, do Landsat 1 MSS *Collection 1 Tier 2* com valores de Números Digitais, representando a radiância no sensor dimensionada e calibrada. As imagens foram redimensionadas para 30 metros de resolução utilizando os algoritmos de *reducing resolution* com o método de vizinho mais próximo. Foi redimensionado para a mesma resolução da cena do Landsat 8 para padronizar em uma mesma resolução espacial para se obter melhores resultados na análise.

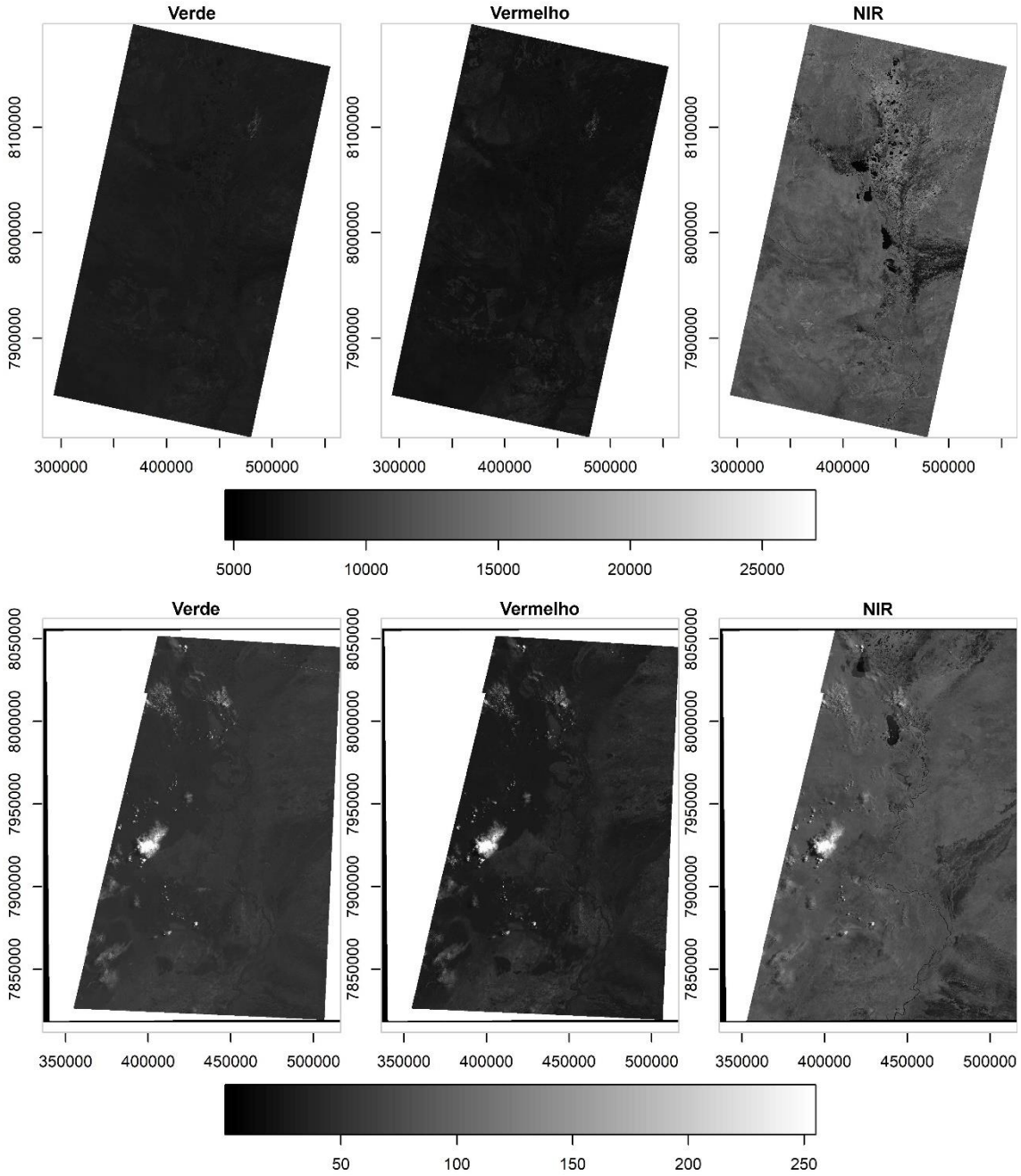

Figura 4.2. Plotagem das camadas individuais das cenas multiespectral Landsat 8 e Landsat 1 respectivamente em níveis de cinza para as bandas do verde, vermelho e NIR. Fonte dados de imagens: Landsat 8 (USGS, 2022). Landsat 1 (GORELICK et al., 2017). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S.

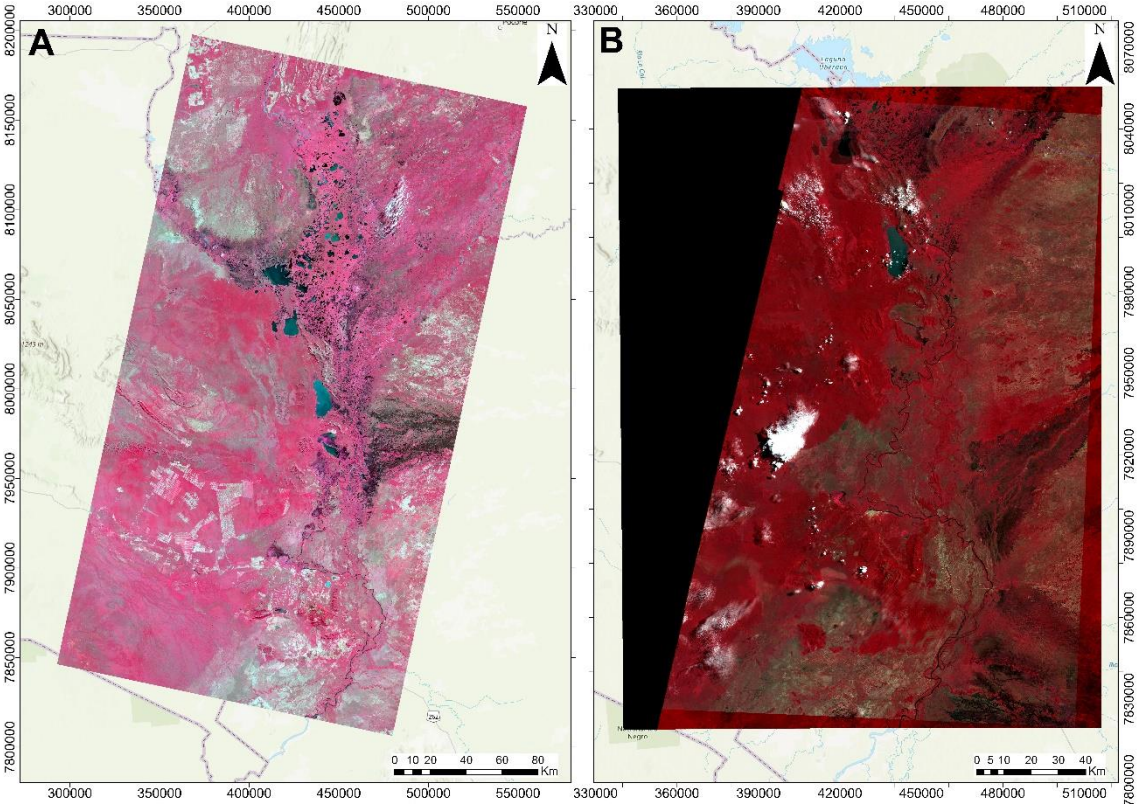

Figura 4.3. Cenas compostas com os canais NIR-R-G para os períodos encontrados com baixa quantidade de nuvens para as áreas de estudo. Em A apresenta-se a cena do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 8; Em B é apresentado a cena do sensor MSS a bordo do satélite Landsat 1. Fonte dados de imagens: Landsat 8 (USGS, 2022); Landsat 1 (GORELICK et al., 2017). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S.

4.2.3 Seleção das áreas analisadas

As áreas utilizadas para as análises desse estudo foram previamente selecionadas por recortes em locais onde haviam informações das vegetações de interesse, em especial a cena do Landsat 1, a qual possui presença de nuvens em boa parte da área de estudo (Figura 4.3), portanto optou-se em realizar recortes das áreas de estudo onde não havia interferência de objetos ou falhas que comprometessem a qualidade da análise e consequentemente os resultados. Para tanto, as cenas Landsat 8 e Landsat 1 foram exportadas para o *software* RStudio versão 4.2.1 (R Core Team, 2022) no qual por meio do pacote Raster (HIJMANS, 2022), realizou-se a seleção das áreas a serem recortadas e aplicou-se o comando de recorte para depois realizar a plotagem das áreas para cada uma das cenas. As áreas recortadas e usadas para análise estão ilustradas na Figuras 4.4, 4.5 e 4.6.

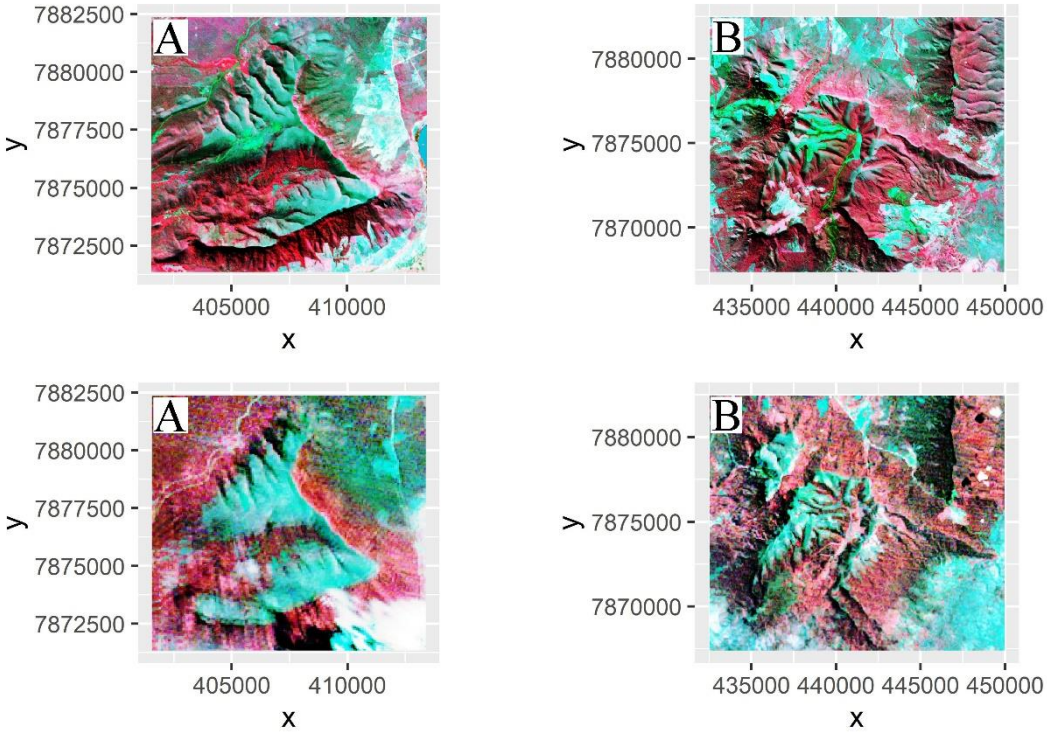

Figura 4.4. Recorte de áreas amostrais na Morraria do Urucum para a cena do Landsat 8 (2022) e Landsat 1 (1973) respectivamente. Legenda: A recorte 1 e B recorte 2. Fonte dados de imagens: Landsat 8 (USGS, 2022); Landsat 1 (GORELICK et al., 2017). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S.

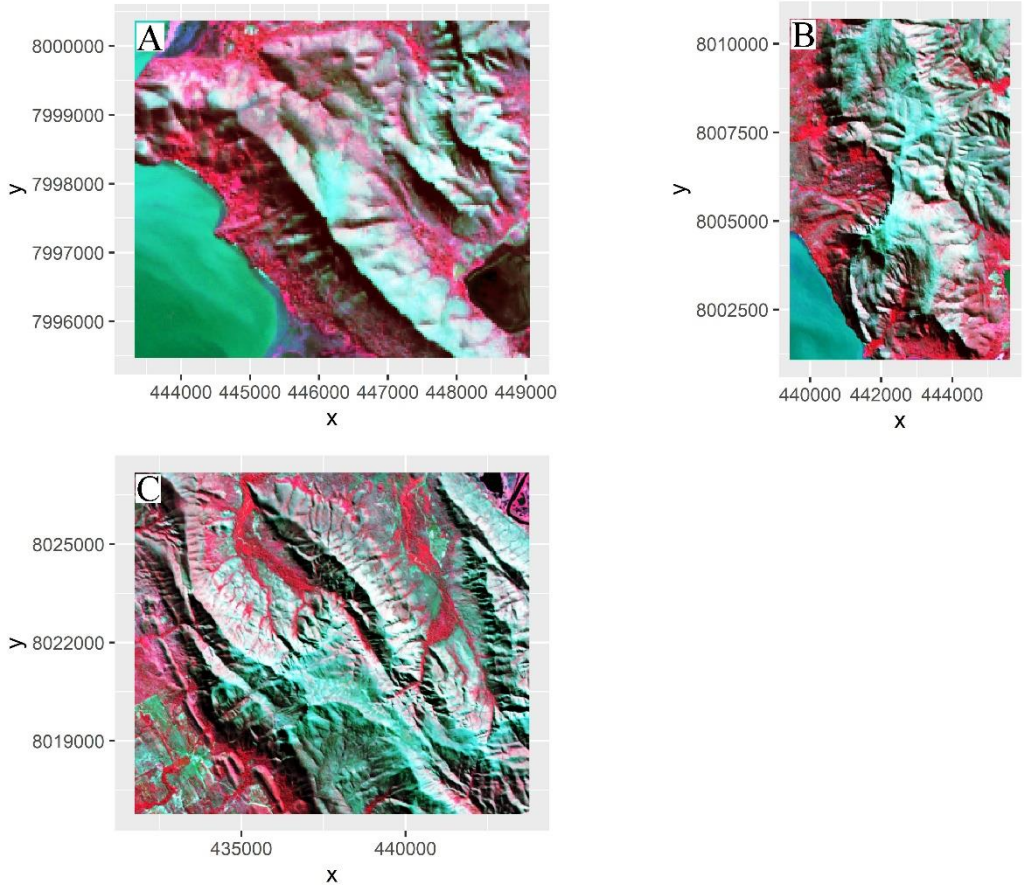

Figura 4.5. Recorte de áreas amostrais na Serra do Amolar para a cena do Landsat 8 (2022). Legenda: A recorte 1, B recorte 2 e C recorte 3. Fonte dados de imagens: Landsat 8 (USGS, 2022). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S.

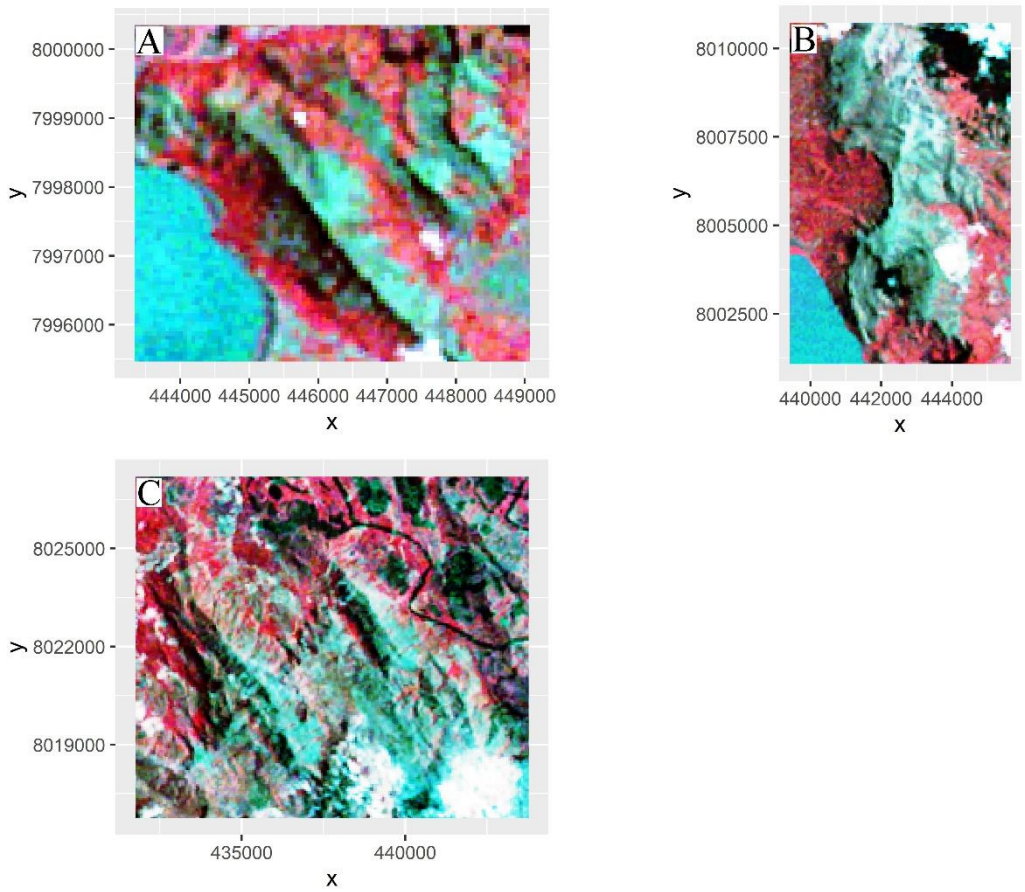

Figura 4.6. Recorte de áreas amostrais na Serra do Amolar para a cena do Landsat 1 (1973). Fonte dados de imagens: Landsat 1 (GORELICK et al., 2017). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S.

4.2.4 Índice NDVI

O NDVI é um dos índices amplamente utilizados para classificação de imagens, monitoramento e avaliação rápida da qualidade florestal. Os valores mais altos de NDVI correspondem a vegetação densa, como florestas perenes, árvores caducifólias na estação chuvosa ou culturas em seu estágio de pico de crescimento. Com base nas características do crescimento, a floresta decídua e a floresta perene podem ser extraídas pela diferença dos valores de NDVI entre as estações seca e chuvosa. Como um estimador de biomassa, os valores de NDVI também diferem entre floresta perene e vegetação herbácea (PESSI et al., 2022).

O NDVI foi gerado a partir de imagens compostas sem nuvens do Landsat 8 e Landsat 1 para as estações seca, conforme mostrado na Figura 4.2. A fórmula para determinar o NDVI é mostrada na Equação (4.1):

(4.1)

$$NDVI = \frac{(\mathrm{NIR} - \mathrm{RED})}{(\mathrm{NIR} + \mathrm{RED})}$$

onde NIR é o valor da refletância da superfície da banda do infravermelho próximo e RED é o valor da refletância da superfície da faixa vermelha das imagens Landsat.

4.2.5 Seleção dos alvos (Campos de Altitude)

Para identificar os alvos a serem classificados (Campos de Altitude), foi realizado trabalho de campo quando buscou-se identificar os pontos onde havia presença de vegetação Campos de Altitude e foram coletados pontos de localização com GPS, para que a partir desses pontos fosse caracterizado via extração de valores do NDVI para se ter os valores médios de NDVI que caracterizassem a vegetação Campos de Altitude. Dessa forma, foram pontuados seis pontos de amostras na Morraria do Urucum e seis pontos de amostras na Serra do Amolar, conforme é ilustrado na Figura 4.7. A reamostragem foi realizada dentro das áreas selecionadas sendo essas áreas pré-definidas como locais acima dos 400 metros de altitude.

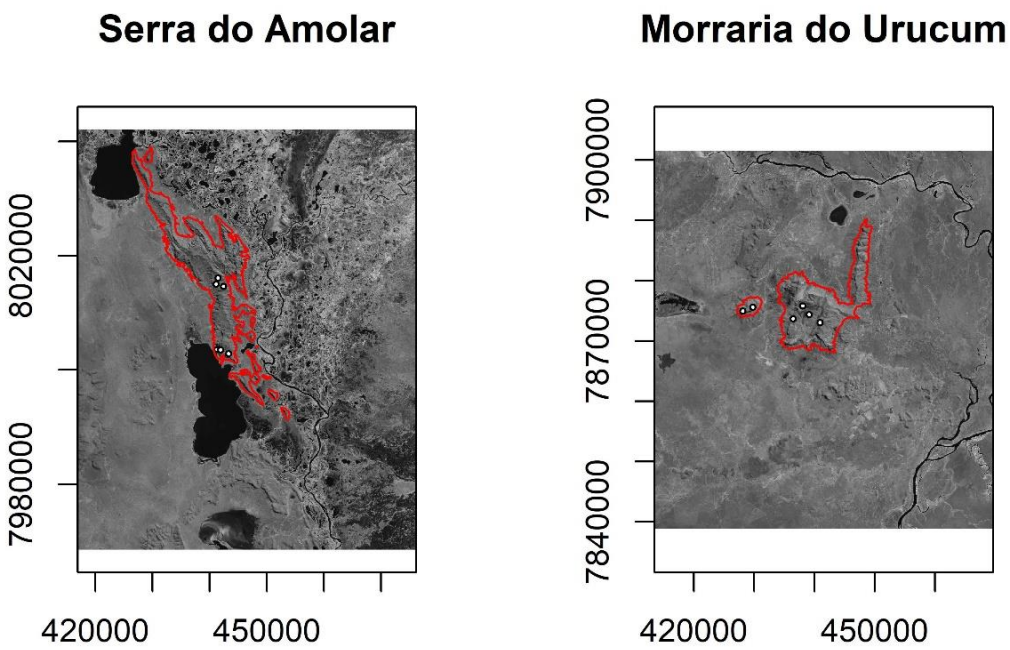

Figura 4.7. Localização dos pontos de amostragem dos locais com presença de vegetação Campos de Altitude nas áreas da Serra do Amolar e Morraria do Urucum. Legenda: Em linha vermelha, delimitação das áreas de estudo. Pontos brancos, pontos de amostragem. Barra de valores em escala de níveis de cinza.

4.2.6 Método proposto

Com base na diferença dos valores de NDVI entre as vegetações de floresta perene e vegetação gramínea (Campos de Altitude) na estação seca e a correlação entre os valores de retroespalhamento das imagens multitemporais, foi proposto um esquema de classificação por reamostragem baseado nos objetos classificados pelo NDVI conforme é detalhado na Figura 4.8 e na Figura 4.9. Após a geração do NDVI, foi realizada a reamostragem dos valores de *pixel* de NDVI definidos na seleção dos alvos conforme mostrado na Figura 4.7. Com os valores extraídos, buscou-se identificar quais valores seriam selecionados, ou seja, quais valores da reamostragem condiziam com a classe de cobertura de interesse (Campos de Altitude). Após definir os valores, foi realizada a extração dos *pixels* para cada área analisada e aplicadas as rotinas definidas no RStudio para se saber dados de área e quantidade de pixels.

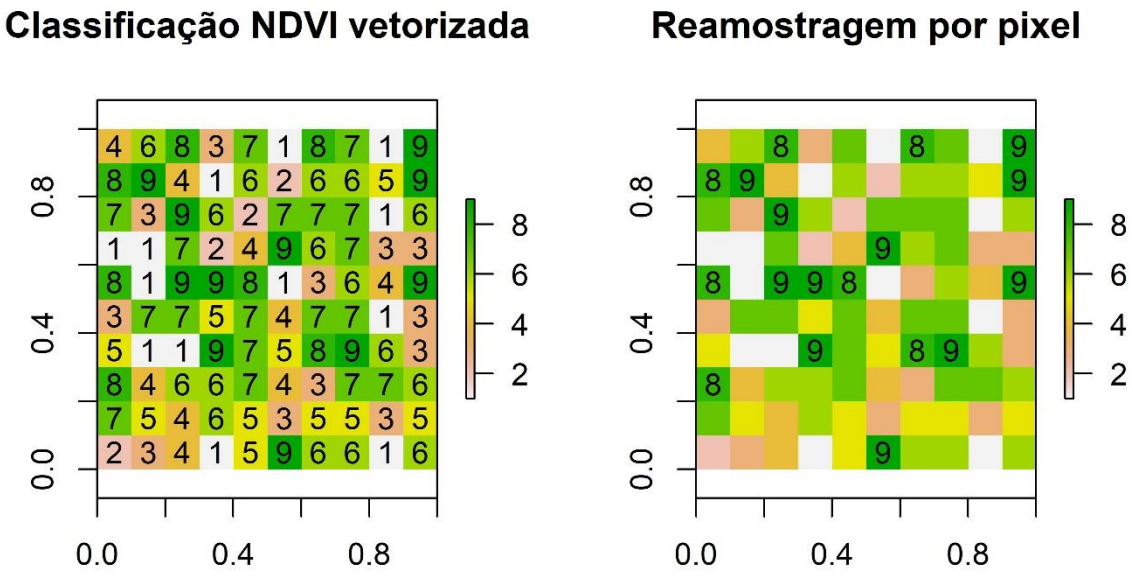

Figura 4.8. Matrix de valores por pixel e reamostragem dessa mesma matriz por valores pré definidos no RStudio.

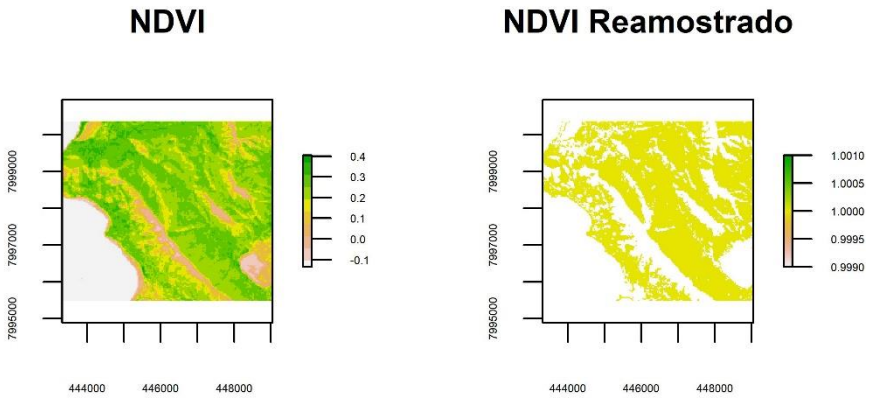

Figura 4.9. Exemplo de reamostragem por pixel. Valores de 0.3 a 0.4 foram definidos para serem reamostrados.

O processo de classificação foi conduzido por meio de três etapas principais: (i) segmentação da classificação do NDVI para definir os objetos homogêneos (objeto alvo) com base em suas propriedades espectrais; (ii) utilização do limiar de valores médios de cada padrão homogêneo para classificar cada objeto das cenas usadas nesse estudo e; (iii) quantificação, em proporção de área em hectares, de cada padrão homogêneo encontrado na classificação NDVI, definindo o que é vegetação gramínea (Campos de Altitude) objeto deste estudo.

4.2.7 Índice de ecologia da paisagem

Com base no mapa de fragmentos de vegetação gerados na reamostragem, foram calculados índices de ecologia da paisagem com ênfase em sua distribuição espacial e fragmentação através do *software* Fragstats versão 4.2 (MCGARIGAL, 2013), empregando as métricas da Tabela 4.2.

Foi usado métricas de fragmentos (NP) e de área (TA). As métricas de fragmentos não representam medidas explicitamente espaciais, mas, pode-se considerar, representam a configuração da paisagem. As informações desta categoria são importantes por caracterizarem os fragmentos (número de fragmentos, tamanho médio, densidade, variação etc.). Já as métricas de área são as bases do conhecimento da paisagem. São utilizadas por outras métricas e são métricas muito úteis para estudos ecológicos, uma vez que a riqueza e abundância de certas espécies dependem das dimensões dos fragmentos da paisagem para existir (VOLOTÃO, 1998).

Tabela 4.2. Descrição das métricas da paisagem a serem calculadas.

Métrica	Sigla	Descrição
Área Total da Paisagem	TA	É a área total da paisagem (da classe analisada) em hectares
Número de Fragmentos	NP	É o número de framentos existentes da paisagem (da classe analisada)

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Variação de tendências espaciais de NDVI

As Figuras 4.10 e 4.11 mostram o padrão de distribuição espacial da média de NDVI para a área de estudo Morraria do Urucum entre os anos de 1973 e 2022.

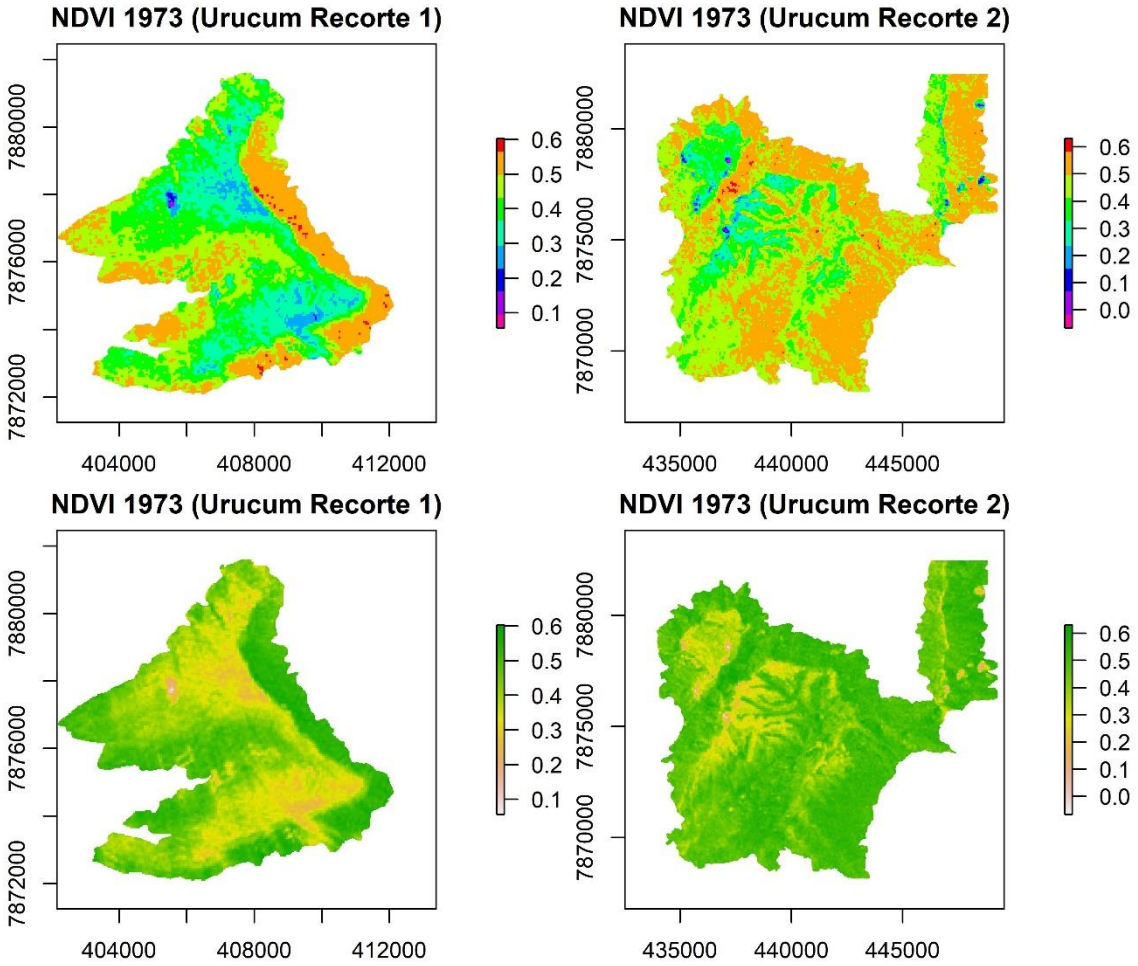

Figura 4.10. Distribuição do NDVI para os dois recortes usados na análise para a área de estudo Morraria do Urucum no ano de 1973.

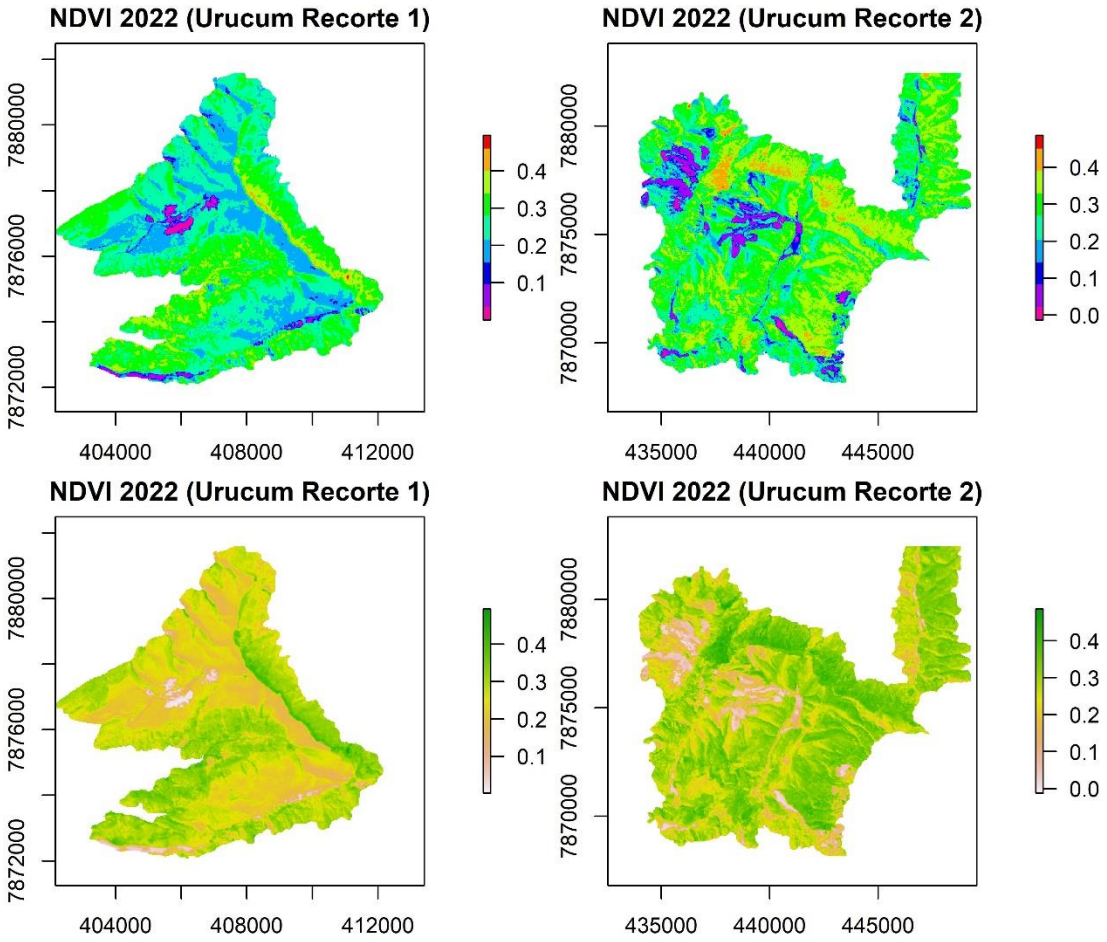

Figura 4.11. Distribuição do NDVI para os dois recortes usados na análise para a área de estudo Morraria do Urucum no ano de 2022.

Os resultados mostram que o NDVI variou de -0.06 a 0. 63 com valor médio de 0.4298 para o recorte 1 e de 0.4674 para o recorte 2 para o ano de 1973 (Tabela 4.3). No entanto, houve desvio de valores diferentes de NDVI para o ano de 2022, variando de -0.01 a 0.4945 com valor médio de 0.2604 para o recorte 1 e de 0.2801 para o recorte 2 (Tabela 4.3).

Tabela 4.3. Resumo dos valores de NDVI para cada recorte e ano de análise na Morraria do Urucum.

Urucum 1973 (Landsat 1)		Urucum 2022 (Landsat 8)	
NDVI Recorte 1	**NDVI Recorte 2**	**NDVI Recorte 1**	**NDVI Recorte 2**
Min. :0.0564	Min. :-0.0667	Min. :0.00069	Min. :-0.0129
1st Qu.:0.3679	1st Qu.: 0.4348	1st Qu.:0.22048	1st Qu.: 0.2466
Median :0.4311	Median : 0.4872	Median :0.26277	Median : 0.2962
Mean :0.4298	Mean : 0.4674	Mean :0.26047	Mean : 0.2801
3rd Qu.:0.4956	3rd Qu.: 0.5207	3rd Qu.:0.30451	3rd Qu.: 0.3340
Max. :0.6027	Max. : 0.6306	Max. :0.49450	Max. : 0.4859

A Figura 4.12 ilustra a distribuição dos pixels na escala de valores de NDVI para os recortes estudados na Morraria do Urucum.

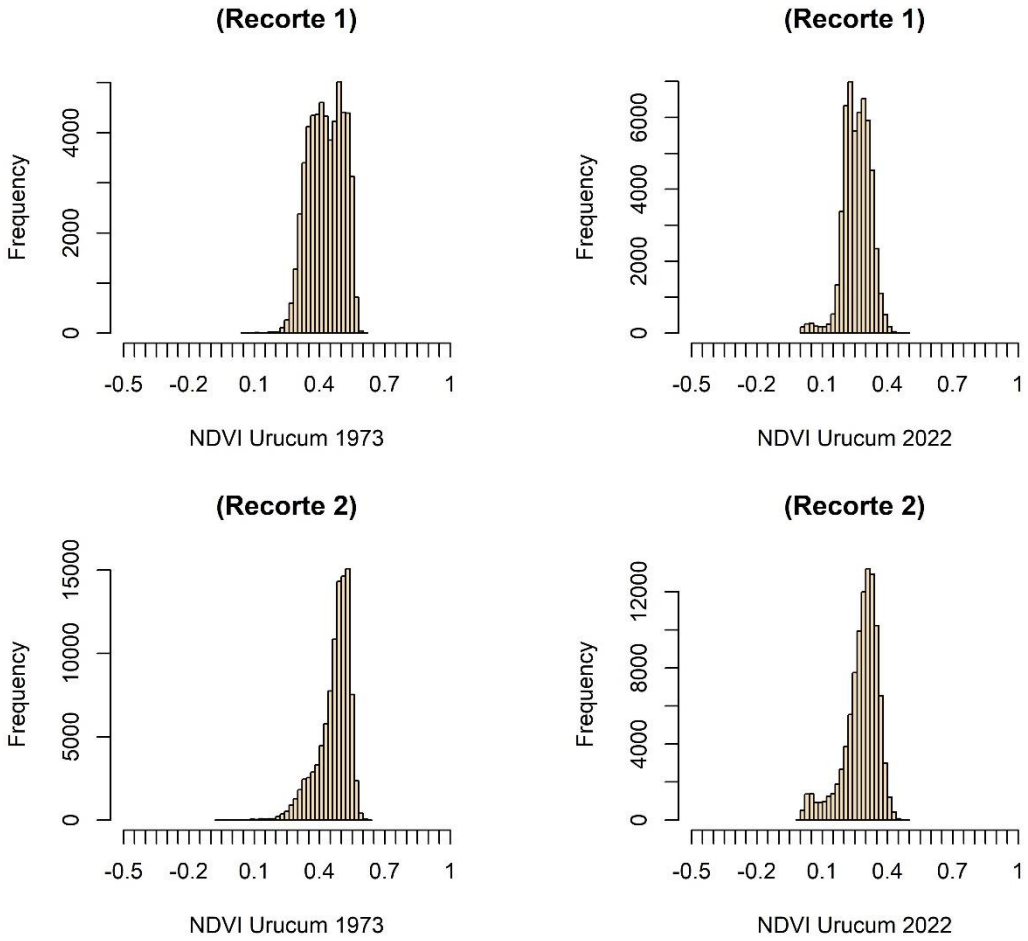

Figura 4.12. Distribuição dos pixels dos recortes analisados em escala de valor de NDVI.

As Figuras 4.13 e 4.14 mostram o padrão de distribuição espacial da média de NDVI para a área de estudo Serra do Amolar, entre os anos de 1973 e 2022.

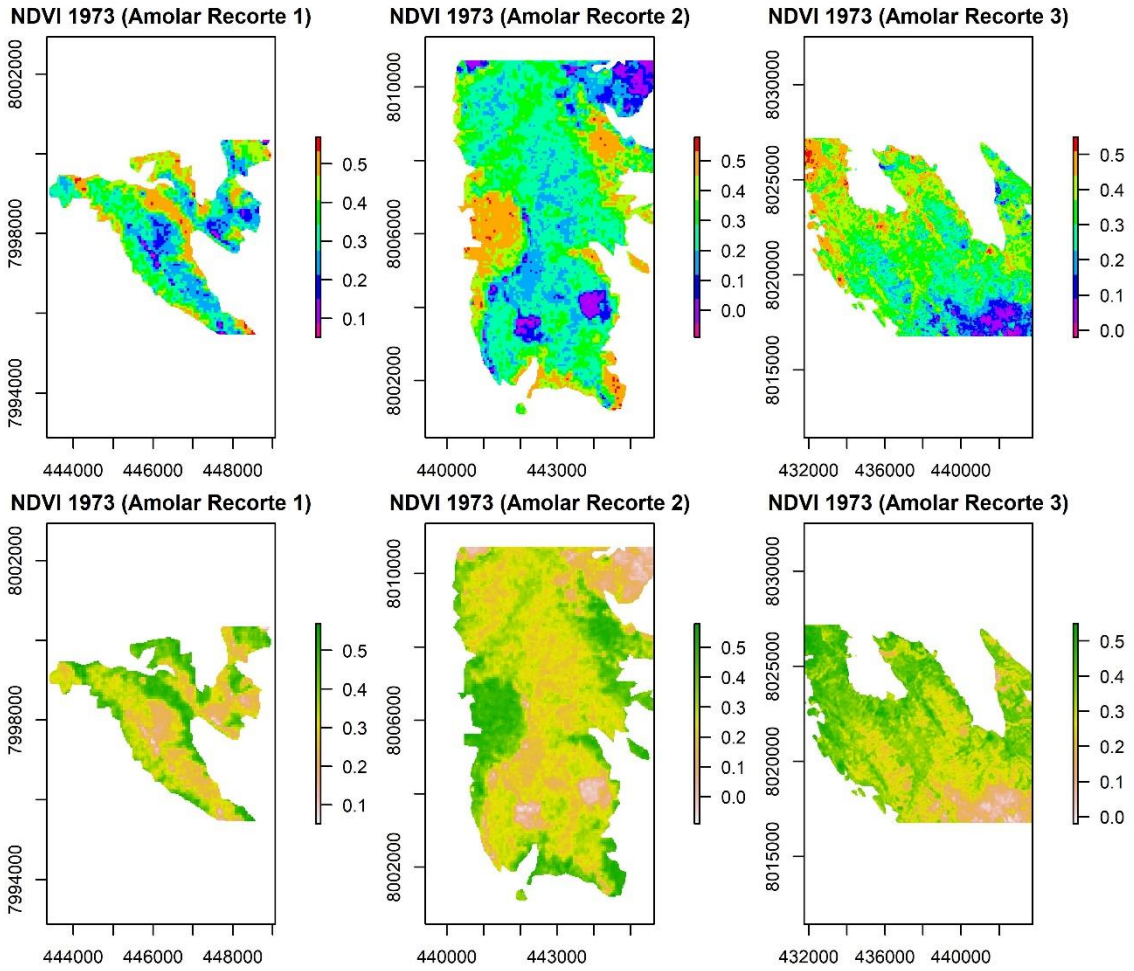

Figura 4.13. Distribuição do NDVI para os três recortes usados na análise para a área de estudo Serra do Amolar no ano de 1973.

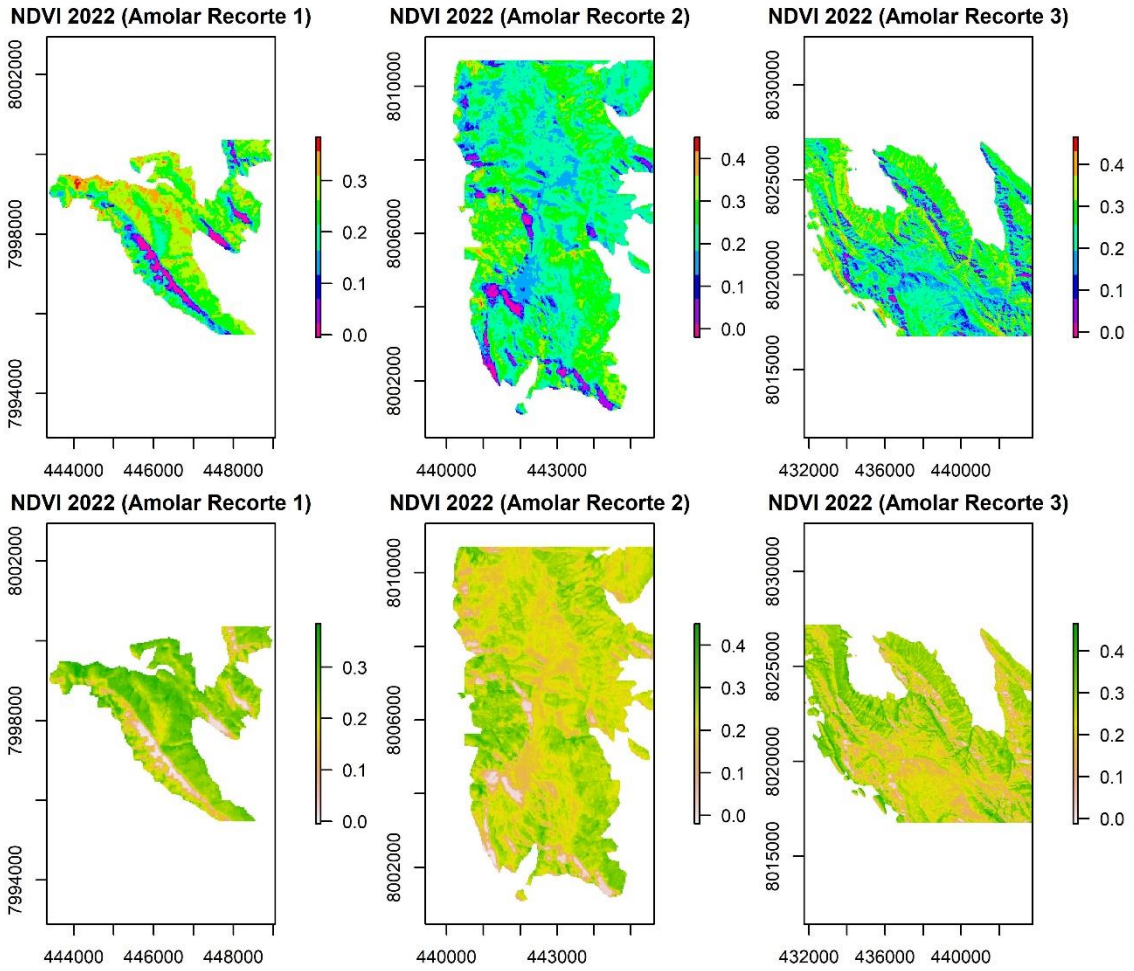

Figura 4.14. Distribuição do NDVI para os três recortes usados na análise para a área de estudo Serra do Amolar no ano de 2022.

Para a Serra do Amolar o NDVI variou de -0.09 a 0,5797 com valor médio de 0.3467 para o recorte 1, de 0,2807 para o recorte 2, e de 0,3264 para o recorte 3, para o ano de 1973 (Tabela 4.3). Já os valores de NDVI de 2022 foram diferentes, variando de -0.02 a 0,4655 com valor médio de 0.2353 para o recorte 1, de 0.2273 para o recorte 2, e de 0.2448 para o recorte 3 (Tabela 4.4).

Tabela 4.4. Resumo dos valores de NDVI para cada recorte e ano de análise na Serra do Amolar.

Amolar 1973 (Landsat 1)		
NDVI Recorte 1	**NDVI Recorte 2**	**NDVI Recorte 3**
Min. :0.0508	Min. :-0.0909	Min. :-0.0204
1st Qu.:0.2692	1st Qu.: 0.2115	1st Qu.: 0.2701
Median :0.3333	Median : 0.2661	Median : 0.3370
Mean :0.3467	Mean : 0.2807	Mean : 0.3264
3rd Qu.:0.4355	3rd Qu.: 0.3488	3rd Qu.: 0.3956
Max. :0.5694	Max. : 0.5797	Max. : 0.5494
Amolar 2022 (Landsat 8)		
NDVI Recorte 1	**NDVI Recorte 2**	**NDVI Recorte 3**
Min. :-0.00492	Min. :-0.0201	Min. :-0.0129
1st Qu.: 0.20955	1st Qu.: 0.1994	1st Qu.: 0.2019
Median : 0.25305	Median : 0.2323	Median : 0.2532
Mean : 0.23530	Mean : 0.2273	Mean : 0.2448
3rd Qu.: 0.28556	3rd Qu.: 0.2657	3rd Qu.: 0.2961
Max. : 0.38493	Max. : 0.4510	Max. : 0.4655

A Figura 4.15 ilustra a distribuição dos pixels na escala de valores de NDVI para os recortes estudados na Serra do Amolar.

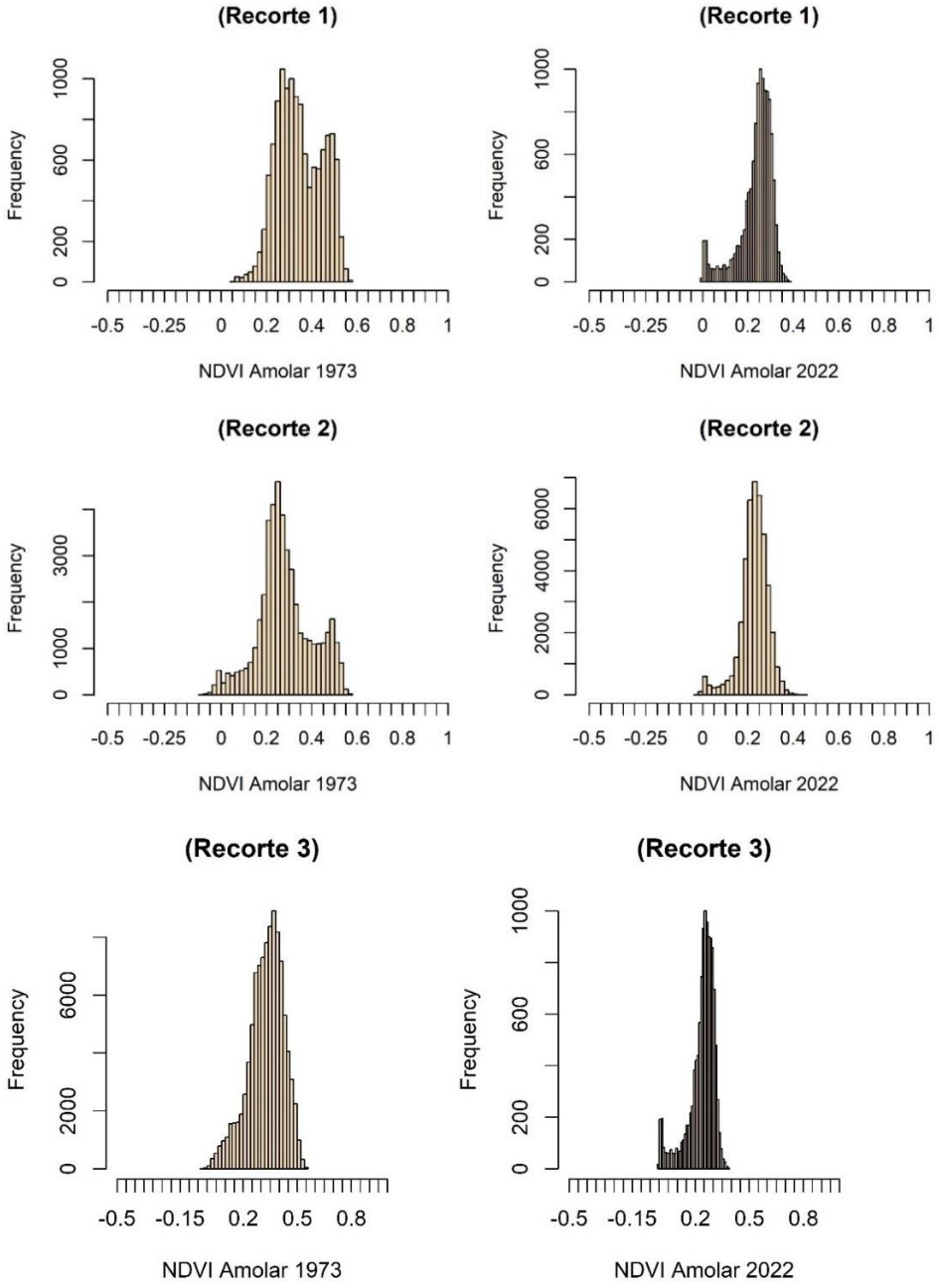

Figura 4.15. Distribuição dos pixels dos recortes analisados em escala de valor de NDVI.

4.3.2 Reamostragem por valor de pixel de NDVI

Os valores máximos e mínimos de NDVI encontrados na reamostragem por pixel para cada uma das áreas estudadas e recortes usados, estão elencados na Tabela 4.5 e 4.6.

Tabela 4.5. Valores máximo e mínimo na reamostragem por pixel para os recortes usados nas análises para Morraria do Urucum em ambos os anos.

Urucum 1973 (Landsat 1)		**Urucum 2022 (Landsat 8)**	
NDVI Recorte 1	**NDVI Recorte 2**	**NDVI Recorte 1**	**NDVI Recorte 2**
Min. :0.2660	Min. :0.2167	Min. :0.1707	Min. :0.1763
Median :0.3369	Median :0.3356	Median :0.2247	Median :0.2495
Mean :0.3397	Mean :0.3295	Mean :0.2324	Mean :0.2574
Max. :0.4489	Max. :0.4020	Max. :0.2597	Max. :0.2444
NA's :23	NA's :23	NA's :23	NA's :23

Tabela 4.6. Valores máximo e mínimo na reamostragem por pixel para os recortes usados nas análises para Serra do Amolar em ambos os anos.

Amolar 1973 (Landsat 1)		
NDVI Recorte 1	**NDVI Recorte 2**	**NDVI Recorte 3**
Min. :0.1652	Min. :-0.000473	Min. :0.3440
1st Qu.:0.2096	1st Qu.: 0.133320	1st Qu.:0.3546
Median :0.2540	Median : 0.151244	Median :0.3653
Mean :0.2444	Mean : 0.149136	Mean :0.3653
3rd Qu.:0.2839	3rd Qu.: 0.188680	3rd Qu.:0.3759
Max. :0.3139	Max. : 0.264294	Max. :0.3866
NA's :24	NA's :21	NA's :25
Amolar 2022 (Landsat 8)		
NDVI Recorte 1	**NDVI Recorte 2**	**NDVI Recorte 3**
Min. :0.1839	Min. :0.1798	Min. :0.1968
1st Qu.:0.2118	1st Qu.:0.1890	1st Qu.:0.2055
Median :0.2396	Median :0.2049	Median :0.2143
Mean :0.2226	Mean :0.2059	Mean :0.2143
3rd Qu.:0.2419	3rd Qu.:0.2175	3rd Qu.:0.2230
Max. :0.2443	Max. :0.2402	Max. :0.2317
NA's :24	NA's :21	NA's :25

A reamostragem por pixel mostra mudanças significativas de NDVI por área amostrada. Na Figura 4.16 é visualizado o resultado da reamostragem para a Morraria do Urucum para os recortes 1 e 2 e na Figura 4.17 é visualizado o resultado para a Serra do Amolar para os recortes 1, 2 e 3.

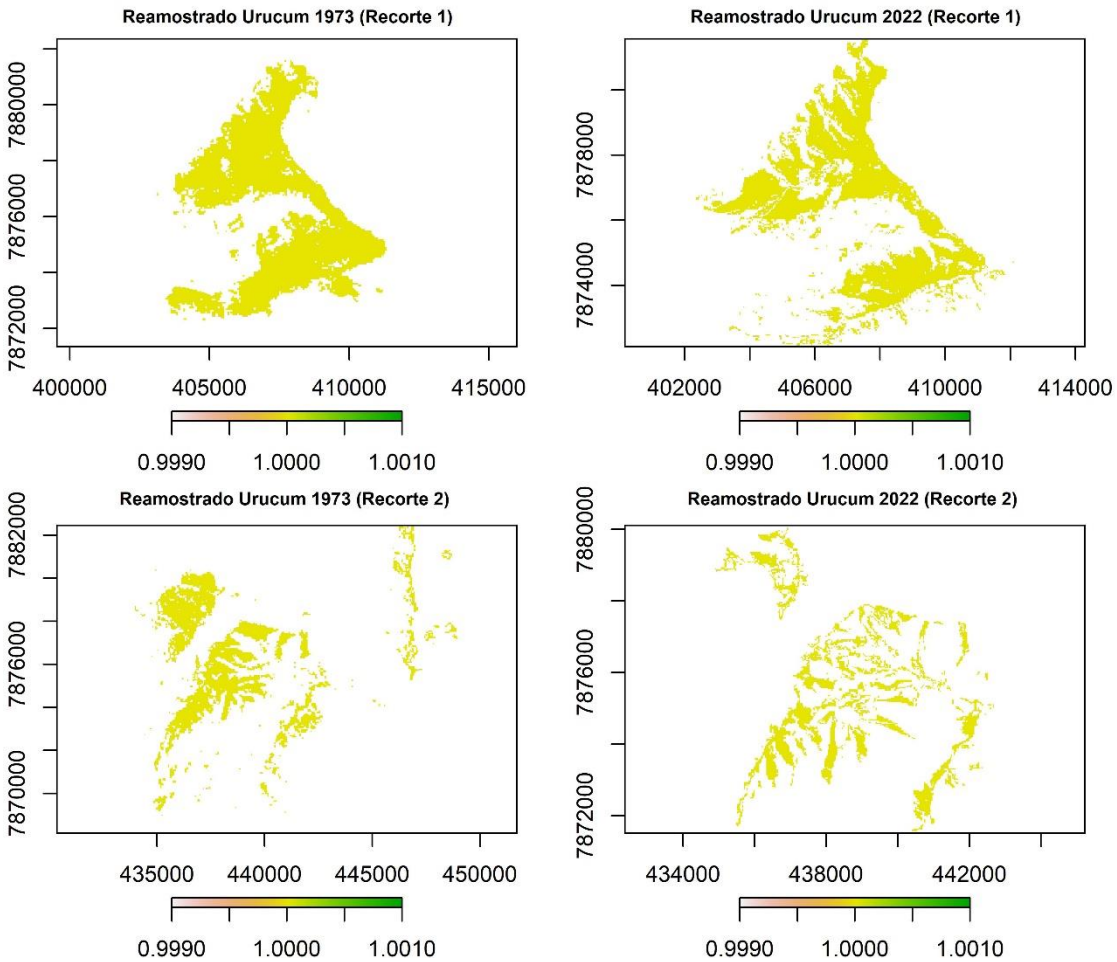

Figura 4.16. Valores dos pixels de NDVI reamostrados para os valores definidos conforme demonstrado na Tabela 4.4 para a Morraria do Urucum.

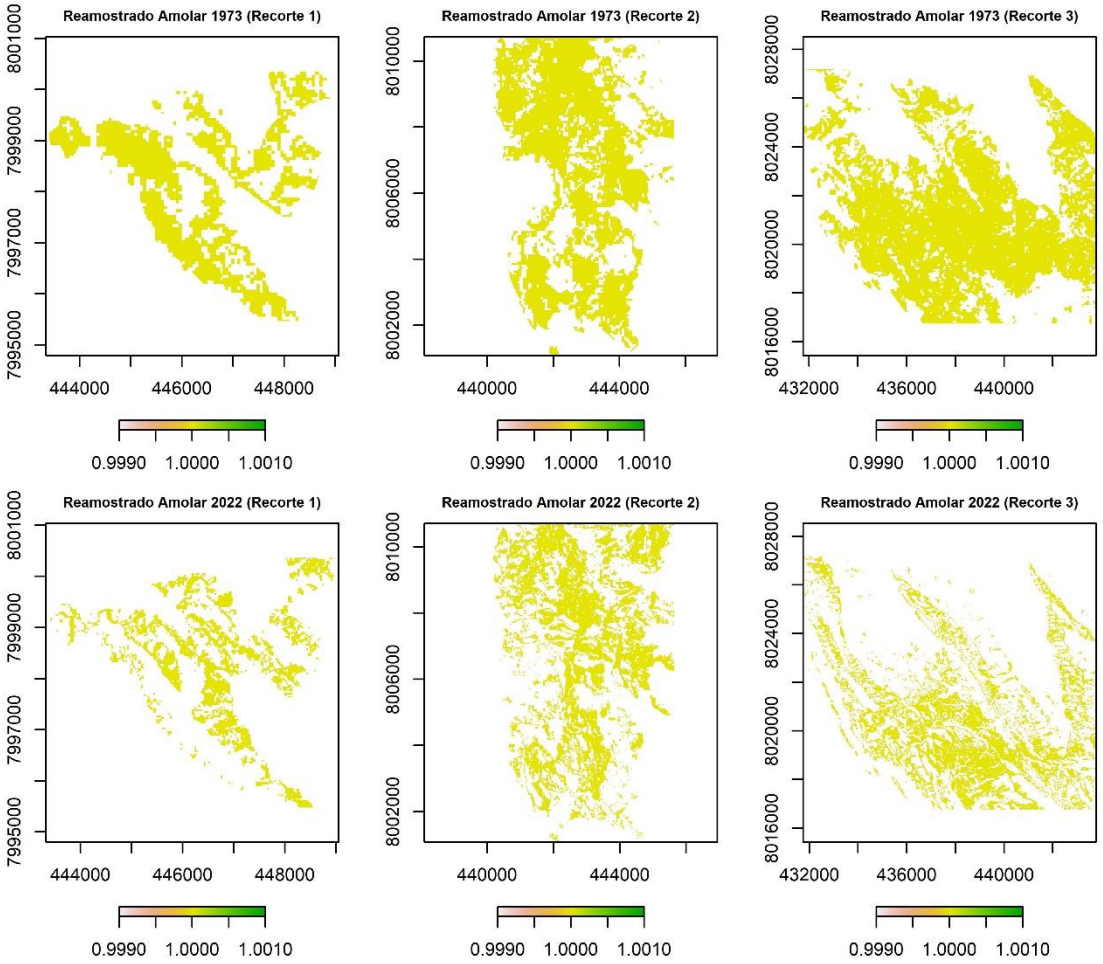

Figura 4.17. Valores dos pixels de NDVI reamostrados para os valores definidos conforme demonstrado na Tabela 4.5 para a Serra do Amolar.

4.3.3 Resposta multitemporal das áreas analisadas

Os dados reamostrados mostraram uma tendência linear decrescente da cobertura vegetal Campos de Altitude, para ambas as áreas de estudo e recortes usados nessa análise durante o período de registro (1973 a 2022). Essa tendência variou entre a estação seca usada na análise e conforme elevação das áreas estudadas. No entanto, as diferenças foram mais significativas com uma ligeira tendência de declínio maior na Morraria do Urucum conforme é mostrado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Dados em área da reamostragem para as duas áreas de estudo e recortes usados na análise. Valores numéricos de área estão em hectares (ha).

Urucum 1973 (Landsat 1)			**Urucum 2022 (Landsat 8)**		
NDVI Recorte 1	**NDVI Recorte 2**		**NDVI Recorte 1**	**NDVI Recorte 2**	
2.515	2.059		1.745	665	
Passivo			*770*	*1.394*	
			30,61%	*67,70%*	
Amolar 1973 (Landsat 1)			**Amolar 2022 (Landsat 8)**		
NDVI Recorte 1	**NDVI Recorte 2**	**NDVI Recorte 3**	**NDVI Recorte 1**	**NDVI Recorte 2**	**NDVI Recorte 3**
598	2.209	5.514	324	1578	2.460
Passivo			*274*	*631*	*3.054*
			45,32%	*28,56%*	*55,39%*

A cobertura de Campos de Altitude variou de 31% a 68,5% para Morraria do Urucum, com média de 49,15% de cobertura decrescente em 2022. Na Serra do Amolar a cobertura variou de 28,56% a 55,39%, com uma média de 43,09% de cobertura decrescente em 2022 (Tabela 4.7, Figura 4.18).

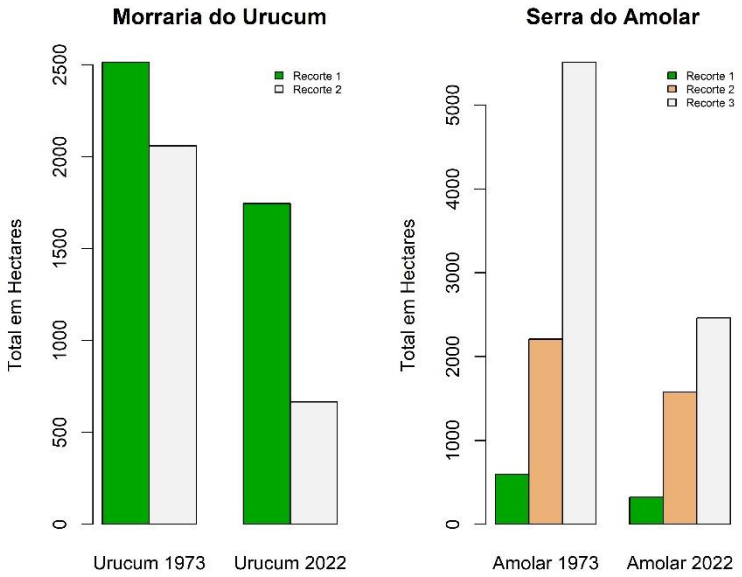

Figura 4.18. Barplot dos valores em área dos dados reamostrados para as áreas e recortes estudados.

Na Figura 4.19 e 4.20 é ilustrado os locais onde ocorreu decréscimo da vegetação, expansão e onde não houve alteração entre 1973 e 2022 em ambas as áreas estudadas.

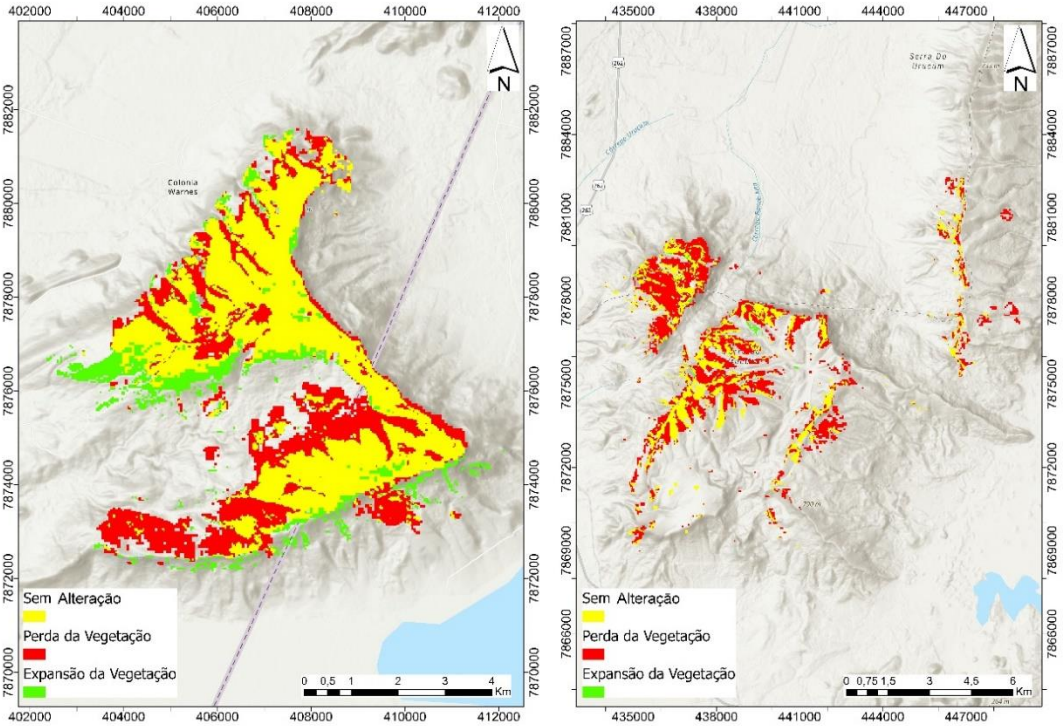

Figura 4.19. Sobreposição multitemporal em cores das diferenças da cobertura de Campos de Altitude para a Morraria do Urucum entre os anos de 1973 e 2022.

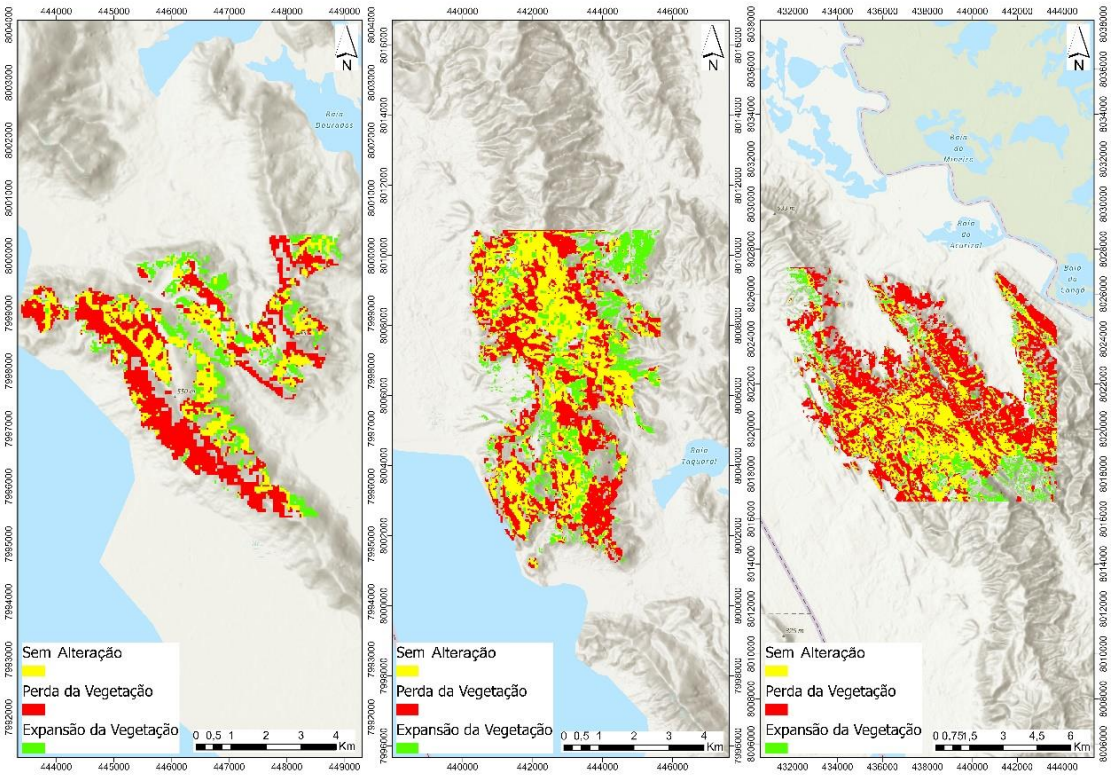

Figura 4.20. Sobreposição multitemporal em cores das diferenças da cobertura de Campos de Altitude para a Serra do Amolar entre os anos de 1973 e 2022.

4.3.4 Métrica da paisagem

Os índices de métricas da paisagem e os valores resultantes estão apresentados nas Figuras 4.21 (Serra do Amolar) e 4.22 (Morraria do Urucum).

Para a Serra do Amolar, o índice TA apresentou valores em área de hectares mais superiores para o ano de 1973 comparado com o ano de 2022 em todos os recortes analisados. O recorte 3 foi o que apresentou a maior diferença de percentual entre 1973 e 2022 de 55,47% a mais em 1973. Já o NP apresentou superioridade de números em 2022, sendo que o recorte 3 foi o que apresentou maior número de fragmentos comparado com 1973 (Tabela 4.8).

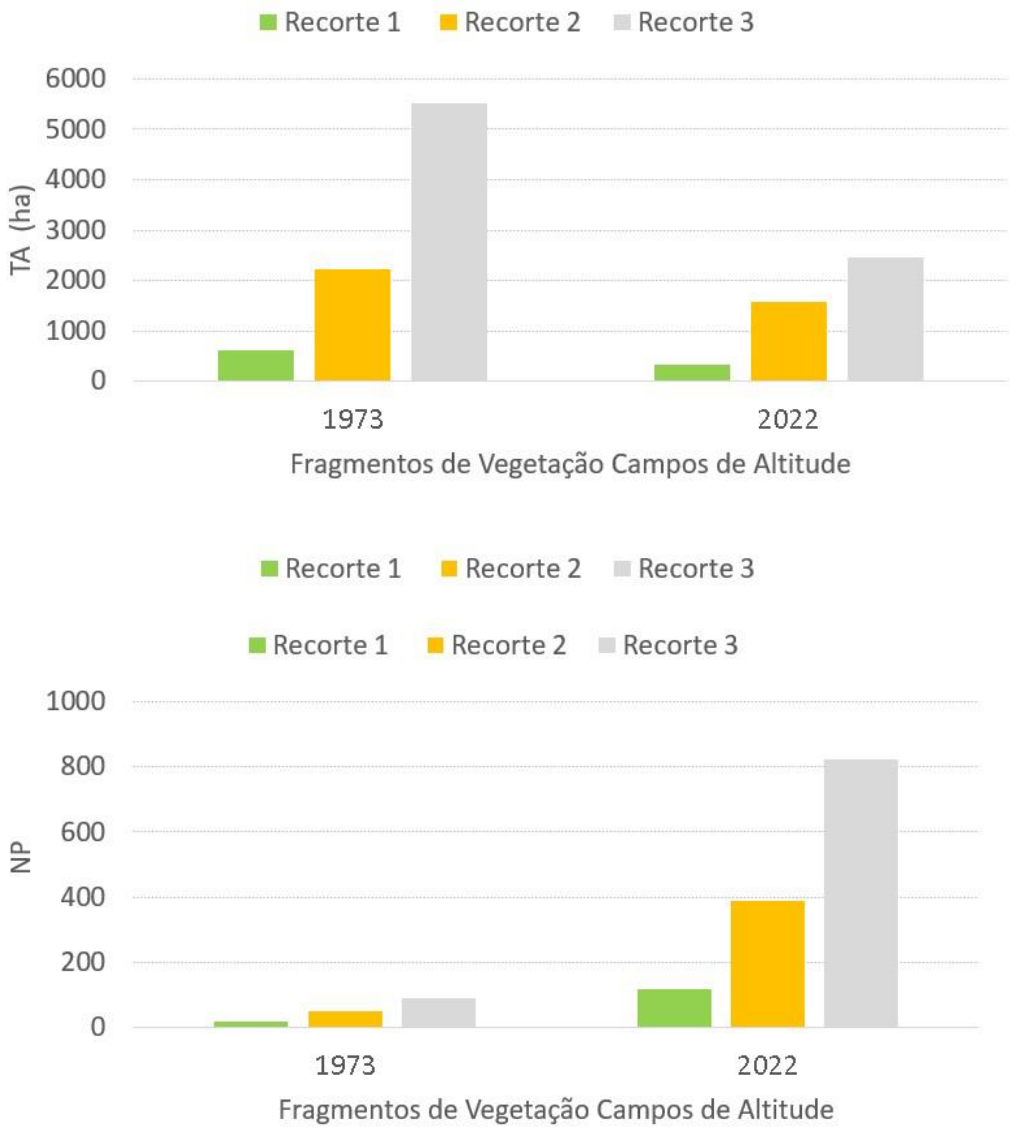

Figura 4.21. Métricas da paisagem para a área de estudo Serra do Amolar e seus três recortes de análise.

Tabela 4.8. Valores encontrados nas métricas de paisagem TA e NP para as áreas estudadas.

		TA (ha)			NP	
Área		1973	2022		1973	2022
Amolar	Recorte 1	**600,39**	**324,9**	Recorte 1	**19**	**117**
	Recorte 2	**2219,85**	**1578,15**	Recorte 2	**51**	**391**
	Recorte 3	**5524,29**	**2460,78**	Recorte 3	**91**	**823**
Urucum	Recorte 1	**2510,64**	**1840,23**	Recorte 1	**42**	**292**
	Recorte 2	**2073,96**	**680**	Recorte 2	**159**	**1030**

Para a Morraria do Urucum o TA apresentou declínio de área nos recortes 1 e 2 no período estudado. O recorte 2 foi o que apresentou maior variação de área com uma diferença de percentual de 67,20% de área a menor quando comparado com 1973. Já o NP apresentou assim como na Serra do Amolar maior número de fragmentação da vegetação, sendo que o recorte 2 foi o que teve maior fragmentação da vegetação ao longo da série histórica analisada apresentando o número de 1030 fragmentos em 2022 e 159 fragmentos em 1973 (Figura 4.22).

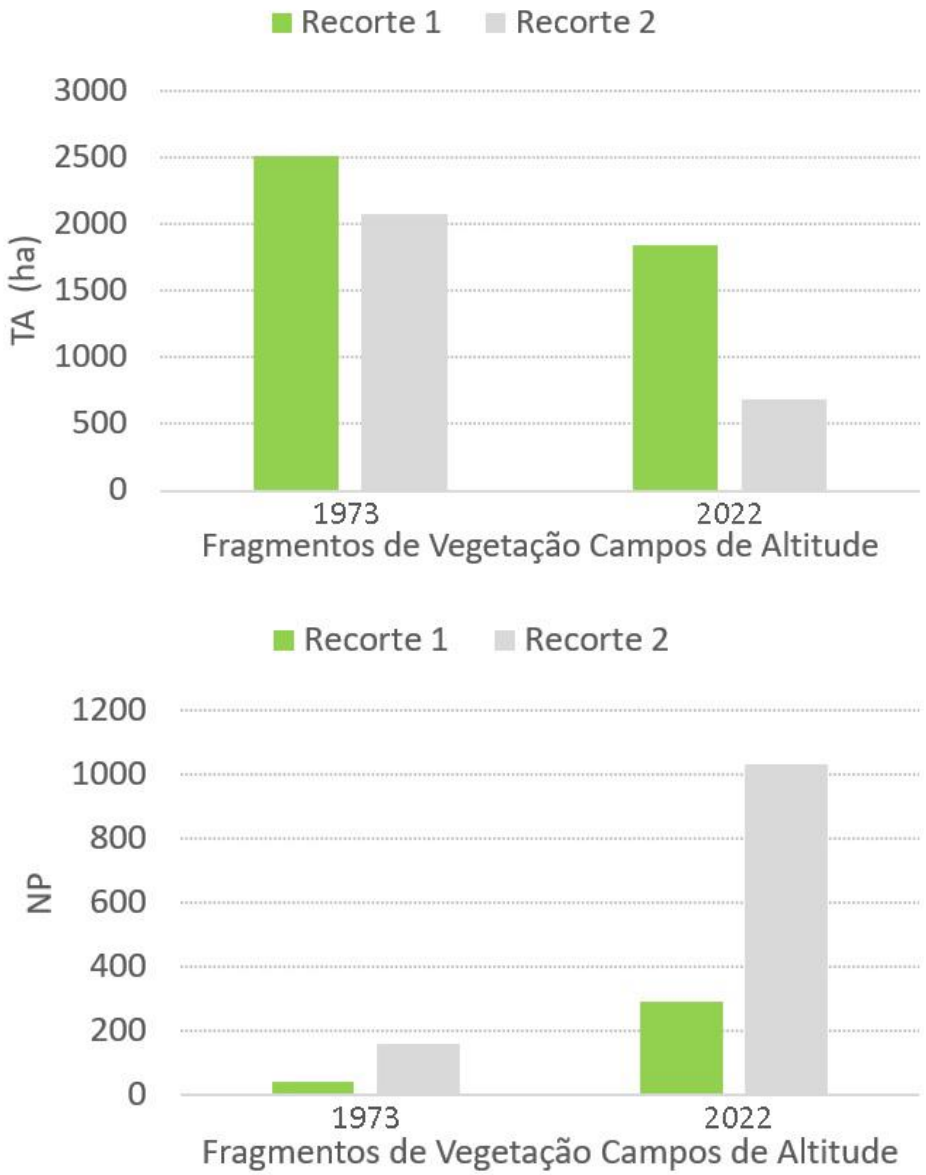

Figura 4.22. Métricas da paisagem para a área de estudo Morraria do Urucum em seus dois recortes de análise.

4.4 DISCUSSÃO

O método proposto foi a combinação dos produtos reamostrados dos NDVIs gerados para classificação das áreas estudas e consequentemente resultar em diferenças espaços-temporais dos produtos. Os dados brutos da classificação do NDVI, mostraram a distribuição dos valores de pixel de NDVI pelas áreas analisadas e recortes usados e a quantidade de pixel para cada valor de NDVI nos gráficos das imagens plotadas. As médias de valores de NDVI foram menores para o ano de 2022 para as ambas as áreas

estudadas comparado com o ano de 1973 (Figuras 12 e 14; Tabelas 3 e 4).

A área coberta com vegetação Campos de Altitude de 1973 era superior em mais de 49% da área total de 2022 para a Morraria do Urucum, e em mais de 43% na Serra do Amolar, ou seja, houve um decréscimo muito acentuado da vegetação Campos de Altitude talvez devido ao aumento da vegetação subarbórea nos pontos mais altos das áreas estudadas nos últimos anos. Esse mesmo fenômeno foi observado em outro estudo realizado por Pessi et al. (2022), para ambas as áreas de estudo, entre os anos de 1985 a 2020, com aproximadamente 36% de decréscimo de vegetação campestre na Serra do Amolar e 32% na Morraria do Urucum. Na presente análise as médias de área foram maiores por se tratar de uma janela de tempo comparativamente maior.

As métricas de paisagem (TA e NP) apresentaram declínio significativo para as duas áreas entre os anos estudados. Como esperado, aumentou o número de fragmentos, já que a alteração da cobertura da vegetação Campos de Altitude pode ter levado a maior fragmentação e menor número de área, principalmente na Morraria do Urucum, e com valores relativamente próximos entre os anos de análise para a Serra do Amolar, o que indica que o decréscimo da área com presença de vegetação Campos de Altitude vai tornando os fragmentos mais irregulares, mais distantes entre si, e mais sensíveis a efeitos de borda. É importante notar que o índice de área total (TA) apresentou declínio dos anos de 1973 a 2022 em ambos os recortes, em conformidade com os resultados encontrados na análise dos dados reamostrados. Essa dinâmica de fragmentação dos Campos de Altitude está ligada com o avanço da tipologia de floresta porte arbóreo que expandiu ao longo do perfil altimétrico conforme foi visualizado por estudos desenvolvido por Pessi et al. (2022) nas mesmas áreas de estudo e janela de tempo próxima da análise desse estudo.

As áreas altas dessa região estão localizadas na zona de clima semiúmido a semiárido do Pantanal, que é uma área ambientalmente frágil, típica do Pantanal Sul-mato-grossense. A Morraria do Urucum carece de estudos ecológicos, pois há muito tempo possui séria degradação do solo por conta da extração de minério. O processo de mudança da dinâmica da vegetação é muito complexo. Se a contribuição relativa de vários fatores ambientais não for clara, a força motriz da atividade dinâmica da vegetação será difícil de reconhecer (LOU et al., 2021; HUANG et al., 2021). Fatores ambientais tais como as mudanças climáticas e atividades humanas, como a extração de minério por exemplo, têm sido verificadas como os principais fatores causadores da mudança da vegetação (ZHANG et al., 2018; ZOU, LI & HU, 2020; JIANG et al., 2022; PESSI et al.,

2022).

A vegetação é particularmente sensível às mudanças climáticas durante seu período de crescimento, especialmente em áreas frágeis de altitude (ZHOU et al., 2004; XU et al., 2017; JIANG et al., 2022). Os resultados dessa análise demonstraram que os dados reamostrados de Campos de Altitude na Serra do Amolar e Morraria do Urucum diminuíram ligeiramente em área de cobertura nos últimos 50 anos, semelhante ao obtido em outros estudos.

As colocações acima têm implicações importantes para a conservação e restauração nas diferentes regiões montanhosas do Brasil. Os impactos dos fatores climáticos, ambientais e antrópicos precisam ser considerados de forma abrangente na formulação e implementação de políticas públicas. O NDVI é sensível aos fatores climáticos e ambientais relacionados às mudanças na resposta da vegetação (ZHANG et al., 2018; DONG et al., 2021; JIANG et al., 2022; HUANG et al., 2021).

Infere-se que a mudança na cobertura do solo reflete nos valores de NDVI, na medida em que os dados de cobertura do solo mostram uma diminuição considerável na área de campo e um aumento na área subarbórea e esta geralmente apresenta NDVI mais alto e mais constante do que a vegetação herbácea (PARUELO & LAURENROTH, 1995). Embora a importância das mudanças antrópicas da cobertura do solo como causadora de impactos ambientais seja amplamente reconhecida (JONG et al., 2012; PETTORELLI et al., 2005), os estudos das tendências globais e regionais das alterações da cobertura da vegetação montanhosa nas últimas décadas geralmente se concentraram nos fatores climáticos, sem explicitar quais fatores ambientais são responsáveis pela alteração da cobertura vegetal montanhosa.

Na análise da década de 1980, Pessi et al. (2022) apontaram a presença de mineração na região da Morraria do Urucum, o que pode ter acelerado uma série de mudanças na cobertura do solo para essa área. À época, os valores mais baixos de campos de altitude foram encontrados onde ocorria mineração (recorte 2), o que é consistente com os resultados deste trabalho, uma vez que o recorte 2 foi o que mais sofreu redução de cobertura.

O método de reamostragem teve um impacto significativo na classificação paisagística com base em dados de sensoriamento remoto. Neste estudo, as técnicas empregadas foram satisfatórias para o tipo de vegetação estudada, no entanto esta metodologia deve ser testada em áreas com diferentes terrenos e outras características paisagísticas e ambientais.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A observação e classificação da cobertura vegetal é comumente vista como um diagnóstico vital da variação climática e também um controle de primeira ordem na interação biosfera-atmosfera. Consequentemente, os dados de observação da Terra têm sido fundamentais no monitoramento e mapeamento da dinâmica da vegetação nas últimas décadas. Como a maioria dos esforços são feitos em dados únicos ou em escalas maiores, portanto mais investigações em escala local com vegetação campestre montanhosa tropical ainda são necessárias para monitorar se está ocorrendo alterações espaciais de sua distribuição e buscar entender quais são os fatores que estão ligados a estes efeitos.

A análise desse estudo sugere que a dinâmica do NDVI está intimamente relacionada com a alteração da cobertura vegetal, e diferentes fatores ambientais têm diferentes contribuições para a dinâmica da vegetação em diferentes altitudes. As relações abrangentes entre a vegetação e os fatores ambientais podem estar conectados e resultarem em alterações significativas na cobertura vegetal para esta região montanhosa do Pantanal e outros sistemas montanhosos semelhantes.

As conclusões deste estudo têm implicações importantes para os formuladores de políticas e gestores administrativos em termos de formulação e implementação de estratégias de conservação e restauração ecológica nas diferentes regiões montanhosas do Brasil. Na área úmida, como é o caso do Pantanal, os tipos de vegetação apropriados devem ser selecionados, as estruturas de vegetação regional devem ser otimizada, e a vegetação de alto consumo de água deve ser gradualmente substituída por vegetação de baixo consumo de água, como grama e plantas tolerantes à seca. Além disso, as atividades humanas negativas devem ser controladas, para evitar a degradação total desses habitats montanhosos.

4.6 REFERÊNCIAS

CERASOLI, S. M.; CAMPAGNOLO, J.; FARIA, C.; NOGUEIRA, CALDEIRA, M. da C. On estimating the gross primary productivity of Mediterranean grasslands under different fertilization regimes using vegetation indices and hyperspectral reflectance. **Biogeosciences**, v. 15, n. 17, p. 5455–5471, 2018.

DONG, Y. et al. Spatial–Temporal Evolution of Vegetation NDVI in Association with Climatic, Environmental and Anthropogenic Factors in the Loess Plateau, China during 2000–2015: Quantitative Analysis Based on Geographical Detector Model. **Remote Sens**., v. 13, p. 4380, 2021.

FISCHER, R. N. et al. The relevance of forest structure for biomass and productivity in temperate forests: New perspectives for remote sensing. **Surveys in Geophysics**, p. 40, v. 4, p. 709–734, 2019.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D. & MOORE, R. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. 2017. Acessado em: 26 de junho de 2022. Disponível em: https://earthengine.google.com/.

HEINSCH, F. A. et al. Evaluation of remote sensing based terrestrial productivity from MODIS using regional tower eddy flux network observations. IEEE Transactions on **Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, n. 7, p. 1908–1923, 2006.

HIJMANS, R. (2022). **_raster: Geographic Data Analysis and Modeling_**. R package version 3.6-3. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.

HUANG, C. et al. Analysis of the Spatial and Temporal Changes of NDVI and Its Driving Factors in the Wei and Jing River Basins. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 18, p. 11863, 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acessado em: 10 de out. 2021.

JONG, R. de; VERBESSELT, J.; SCHAEPMAN, M.E.; BRUIN, S. de. Trend changes in global greening and browning: Contribution of short-term trends to longer-term change. **Glob. Chang. Biol**. 2012, 18, 642–655.

JIANG, F. et al. Spatial Pattern and Dynamic Change of Vegetation Greenness From 2001 to 2020 in Tibet, China. **Front. Plant Sci**., v. 13, p. 892625, 2022.

KRAKAUER, N. Y.; LAKHANKAR, T. & ANADÓN, J. D. Mapping and Attributing Normalized Difference Vegetation Index Trends for Nepal. **Remote Sens**., v. 9, p. 986, 2017.

LOU, J. et al. Multi-Year NDVI Values as Indicator of the Relationship between

Spatiotemporal Vegetation Dynamics and Environmental Factors in the Qaidam Basin, China. **Remote Sens**., v. 13, p. 1240, 2021.

MYNENI, R. B.; HALL, F. G.; SELLERS, P. J.; MARSHAK, A. L. The interpretation of spectral vegetation indexes. IEEE Trans. Geosci. **Remote Sens**., v. 33, p. 481–486, 1995.

MCGARIGAL, K. Landscape Pattern Metrics. **University of Massachusett**. 2013

MAHAUT, L.; FORT, F.; VIOLLE, C. & FRESCHET, G. T. Multiple facets of diversity effects on plant productivity: Species richness, functional diversity, species identity and intraspecific competition. **Functional Ecology**, v. 34, n. 1, p. 287–298, 2020.

MIOTO, C. L. **Geotecnologias na Análise das Peculiaridades dos Recursos Hídricos da Planície Pantaneira**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2016. 94p.

PESSI, D. D. et al. Loss of Natural Habitats: High-Altitude Vegetation, Pantanal. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e2911326242, 2022.

PARUELO, J. M., & LAUENROTH, W. K. Regional Patterns of Normalized Difference Vegetation Index in North American Shrublands and Grasslands. **Ecology**, v. 76, n. 6, p. 1888–1898, 1995.

PETTORELLI, N. et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends Ecol. Evolut**., v. 20, p. 503–510, 2005.

QGIS Development Team, 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org

R CORE TEAM (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

ROUSE, J. W. J.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In**: Third ERTS Symposium. Washington DC: NASA Special Publication Press, v. 351, p. 309–317, 1973.

SCHER, C. L. et al. Application of remote sensing technology to estimate productivity and assess phylogenetic heritability. **Applications in Plant Sciences**, v. 8, n. 11,

e11401. doi:10.1002/aps3.11401, 2020.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/. Acessado em: 08 de jun. de 2021.

USGS. **LANDSAT-8**. Image courtesy of the U.S. Geological Survey. Acessado em: 26 de junho de 2022. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/.

USGS. **LANDSAT-1**. Image courtesy of the U.S. Geological Survey. Acessado em: 24 de junho de 2022. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/.

VOLOTÃO, C. F. S. **Trabalho de Análise Espacial Métricas do Fragstats**. Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998. 45p.

XU, H. et al. Characteristics and applications of ecological soil substrate for rocky slope vegetation in cold and high-altitude areas. **Sci. Total Environ**., v. 609, p. 446–455, 2017.

YU, T. et al. Estimation of global vegetation productivity from global land surface satellite data. **Remote Sensing**, v. 10, n. 2, p. 327, 2018.

ZHANG, Z. X. et al. The response of lake area and vegetation cover variations to climate change over the Qinghai-Tibetan plateau during the past 30 years. **Sci. Total Environ**., v. 635, p. 443–451, 2018.

ZHOU, H. K. et al. Effect of long-term grazing on alpine shrub vegetation in Qinghai-Tibet plateau. **Grassl. China**, v. 24, p. 107–128, 2004.

ZOU, F. L. et al. Responses of vegetation greening and land surface temperature variations to global warming on the Qinghai-Tibetan plateau, 2001–2016. **Ecol. Indic**., v. 119, p. 106867, 2020.

QUINTO CAPÍTULO: RESPOSTA DA VEGETAÇÃO CAMPOS DE ALTITUDE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA FAIXA ALTUDINAL ACIMA DOS 400 METROS DA SERRA DO AMOLAR E MORRARIA DO URUCUM, PANTANAL

Resumo: Ecossistemas montanhosos tropicais são considerados particularmente vulneráveis às mudanças climáticas devido à grande porcentagem de flora endêmica com distribuições estreitas que, às vezes, são restritas a uma única cordilheira. O objetivo deste estudo foi examinar os efeitos impulsionadores das mudanças climáticas sobre a distribuição espacial da vegetação Campos de Altitude visualizados nos capítulos anteriores, ao longo de uma faixa altudinal acima dos 400 m na Serra do Amolar e Morraria do Urucum, ambos inseridos no Pantanal Sul-mato-grossense. Foi realizado a aquisição dos dados de variáveis no Google Earth Engine no período de 1982 a 2022 para dados climáticos e de 1985 a 2022 para dados de NDVI. Os dados foram analisados e trabalhados usando o *software* R, no qual foi aplicado as métricas de análise sobre os dados *raster* para identificar variação espacial das médias de NDVI, e aplicado métodos estatísticos como correlação de Pearson e regressão linear simples para identificar a força de relação entre as variáveis climáticas e o NDVI. Os resultados demonstraram que houve uma tendência de aumento na temperatura, no NDVI (resposta da vegetação) e na precipitação ao longo dos 37 anos analisados. E as variáveis climática apresentaram relação com o NDVI na regressão linear e no teste de Pearson. O estudo revelou, assim, o mérito dessa análise com uma abordagem técnica para avaliar a contribuição da mudança climática versus alteração na dinâmica da vegetação em ecossistemas montanhosos.

Palavras-chave: NDVI, clima, vegetação montanhosa, aquecimento global, Pantanal

FIFTH CHAPTER: VEGETATION RESPONSE IN CAMPOS DE ALTITUDE TO CLIMATE CHANGE IN THE ALTUDINAL RANGE ABOVE 400 METERS OF SERRA DO AMOLAR AND MORRARIA DO URUCUM, PANTANAL

Abstract: Tropical mountain ecosystems are considered particularly vulnerable to climate change due to the large percentage of endemic flora with narrow distributions that are sometimes restricted to a single mountain range. The objective of this study was to examine the driving effects of climate change on the spatial distribution of Campos de Altitude vegetation visualized in the previous chapters, along an altudinal range above 400 m in Serra do Amolar and Morraria do Urucum, both inserted in the Pantanal Sul - mato-grossense. The acquisition of variable data in Google Earth Engine was carried out in the period from 1982 to 2022 for climate data and from 1985 to 2022 for NDVI data. The data were analyzed and worked using the R software, in which the analysis metrics were applied on the raster data to identify spatial variation of the NDVI means, and statistical methods such as Pearson's correlation and simple linear regression were applied to identify the strength of the relationship between climate variables and the NDVI. The results showed that there was an increasing trend in temperature, NDVI and precipitation over the 37 years analyzed. And the climate variables were related to the NDVI in the linear regression and in the Pearson test. The study thus revealed the merit of this analysis with a technical approach to assess the contribution of climate change versus alteration in vegetation dynamics in mountainous ecosystems.
Keywords: NDVI, clime, mountainous vegetation, global warming, Pantanal

5.1 INTRODUÇÃO

Ecossistemas montanhosos tropicais são considerados particularmente vulneráveis às mudanças climáticas devido à grande porcentagem de flora endêmica com distribuições estreitas que, às vezes, são restritas a uma única cordilheira (KATTAN et al., 2004; RAMIREZ-VILLEGAS et al., 2014). Espécies vegetais restritas em determinadas faixas de distribuição altitudinal devem ter tolerâncias de habitat estreitas àquelas faixas no perfil de elevação. Portanto, altas taxas de perda e renovação de espécies vegetais são esperadas com o aquecimento do clima nos ecossistemas montanhosos (RAMIREZ-VILLEGAS et al., 2014), principalmente nas zonas tropicais onde o clima sofre maiores mudanças, e com a expectativa sombria de que 60% da flora poderia ser perdida ou seriamente ameaçada até 2050 (LEON-GARCIA & LASSO, 2019). Respostas às mudanças climáticas pode definir a distribuição da vegetação. Aquelas com grande capacidade de migração podem ser capazes de rastrear o deslocamento de seu nicho, enquanto que aquelas outras com alta tolerância ao calor pode ser capazes de lidar com

novas condições e sofrerem redução no perfil de elevação ou até mesmo desaparecerem dando lugar a outras espécies mais adaptadas àquelas novas condições climáticas (BROENNIMANN et al., 2006; LEON-GARCIA & LASSO, 2019).

Existem poucos estudos sobre a tolerância ao calor das espécies tropicais montanhosas quando em contraste com o de clima temperado, onde as espécies vegetais montanhosas com ampla tolerância térmica e significativo potencial de aclimatação ao aquecimento foram relatados em alguns estudos (LEON-GARCIA & LASSO, 2019; SMILLIE & NOTT, 1979). Outros estudos realizados no sudoeste da China, que investigaram as mudanças climáticas e seus efeitos na mudança da vegetação, relataram que essa região da China experimentou um aquecimento climático durante as últimas quatro décadas do século 20 (ZHAI et al., 2005; DING et al., 2007; LI et al., 2012; TAO et al., 2016), e que a tendência do aquecimento apresenta variações, espacialmente e temporalmente, e que trouxe impactos generalizados na mudança da vegetação (ZHANG et al., 2010, 2012; BARRIOPEDRO et al., 2012).

O aquecimento climático, desde a década de 1980, exerceu um efeito mais significativo na mudança da vegetação do que outros fatores (WANG et al., 2008; HOU et al., 2015), e o efeito significativo mostrou uma variação na distribuição da vegetação montanhosa (LI et al., 2015). Considerando que o limite de temperatura superior em áreas com Campo de Altitude tem sido raramente estudado, a avaliação da tolerância ao calor neste ecossistema pode ajudar a avaliar a vulnerabilidade da vegetação Campo de Altitude e melhorar as previsões sobre o impacto do aquecimento nas regiões tropicais, como o Pantanal brasileiro.

É desejável, portanto, esperar que a tolerância ao calor do Campo de Altitude responda ao grau de desacoplamento que a espécie pode alcançar, o que estará principalmente relacionado a características como a forma de distribuição espacial ao longo do perfil altimétrico, como também a substituição de vegetação Campo de Altitude por outros tipos de fitofisionomias, que possam estar mais adaptadas às alterações climáticas daquele local. A maior parte do conhecimento sobre a tolerância de vegetação montanhosa ao calor em altitudes elevadas vem de regiões temperadas, cuja tolerância ao calor é superior ao que seria previsto de seu ambiente térmico (KORNER, 2003). Estudos sobre a vegetação montanhosa em regiões tropicais, como é o caso dos Campos de Altitude no Pantanal, torna-se necessário para entender os reflexos da flutuação do clima e seus impactos sobre a distribuição da vegetação montanhosa e os impactos sobre a biodiversidade desses ambientes. Portanto, o objetivo deste estudo foi examinar os efeitos

impulsionadores das mudanças climáticas sobre a distribuição espacial da vegetação Campos de Altitude visualizados nos capítulos anteriores, ao longo de uma faixa altitudinal acima dos 400 m na Serra do Amolar e Morraria do Urucum, ambos inseridos no Pantanal Sul-mato-grossense.

5.2 METODOLOGIA

5.2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende duas áreas amostrais: Serra do Amolar e Morraria do Urucum, ambas inseridas no Pantanal Sul-mato-grossense, no município de Corumbá-MS (Figura 5.1). As altas regiões montanhosas do sudoeste do Pantanal Sul-mato-grossense possuem elevações que variam de 1000 m acima do nível do mar como a Serra do Amolar. A elevação aumenta do Sul para o Noroeste na área de estudo Serra do Amolar e aumenta de Leste a Norte na Morraria do Urucum. Os dados de uso da terra (PESSI et al., 2022) mostram que florestas arbóreas, Campos de Altitude e pastagens cobrem 14.577 hectares, 16.494 hectares e 420 hectares das áreas com vegetação, respectivamente (Figura 5.2). A maioria das áreas vegetadas por Campos de Altitude na Serra do Amolar (SA) e Morraria do Urucum (MU) estão localizadas em áreas ecologicamente frágeis, com uma área total de aproximadamente 21.470 hectares para SA e 10.633 hectares para MU. A região onde estão inseridas as áreas SA e MU é classificada como sendo zona tropical úmida do Sul, típico de trópicos, com verões muito quentes e úmidos, chuvas em abundância entre os meses de outubro a março (médias mensais de 300 mm), e período de seca no inverno entre os meses de abril a setembro (médias mensais de 100 mm), temperaturas médias entre 25 ºC, podendo chegar a 40 ºC.

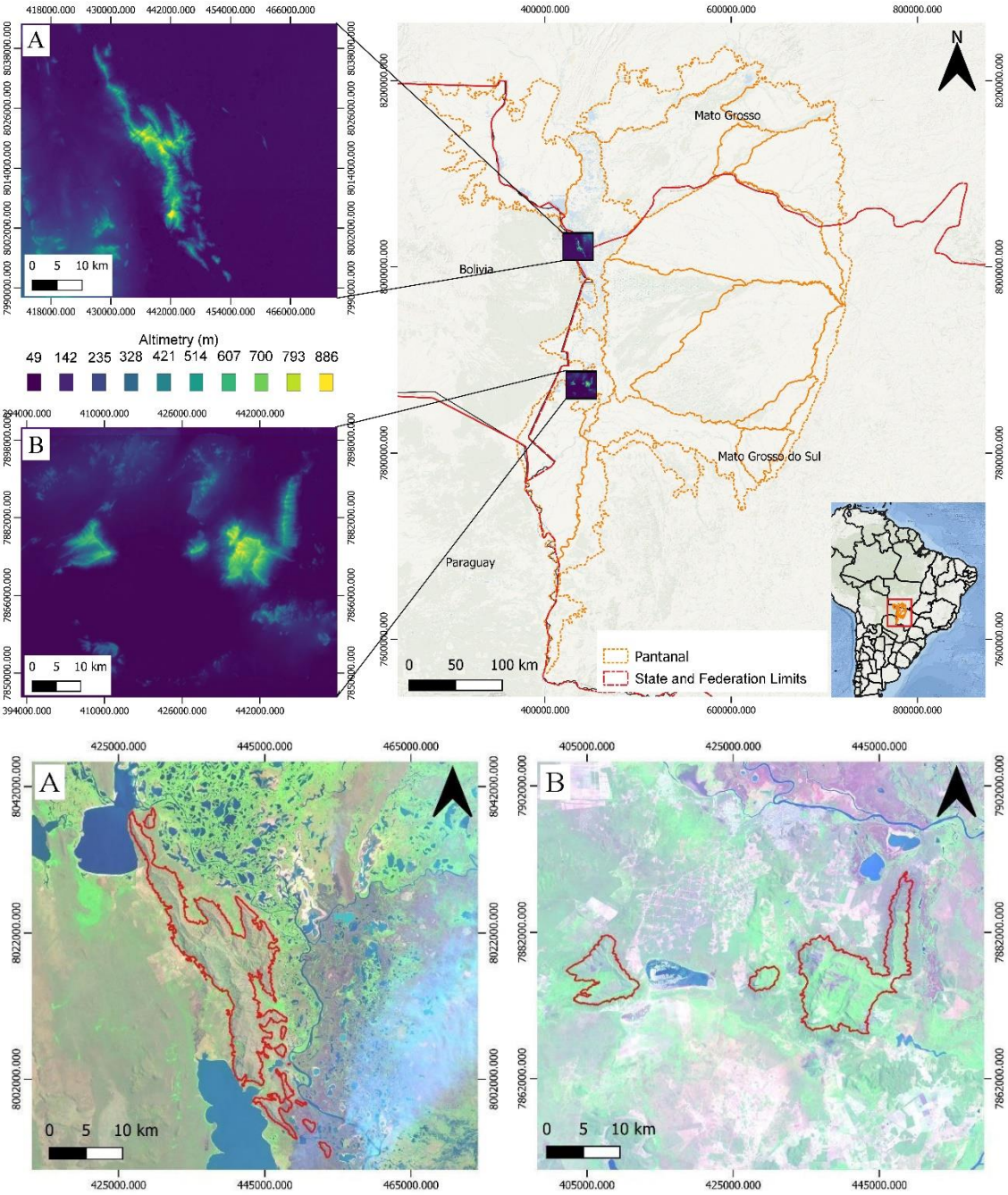

Figura 5.1. Localização das duas áreas de estudos, em a) Serra do Amolar, e em b) Morraria do Urucum, ambas inseridas no contexto do Pantanal. Fonte: Dados vetoriais do Pantanal: Mioto (2016). Dados vetoriais de Estados e municípios: IBGE (2021). Sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000, 21S. Dados de imagens de elevação: TOPODATA (2021).

5.2.2 Faixa altudinal para análise meteorológica

Os dados de altimetria (TOPODATA, 2021) das áreas de estudo (disponíveis no site do INPE em: http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/) foram reclassificados

para valores superiores a 400 metros, pois a partir dessa atitude foi expressa toda a área de interesse para este estudo, contendo as partes mais altas a presença dos Campos de Altitude. Após a reclassificação, o raster foi convertido em um shapefile com as áreas reamostradas às áreas pré-definidas como locais acima dos 400 metros de altitude (Figura 5.2).

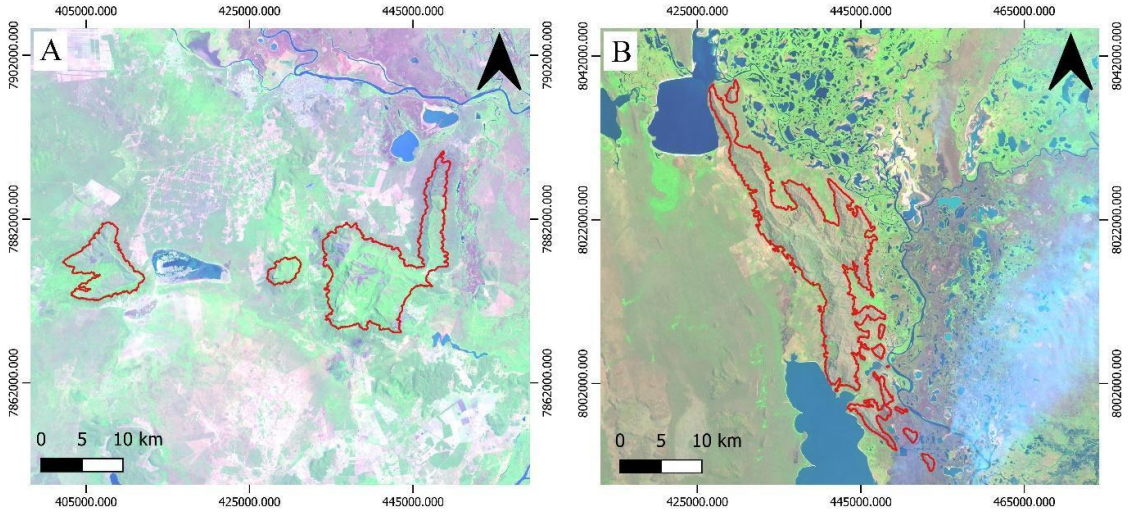

Figura 5.2. Polígonos gerados a partir dos dados de altimetria nas duas áreas de estudo. Em A) Morraria do Urucum; em B) Serra do Amolar. Fonte: Imagens Landsat 8 (U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2020).

5.2.3 Campos de Altitude

Para identificar a presença dos Campos de Altitude, foi realizado trabalho de campo quando buscou-se identificar os pontos onde havia presença de vegetação Campos de Altitude e foram coletados pontos de localização com GPS, para que a partir desses pontos fosse caracterizado os locais onde havia a presença dos fragmentos dos Campos de Altitude. Dessa forma, foram levantado seis pontos de amostras na Morraria do Urucum e seis pontos de amostras na Serra do Amolar, conforme é ilustrado na Figura 5.3. O trabalho de campo foi realizado dentro das áreas selecionadas sendo essas áreas pré-definidas como locais acima dos 400 metros de altitude.

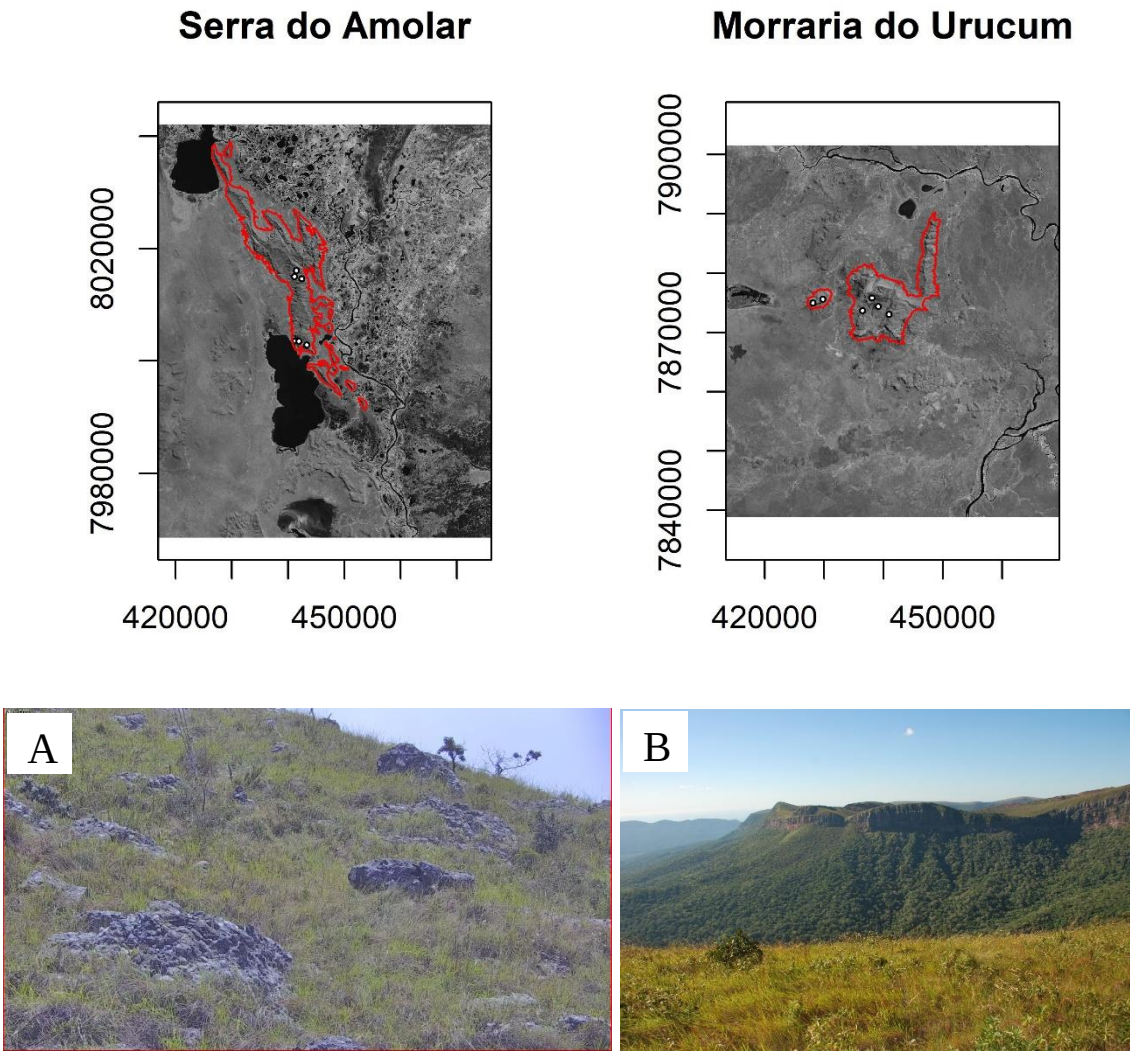

Figura 5.3. Localização de pontos dos locais com presença de vegetação Campos de Altitude nas áreas da Serra do Amolar e Morraria do Urucum. Legenda: Em linha vermelha, delimitação das áres de estudo. Pontos brancos, pontos com presença de Campos de Altitude. Em A) Serra do Amolar; em B) Morraria do Urucum. Fonte: Crédito da imagem A) Instituto Homem Pantaneiro - IHP (2022); Crédito da imagem B) Vale – Mina Urucum (2022).

5.2.4 Aquisição de dados meteorológicos e NDVI

Esta pesquisa utilizou o Google Earth Engine (GEE) (https://earthengine.google.com/) (acessado em 01 de fevereiro de 2023) para se obter os conjuntos de dados meteorológicos e de NDVI. Os dados de NDVI foram obtidos através de dois principais sensores, sendo que os anos de 1985 a 2013 foram através do sensor TM satélite Landsat-5, dados de médias mensais desde 01/01/1985 a 31/12/2011, de

resolução espacial de 30 m. Em seguida, obteve-se os dados NDVI de 01/01/2013 a 31/12/2022 através do sensor OLI setélite Landsat-8 com resolução espacial de 30 m. Não há dados para 2012, já que o Landsat-7 acabou com falhas em seu sensor comprometendo as imagens. Vale lembrar que não há dados para todos os meses, já que existem cenas que possuem nuvens que coomprometem a análise, portanto foram usadas apenas as cenas com =<5% de cobertura de nuvens. Os dados de precipitação foram obtidos através do sensor UCSB-CHG/CHIRPS/PENTAD, com médias mensais entre os anos de 1982 a 2022. Já os de temperatura foram obtidos pelo sensor ECMWF/ERA5_LAND, com médias mensais entre 1982 e 2022.

Tabela 5.1. Informações dos dados utilizados para as análises dessa pesquisa.

Conjunto de dados	Tempo de análise	Fonte de dados
Temperatura	1982 - 2022	ECMWF/ERA5_LAND, Google Earth Engine (https://earthengine.google.com/ (obtido em 06 fevereiro 2023)
Precipitação	1982 - 2022	UCSB-CHG/CHIRPS/PENTAD, Google Earth Engine (https://earthengine.google.com/ (obtido em 06 fevereiro 2023)
NDVI	1985 - 2022	Landsat-5 e Landsat-8, Google Earth Engine (https://earthengine.google.com/ (obtido em 06 fevereiro 2023)

Fonte: Os autores.

5.2.5 Método de Análise de Álgebra de dados *Raster* (NDVI)

O método de análise de álgebra de produtos *rasters* usa principalmente a função célula a célula (*cell-by-cell*). Na Figura 5.4 tem um exemplo de uma célula (*pixel*) de um dado *raster*. Este tipo tem *rasters* diretamente empilhados (dados de entrada, Figura 5.5) uns sobre os outros. Em seguida, a função se aplica às células alinhadas umas com as outras para simular a tendência de variação dinâmica do produto NDVI em cada *pixel* (Figura 5.6). Este método pode eliminar a influência de dados extremos em anos individuais para refletir as características de mudança espacial (LI, Y. et al., 2022) do NDVI nas áreas usadas neste estudo.

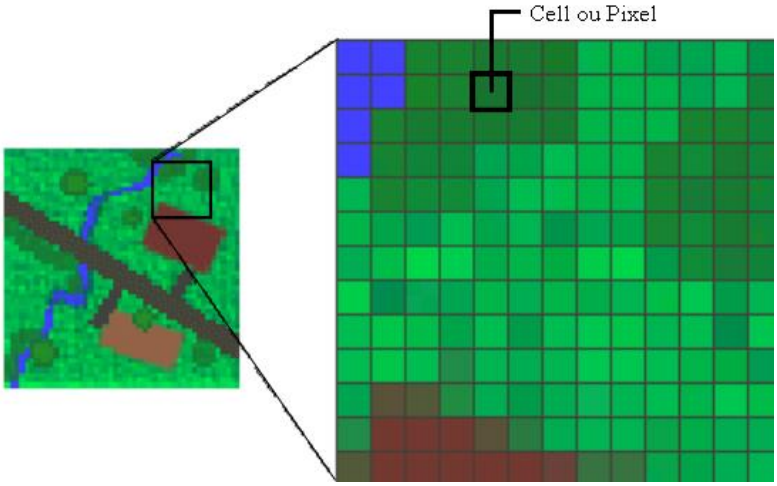

Figura 5.4. Exemplo de um pixel ou cell em um dado raster.

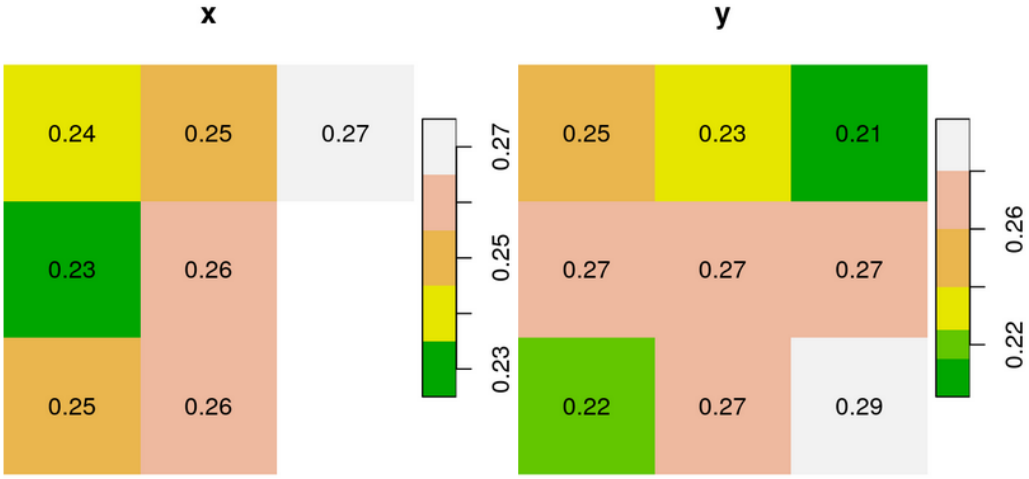

Figura 5.5. Exemplo de entrada de dados *raster* (x e y) com valores por *pixel* diferentes.

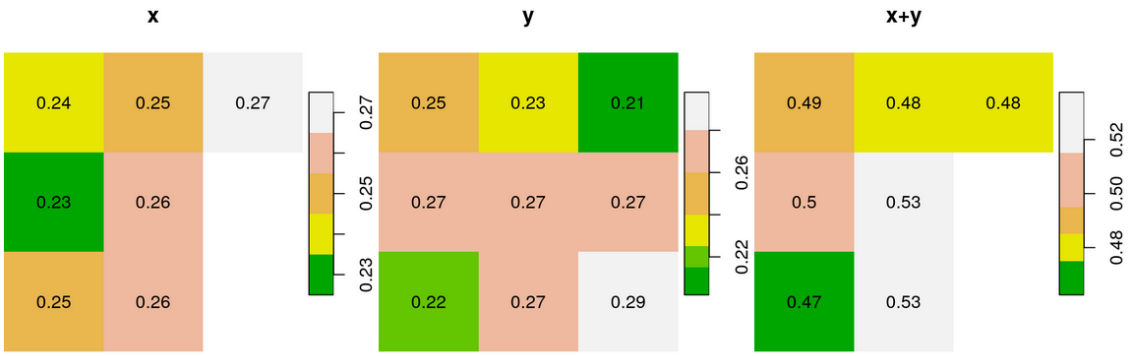

Figura 5.6. Alinhamento das células e aplicação de álgebra sobre os produtos de entrada com um terceiro dado *raster* resultante do cálculo.

No processo de álgebra de dados *raster* foi utilizado dados de entrada que considerou a média anual de NDVI a cada ano desde 1985 até 2022. Após a entrada dos dados *rasters* no *software* R, foi realizado a simulação dos dados célula a célula através da fórmula da Figura 5.7 e gerou-se um *output* (dado de saída) com as tendências de variação dinâmica do produto NDVI ao longo dos anos de análise. A fórmula do método proposto é:

onde *n* é a série temporal, *n* = 37, $\overline{X}_i$ é o valor NDVI do ano *i* no pixel *y*, Θ é a tendência de variação pra maior ou pra menor no pixel *y*. Se $\Theta < 0$, indica que o NDVI tem tendência decrescente, e se $\Theta > 0$, tem tendência de aumento, se $\Theta = 0$ não houve tendência de alteração. Além disso, foi usado o teste T para determinar o nível de significância da mudança da vegetação. De acordo com os resultados do teste de significância, a mudança de tendência pode ser dividida em três graus: aumento significativo ($\Theta > 0$, $p \leq 0{,}05$), sem alteração significativa ($\Theta = 0$, $p > 0{,}05$), diminuição significativa ($\Theta < 0$, $p \leq 0{,}05$).

A letra grega Θ (teta), seja algebricamente ou geometricamente, ela representa uma abertura ou uma alteração do valor original. Sendo assim, no método proposto, o Θ (teta) é o valor do pixel existente no programa em uso no momento de analisar as imagens de cada ano.

O método proposto mostra uma série temporal de n = 37, ou seja, uma série de 37 anos está sendo analisada, onde $\overline{x}_i$ é o valor de NDVI fornecido pelo programa, então logo pode se afirmar que $\overline{x}_i$ = NDVI no ano i. Se o programa mostra a proporção da área do pixel ocupado em cada classe, essa proporção representa a letra k na fórmula, sendo assim, é possível generalizar uma fórmula para o método proposto, usando um conteúdo matemático Média Aritmética Ponderada.

Se um conjunto é dado por $x_1, x_2, x_3, ..., x_n$ e pesos $p_1, p_2, p_3, ..., p_n$. A média ponderada é assim definida:

$$MP = \frac{x_1.p_1 + x_2.p_2 + x_3.p_3 + ... + x_n.p_n}{p_1 + p_2 + p_3 + ... + p_n.}$$

Se usar o mesmo raciocínio, o método proposto poderá ser assim definido na Equação 5.1:

$$\overline{X}NDVI = \frac{\sum_{i=1}^{n} NDVI_i . K_i}{\sum_{i=1}^{n} K_i} \quad (5.1)$$

Onde o $\overline{X}$NDVI é a média ponderada de NDVI; $\sum_{i=1}^{n}$ é a soma de $n_1, n_2, n_3, ..., ni$, que

seria a média de cada ano; NDVI = $\bar{x}_i$ em cada ano i e k é o peso ponderativo em cada classe, ou seja, k é área de em terreno analisado.

Dessa natureza é possível saber se o valor do NDVI fornecido pelo programa está abaixo, acima ou igual a média extraída durante os 37 anos analisados e assim tirar as conclusões devidas.

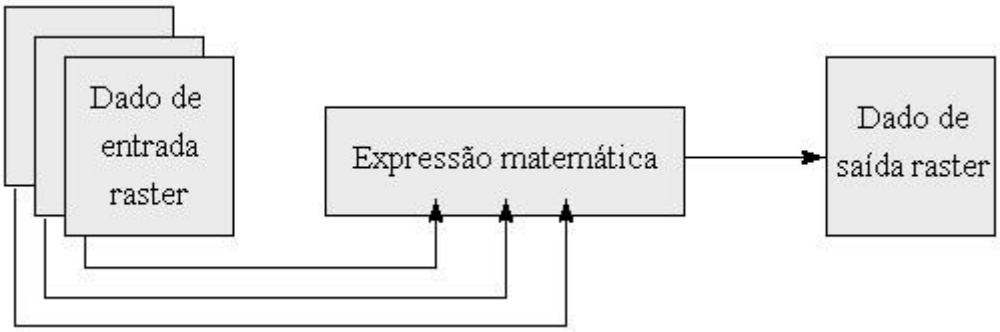

Figura 5.7. Processo metodológico aplicado aos dados de entrada (*input*) com expressão matemática e com dado de saída (*output*).

5.2.6 Análise estatística (Método de Correlação)

Para analisar quantitativamente ainda mais a relação entre NDVI e fatores climáticos, o método de análise de correlação de Pearson é adotado para calcular o coeficiente de correlação de NDVI, temperatura média anual e dados de precipitação acumulado anual. A fórmula de cálculo é a Equação 5.2 proposto por Zhang e Zhou (2021):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \tag{5.2}$$

onde *n* é uma série temporal, X_i é a temperatura ou precipitação média anual em *i* ano, e $\bar{x}$ é a temperatura ou precipitação média anual no período de pesquisa, $\bar{y}_i$ é o valor NDVI de *i* ano, $\bar{y}$ representa o valor médio de NDVI no período de pesquisa. *r* é o coeficiente de correlação entre as variáveis, e seu intervalo de valores é [-1, 1]. Se $r > 0$, indica uma correlação positiva entre as variáveis, se $r < 0$ há uma correlação negativa entre as variáveis, e quanto mais próximo o valor absoluto estiver de 1, mais forte é a correlação. Também foi aplicado um teste de normalidade dos dados (Shapiro-Wilk) por inspeção

visual usando gráficos Q-Q (gráficos quantil-quantil). O gráfico Q-Q desenha a correlação entre uma determinada amostra e a sua distribuição normal. Além disso, foi realizada uma estimativa de densidade 2D entre os dados climáticos e NDVI. Foi realizado também uma Regressão Linear Simples, para ver se há relação linear entre a VD (variável dependente) e a VI (variável independente).

Os dados de temperatura e precipitação utilizados para a análise de correlação compreenderam as médias mensais do período mais quente e úmido (outubro a março), e os dados de NDVI utilizados foram as médias mensais dos meses mais secos (maio a setembro). Foram determinados esses meses para os dados climatológicos por ser nesse período em que as flutuações climatológicas como temperatura e precipitação exercem maior influências nas alterações da dinâmica vegetal (ZHANG et al., 2020; YU et al., 2013; TAO et al., 2018). Já para os dados de NDVI optou-se por escolher o período seco por se tratar de melhor resposta espectral da vegetação e melhor diferenciação dos tipos de vegetação campestre para floresta conforme foi verificado nos capítulos anteriores.

5.2.7 Análise e tratamento dos dados

Os dados foram processados e analisados no *software* R Studio (R CORE TEAM, 2022), onde foram realizadas as análises estatísticas e plotagem dos resultados com o uso dos seguintes pacotes: Os pacotes R 'terra', 'raster', ggplot2, gridExtra, ggpubr, dplyr, lattice e latticeExtra foram usados para plotagem dos dados rasters e processamento de imagens raster. O recurso de esquema de cores do pacote viridis e RColorBrewer foi utilizado para visualização e plotagem.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Características de distribuição de NDVI e fatores climáticos

Nos últimos 37 anos a temperatura média anual aumentou, com uma taxa média de variação anual positiva de 0,041 °C (Figura 5.8) para a Morraria do Urucum e com uma taxa média de variação anual positiva de 0,038 °C para a Serra do Amolar. A máxima de temperatura anual ocorreu em 2020 (28,66 °C) para a Morraria do Urucum. Já na Serra do Amolar a média máxima de temperatura ocorreu em 2020 (29,33 °C) (Figura 5.8). A flutuação da precipitação acumulada anual apresentou tendência de aumento significativo a partir de 1985 até meados de 2014 na Morraria do Urucum e de 1985 até meados de 2005 na Serra do Amolar (Figura 5.9), sendo que em ambas as áreas após esses anos ocorreu uma tendência de queda nos valores de precipitação acumulada. A precipitação

acumulada máxima na Morraria do Urucum ocorreu em 2011 (698 mm). Para a Serra do Amolar a precipitação acumulada máxima ocorreu em 1989 (747 mm) (Figura 5.9).

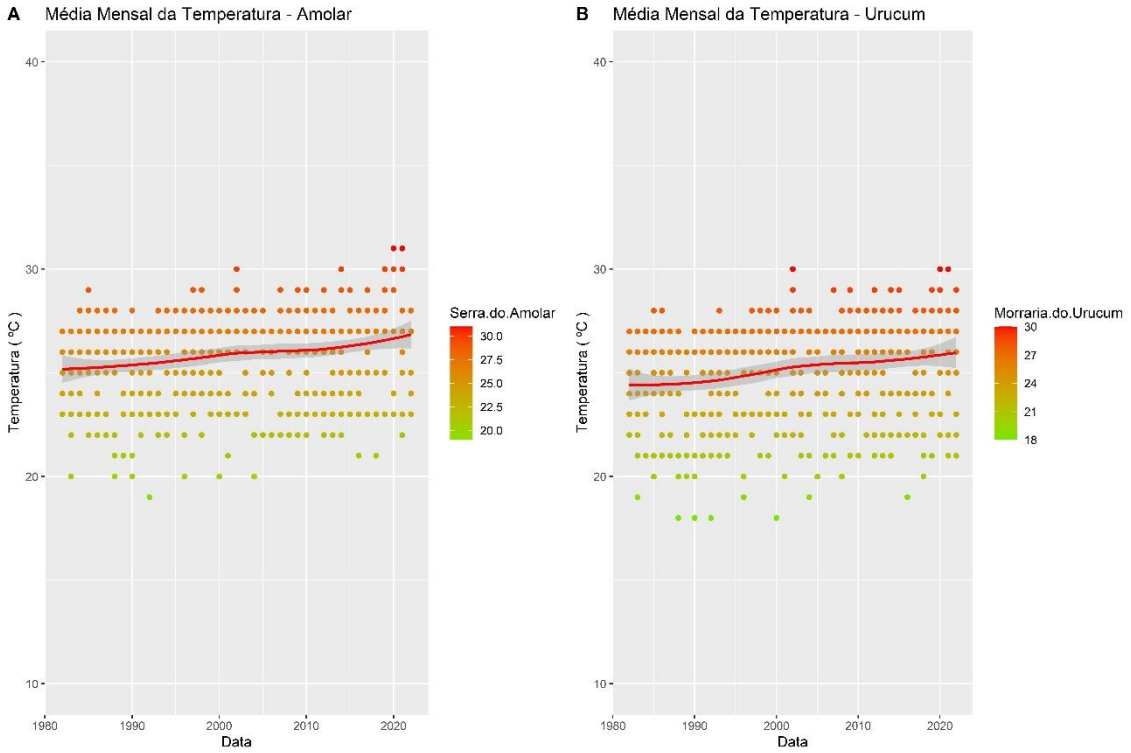

Figura 5.8. Média mensal de temperatura nos anos de 1982 e 2022 nas áreas de estudo.

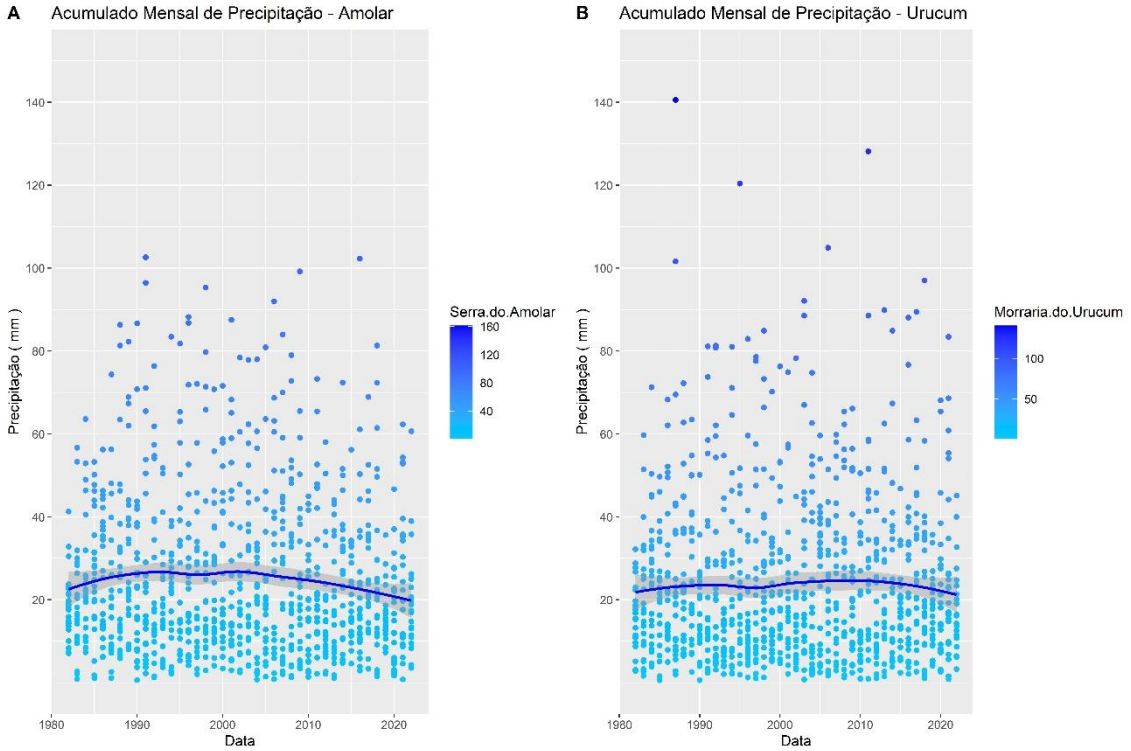

Figura 5.9. Precipitação mensal acumulada entre os anos de 1982 e 2022 nas áreas de estudo.

A taxa de variação do NDVI nas áreas de estudo foi positiva, aumentando com as flutuações ao longo dos anos analisados, com um aumento mais acentuado a partir de 2010 para ambas as áreas analisadas (Figura 5.10). O valor máximo anual do NDVI na Serra do Amolar apareceu em 2019 (0.61). O valor mínimo anual do NDVI foi de 0.37 em 2005. Para a Morraria do Urucum o valor máximo anual de NDVI foi de 0.73 em 2017 e o valor mínimo anual do NDVI foi de 0.49 em 2001. Da perspectiva de 2000–2005 não houve tendência significativa de aumento nas duas áreas estudadas. Nas Figuras 5.11 e 5.12 são apresentados comparativamente as variações dos dados de temperatura, precipitação e NDVI para ambas as áreas de estudo.

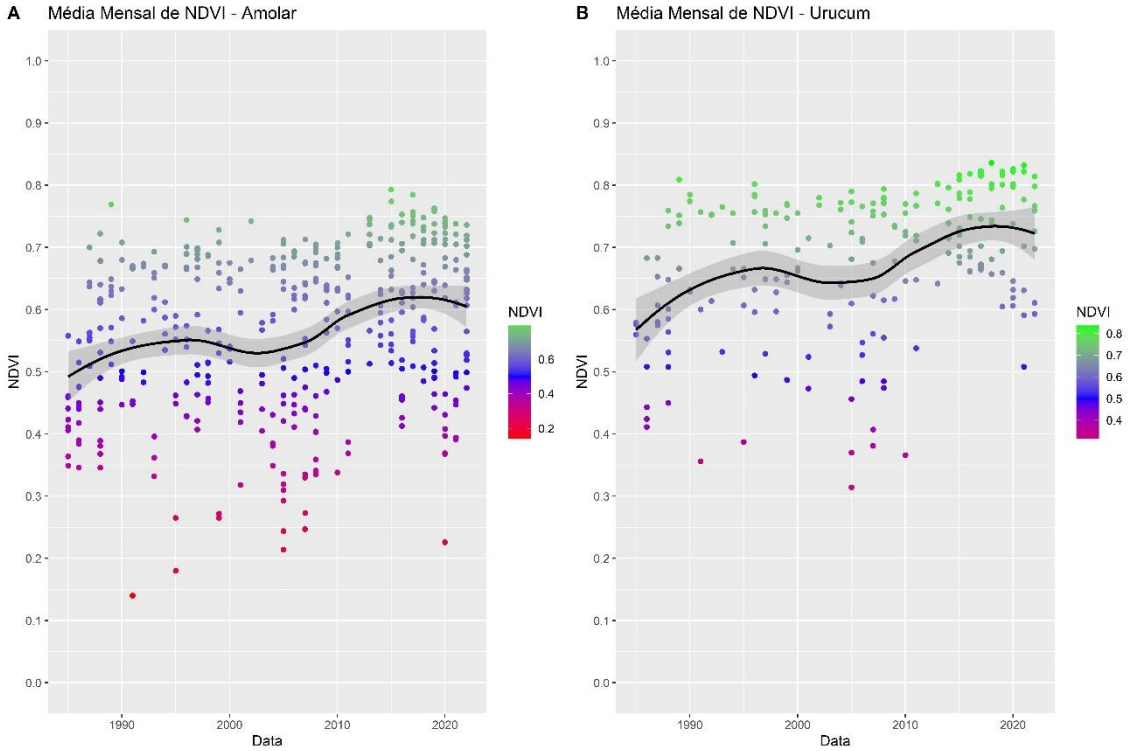

Figura 5.10. Médias mensais de NDVI entre os anos de 1985 e 2022 para ambas as áreas de estudo analisadas.

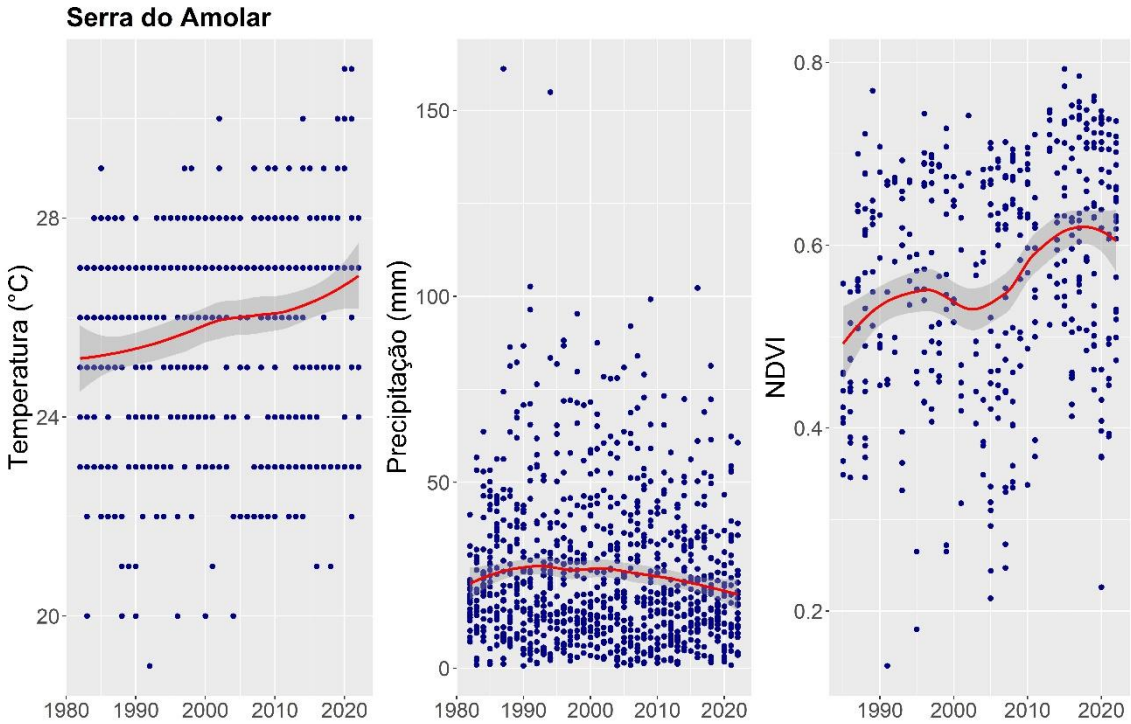

Figura 5.11. Gráfico com a distribuição dos valores de temperatura, precipitação e NDVI ao longo dos anos analisados na Serra do Amolar.

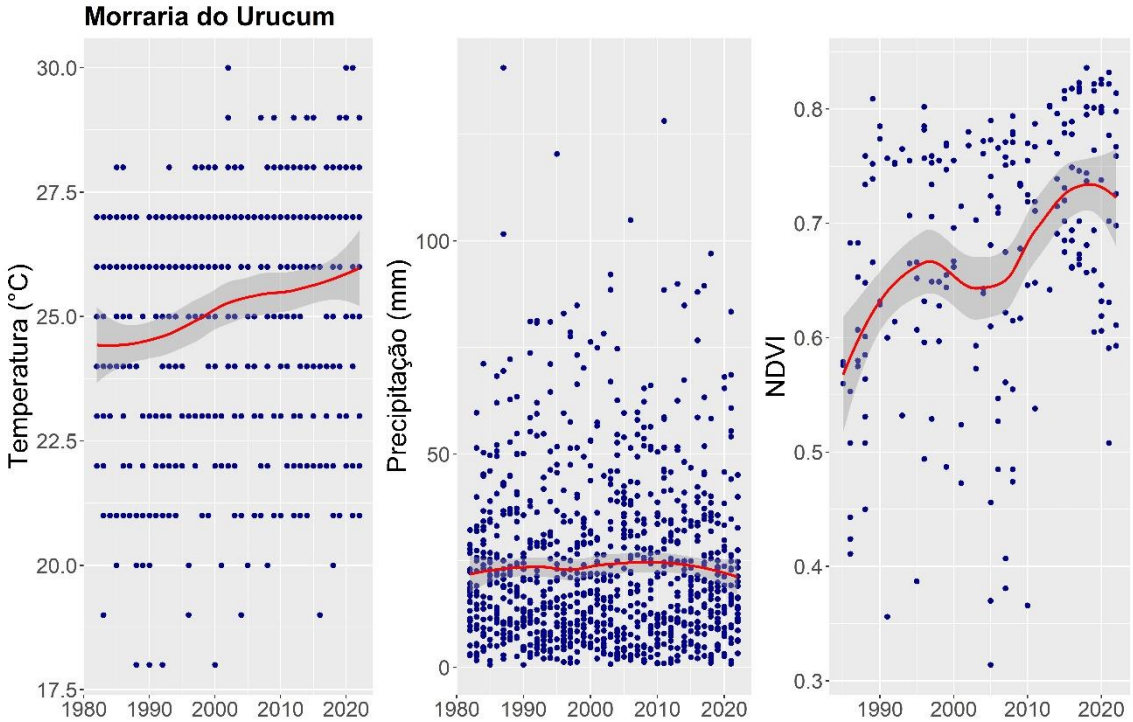

Figura 5.12. Gráfico com a distribuição dos valores de temperatura, precipitação e NDVI ao longo dos anos analisados na Morraria do Urucum.

5.3.2 Características de distribuição espacial do NDVI

As características de distribuição espacial do NDVI médio mensal da vegetação na Serra do Amolar e Morraria do Urucum de 1985 a 2022 são ilustradas na Figura 5.13. Os valores do NDVI foram geralmente baixo para as faixas de 0.17 a 0.44 na Morraria do Urucum, faixa de valores determinado como Campos de Altitude no Capítulo 4, e faixa de valores de 0.16 a 0.40 na Serra do Amolar. Em ambas as áreas com aparente diferenciação espacial e desequilíbrio de valores, mostrando uma tendência crescente dos valores a partir de 0.50 que pode ser determinado como floresta (Figura 5.14).

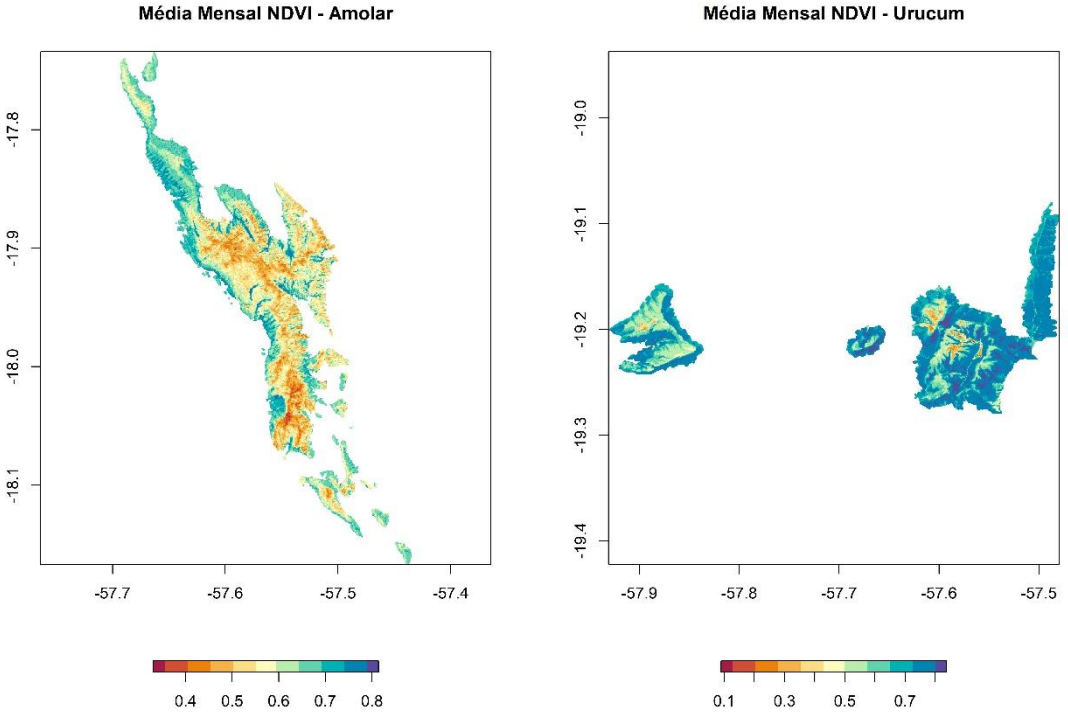

Figura 5.13. Distribuição espacial da média mensal de NDVI entre 1985 e 2022.

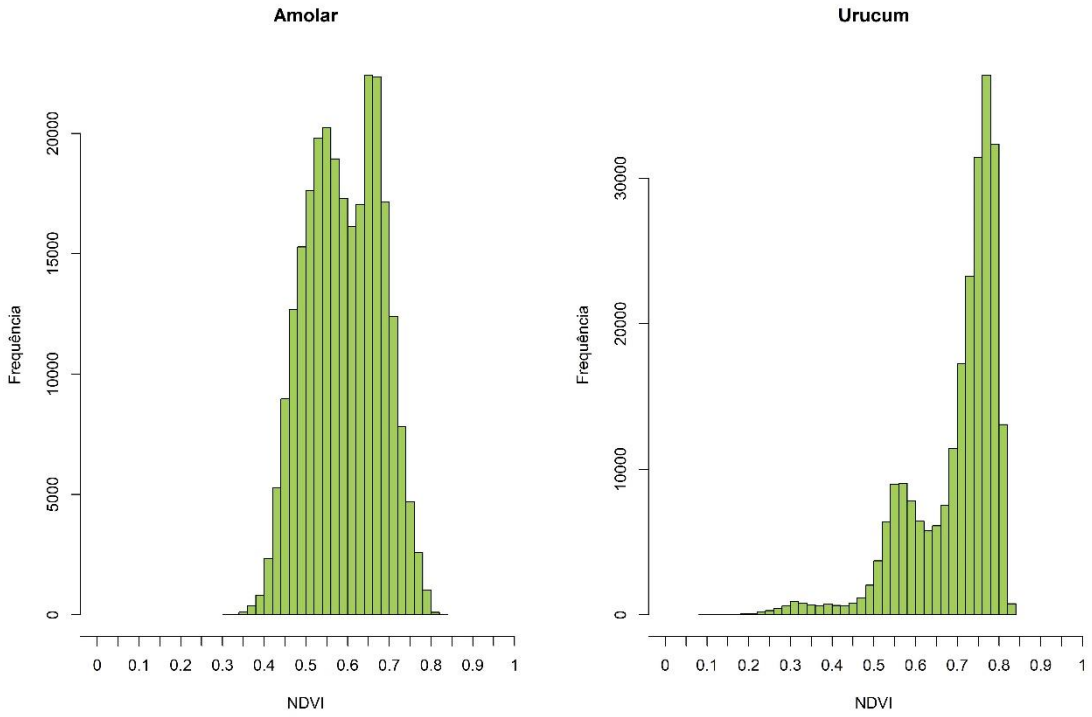

Figura 5.14. Distribuição dos pixels de NDVI.

5.3.3 Variação espacial do NDVI

As Figuras 5.15 e 5.16 ilustram a tendência de mudança da vegetação na Serra do Amolar e na Morraria do Urucum entre os anos de 1985 e 2022. A mudança da vegetação nas áreas de estudo apresentou desequilíbrio espacial óbvio. A tendência crescente de vegetação é aparente nas partes em verde oliva, e a diminuição ocorre principalmente nas áreas mais altas. Os resultados mostram que a área com tendência de crescimento de NDVI na Serra do Amolar representou 43,07% da área total, e na Morraria do Urucum representou 22,95% da área total, distribuídas principalmente nas bordas das áreas em laranja. As áreas com decréscimo substancial e não significativo de NDVI para as áreas de estudo, representaram, respectivamente, 8,23% e 21,42%, distribuídos principalmente nas partes mais altas (em azul). Esses resultados de variação espacial da vegetação corroboram com os encontrados nos Capítulos 3 e 4, nos quais foi mensurado em valores de área o quanto variou nas janelas de tempo de 1985 a 2020 no Capítulo 3 e de 1973 a 2022 no Capítulo 4.

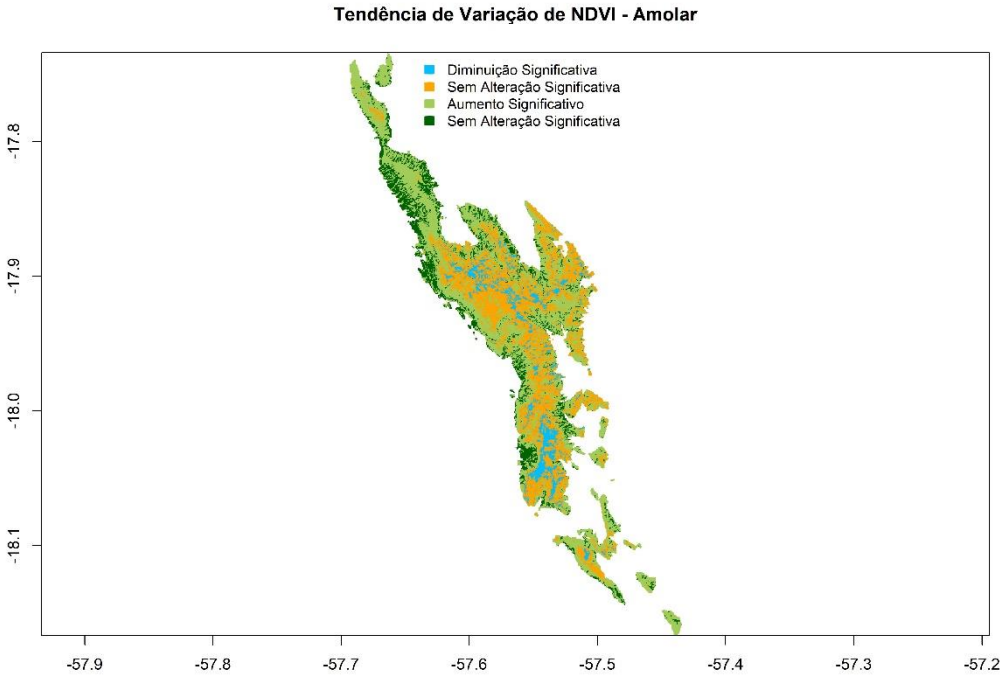

Figura 5.15. Variação espacial do NDVI ao longo dos anos de análise na Serra do Amolar.

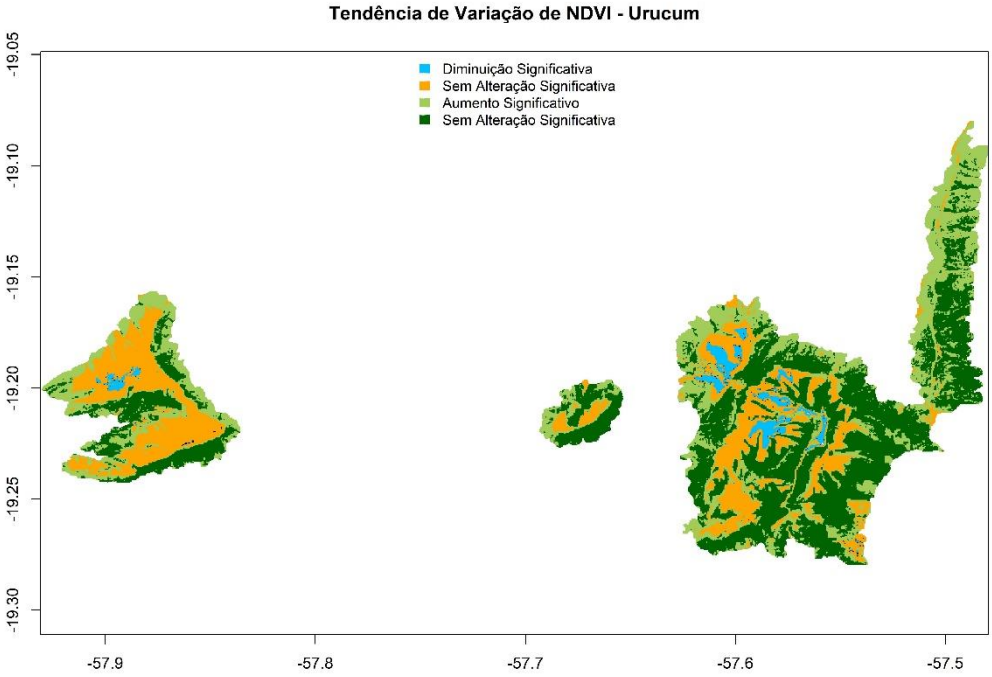

Figura 5.16. Variação espacial do NDVI ao longo dos anos de análise na Morraria do Urucum.

5.3.4 Análises estatísticas

Para revelar ainda mais a correlação entre o NDVI, temperatura média e precipitação acumulada nas áreas de estudo entre 1985 e 2022, o padrão de distribuição espacial dos coeficientes de correlação de Pearson estão ilustrados nas Figuras 5.17 e 5.18. A Tabela 5.2 ilustra os valores dos resultados estatísticos de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

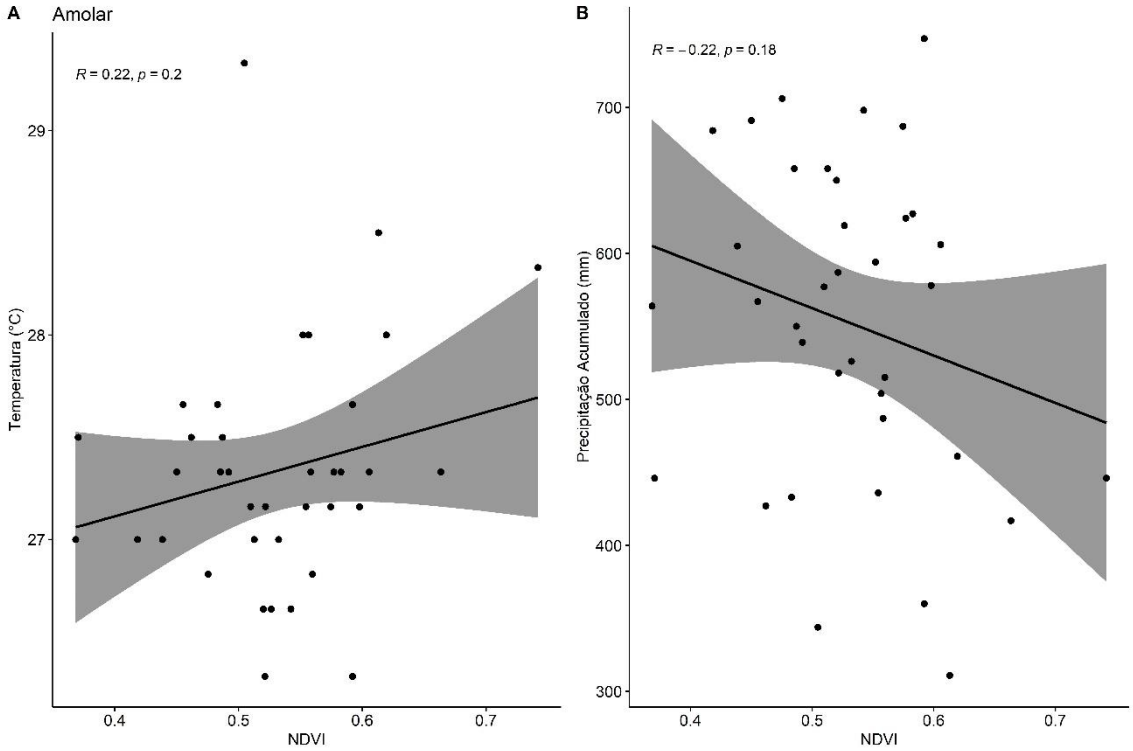

Figura 5.17. Correlação entre NDVI, temperatura média mensal e precipitação acumulada na área de estudo Serra do Amolar de 1985 a 2022.

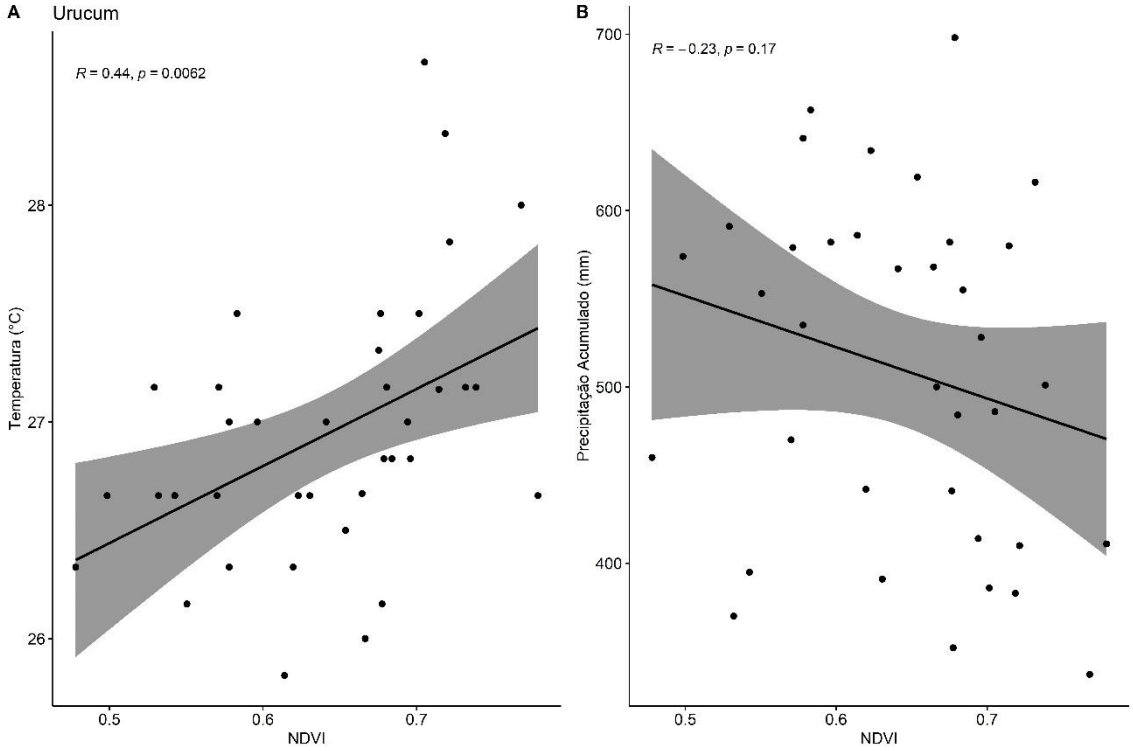

Figura 5.18. Correlação entre NDVI, temperatura média mensal e precipitação acumulada na área de estudo Morraria do Urucum de 1985 a 2022.

Tabela 5.2. Resultado das análises da Correlação de Pearson entre NDVI e as variáveis climáticas.

Correlação produto-momento de Pearson						
Área	Variável	Coeficiente de Correlação	t	df	p=valor	Observação
Amolar	Temp~NDVI	0.2272	1.31	35	0.1964	Correlação Pequena
	Prec~NDVI	-0.2236	-1.35	35	0.1832	Correlação Pequena
Urucum	Temp~NDVI	0.4415	2.9115	35	0.006221	Correlação Média
	Prec~NDVI	-0.2282	-1.3869	35	0.1742	Correlação Pequena

Para espacializar os dados de correlação foram realizados *plots* de densidade 2D nos quais demonstram mais claramente a correlação entre NDVI e as variáveis de precipitação e temperatura conforme está ilustrado nas Figuras 5.19 e 5.20.

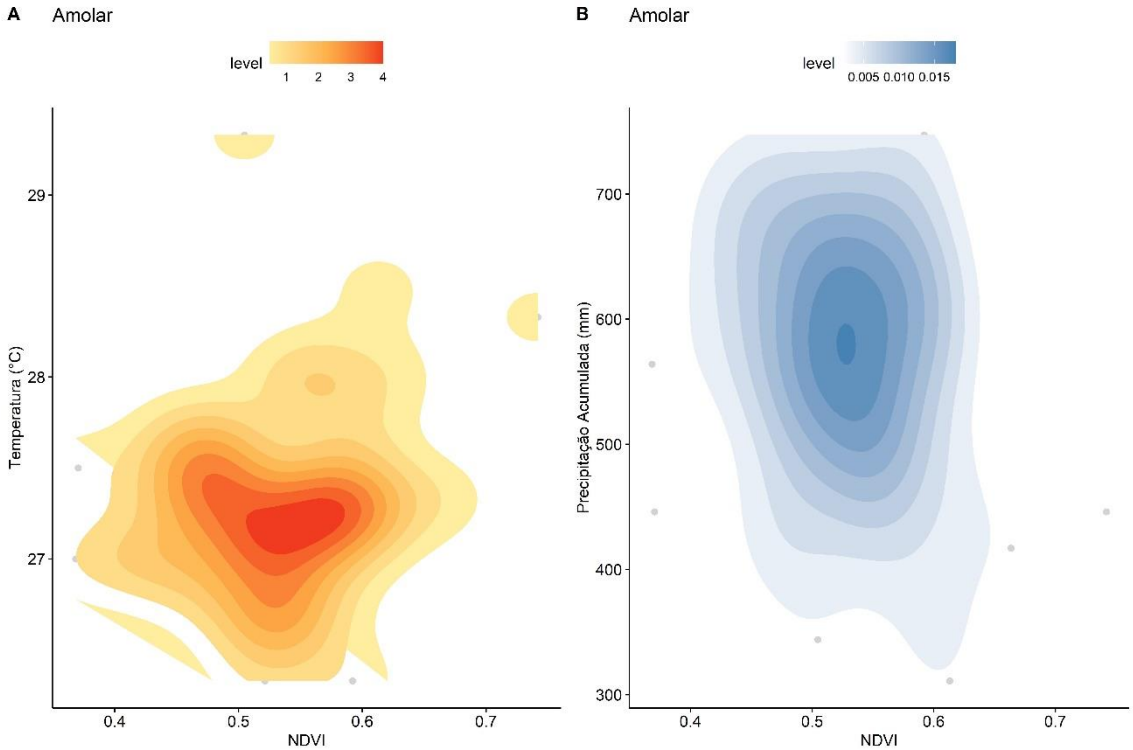

Figura 5.19. Distribuição espacial de densidade de correlação entre as variáveis analisadas na Serra do Amolar de 1985 a 2022.

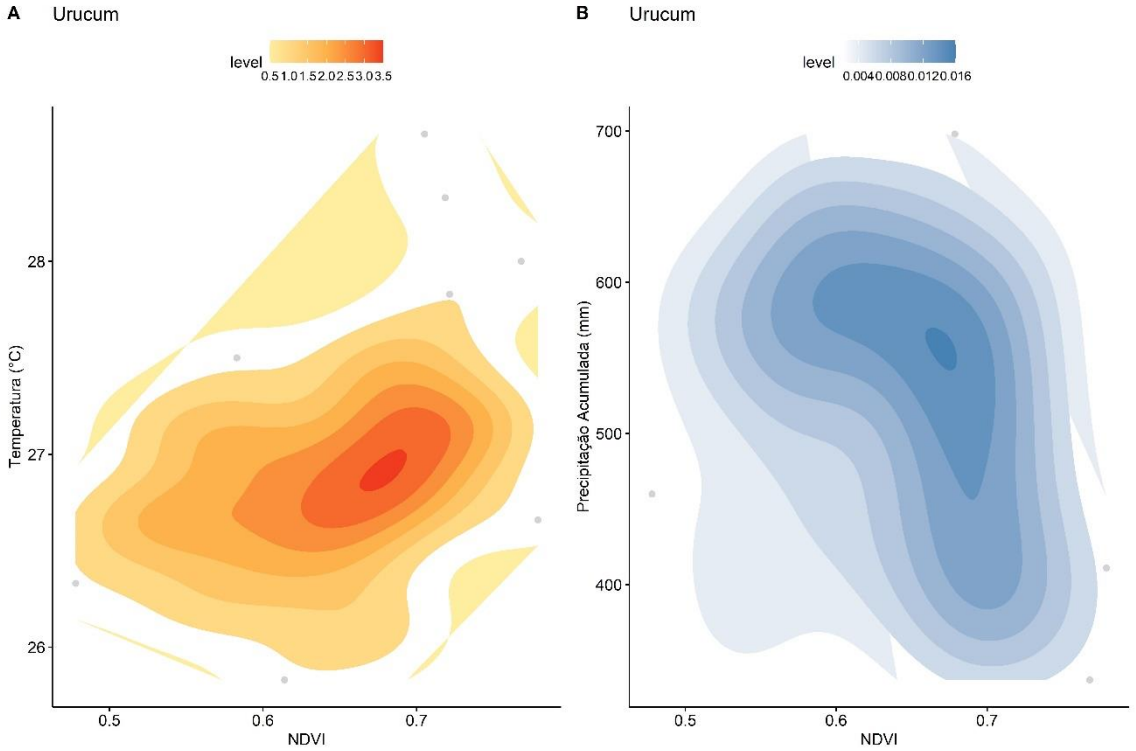

Figura 5.20. Distribuição espacial de densidade de correlação entre as variáveis analisadas na Morraria do Urucum de 1985 a 2022.

O teste de Shapiro-Wilk é um teste de normalidade em estatísticas, onde a hipótese nula do teste de Shapiro é que os resíduos das variáveis estão distribuídos normalmente. Se o valor de p for igual ou menor que 0,05, então a hipótese de normalidade será rejeitada pelo teste de Shapiro. Ao falhar, o teste pode afirmar que os dados não se ajustarão à distribuição normalmente com 95% de confiança. No entanto, ao passar, o teste pode afirmar que não existe desvio significativo da normalidade. Portanto, os testes de normalidade de Shapiro-Wilk demonstraram que há normalidade dos dados conforme Tabela 5.3 e Figura 5.21.

Tabela 5.3. Valores para o teste de normalidade de Shapiro-Wilk na relação variáveis climáticas com NDVI. Legenda: w – valor da normalidade dos resíduos; p-valor – valor de significância a 95% entre a relação analisada.

Teste de Normalidade Shapiro-Wilk			
Área	**Variável**	**w**	**p-valor**
Amolar	Temperatura~NDVI	0.9813	0.779
	Precipitação~NDVI	0.9836	0.8519
Urucum	Temperatura~NDVI	0.9618	0.2305
	Precipitação~NDVI	0.9587	0.1838

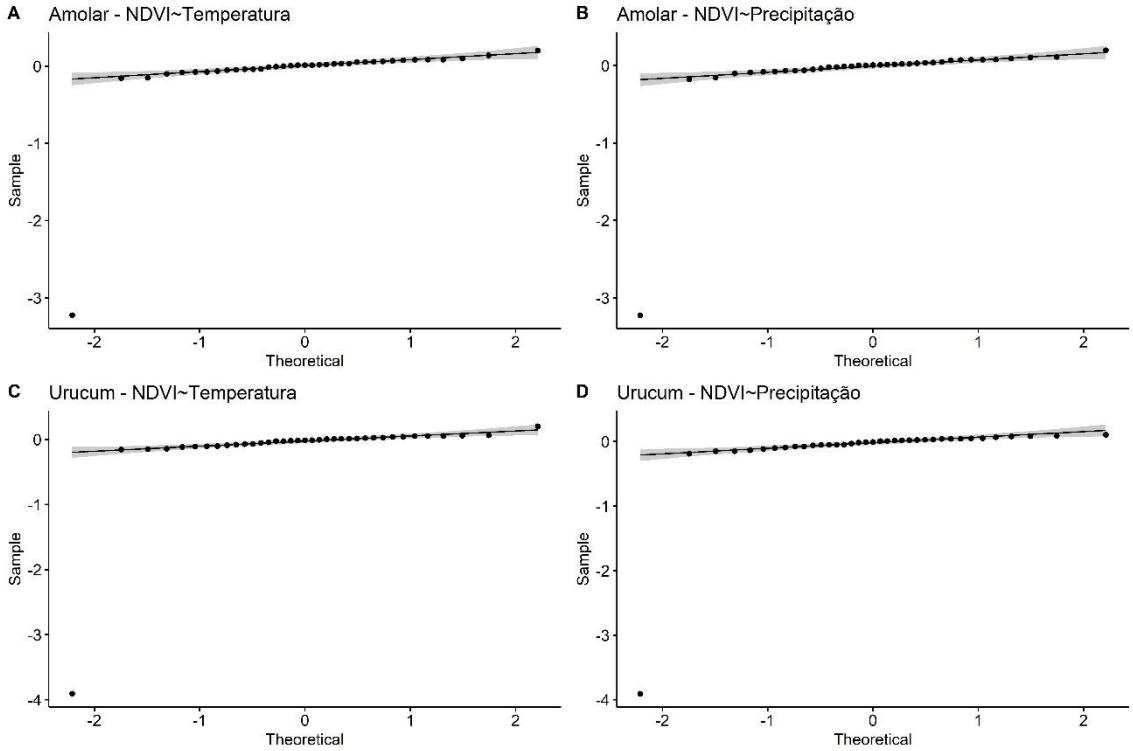

Figura 5.21. QQplot com os testes de Shapiro-Wilk para os resíduos das variáveis analisadas nas duas áreas de estudo.

Existe uma regressão linear positiva entre temperatura e NDVI em ambas as áreas de estudo conforme é ilustrado na Tabela 5.4. A relação de NDVI com a precipitação não foi linear, com uma pequena diferença negativa da relação entre essas duas variáveis (-0.00015 no Amolar, -0.00017 no Urucum). Já as regressões entre os anos e as variáveis (NDVI, temperatura, precipitação) tiveram regressão linear positiva nas duas áreas de estudo (Tabela 5.4).

Tabela 5.4. Valores de Regressão Linear Simples entre as variáveis estudadas e os anos de análise.

Regressão Linear Simples		
Áreas	**Variável**	**Regressão**
Amolar	Ano ~ Temperatura	0.038
	Ano ~ NDVI	0.0030
	Ano ~ Precipitação	-0.128
	Temperatura ~ NDVI	0.027
	Precipitação ~ NDVI	-0.00015
Urucum	Ano ~ Temperatura	0.041
	Ano ~ NDVI	0.0036
	Ano ~ Precipitação	0.005
	Temperatura ~ NDVI	0.054
	Precipitação ~ NDVI	-0.00017

5.4 DISCUSSÃO

As áreas analisadas neste capítulo experimentaram significativo aumento de temperatura nos últimos 37 anos, com uma variação anual positiva de 0,041 °C para a Morraria do Urucum e com uma taxa média de variação anual positiva de 0,038 °C na Serra do Amolar. Esse mesmo efeito foi visualizado nos dados de precipitação, entretanto durante um determinado período de crescente linha linear dos dados desde 1982 até 2005 na Serra do Amolar e de 1982 a 2014 na Morraria do Urucum, onde a partir desses anos o regime hídrico passou de um aumento linear para uma queda constante nos valores de chuva acumulada. Esse evento de aumento de temperatura e diminuição do regime hídrico nas áreas de estudo podem ter sido os fatores chave nos eventos de maior número de incêndios ocorridos a partir de 2014 no Pantanal conforme verificado por estudos de Moreira et al. (2021).

Conforme alguns autores observam, as mudanças climáticas estão sendo mais observadas em regiões altas como montanhas, serras, morros (HOU et al., 2022; LI, X. et al., 2022). Essas mesmas alterações no regime hidrológico e temperatura foram observados nos estudos realizados por Hou et al. (2022), Li X. et al. (2022), Yu et al. (2012) em áreas montanhosas da China (Montanha Qilian e Platô Tibetano). As mudanças na temperatura e regime hidrológico estão mudando os ecossistemas de pastagens (vegetação gramínea). A temperatura e a precipitação são os dois fatores climáticos mais importantes que influenciam a presença e a distribuição de ecossistemas de pastagens. Portanto, a mudança climática afeta as mudanças na precipitação e na temperatura,

alterando e afetando a umidade do solo, os microrganismos do solo, a fotossíntese e a respiração das plantas, controlando ainda mais o crescimento das pastagens e a produtividade do ecossistema e afetando a degradação ou restauração (HOU et al., 2022; LI, X. et al., 2022).

Desde sua formulação original proposto por Rouse et al. (1973), o NDVI tem sido utilizado em muitos estudos na dinâmica da vegetação e suas respostas às mudanças climáticas, principalmente no que diz respeito à temperatura e precipitação em estudos de mudanças globais (BAO et al., 2015; ZHANG et al., 2020; YU et al., 2013; TAO et al., 2018). Os resultados demonstraram um aumento significativo no NDVI entre 1985 e 2022 conforme foi ilustrado nos gráficos de médias mensais, o que pode ter relação no aumento da vegetação floresta nas áreas de estudo. Houve uma pequena variação negativa da tendência de aumento do NDVI entre os anos 2000–2005. A variação na precipitação e temperatura provavelmente desempenharam um papel primário na determinação da tendência da produtividade da vegetação. Esses achados concordam com outros estudos que também observaram aumento de NDVI em áreas montanhosas (LI, Y. et al., 2022; ZHANG et al., 2015; HOU et al., 2022; LI, X. et al., 2022). Além disso, a variação do NDVI também foi constatada nos dados apresentados nos mapas de alteração na distribuição do NDVI, onde pode ser observado que as áreas em cor verde oliva que estão no entorno das áreas em cores laranja (regiões mais altas), sofreram “ganho” de NDVI, ou seja, houve aumento médio de NDVI nessas áreas de borda, o que sugere que houve aumento da fitomassa vegetal podendo ser outro tipo de vegetação, conforme observado e demonstrado nos capítulos anteriores (Cap. 3 e Cap. 4). Esses resultados reforçam ainda mais a relação NDVI x fatores climáticos.

Os resultados estatísticos demonstraram que houve uma relação entre NDVI e as variáveis estudadas onde os resultados de Correlação de Pearson demonstraram correlação entre os dados de NDVI e variáveis climáticas. Entretanto, a relação de NDVI com os valores de precipitação obtiveram valores de relação negativa, já que isso resulta da diferença de regime hídrico naqueles anos em que houve queda dos valores acumulados. Porém, os gráficos de densidade 2D ilustram algo interessante, onde os valores com maior densidade estão nos intersectos onde visualiza-se temperatura alta x NDVI alto, maior chuva acumulada x NDVI alto, principalmente na área de estudo Morraria do Urucum. Esse dado demonstra que existe uma relação entre as variáveis estudadas, independente das flutuações ocorridas ao longo dos anos analisados e consolidado nas análises de Regressão Linear que demonstrou relação linear de aumento

de NDVI conforme a cursa de temperatura aumenta ao longo dos anos (0.027, 0.054), e também o mesmo ocorreu na relação NDVI ~ Ano. Já os dados de precipitação foram negativos, confirmando o mesmo visualizado na Correlação de Pearson, com uma exceção para a relação Ano ~ Precipitação na área de estudo Morraria do Urucum. Esse mesmo resultado encontrado vai ter relação com aquela variação do regime hídrico.

Neste capítulo, os reflexos climáticos históricos (1982-2022) podem ter sido um forte fator na conversão de Campos de Altitude em florestas, já que os resultados mostraram que o clima regional tem um impacto significativo na conversão de valores médios de NDVI. O resultado mostra que durante 1985-2022, a conversão de gramíneas (Campos de Altitude) para floresta leva ao aumento da média anual de NDVI. O mecanismo que pôde ter levado a esse processo de alteração das médias de NDVI é que a vegetação campestre (vegetação montanhosa) é um tipo de vegetação mais esparsa tendo menor área foliar e reflete mais radiação solar do que a floresta (LEAN & WARRILOW; YU et al., 2013). Já a floresta tem maior área foliar e é muito mais absorvedor e espalhador eficiente de radiação de comprimento de onda curta (LEAN & WARRILOW; YU et al., 2013). Consequentemente, a energia líquida absorvida pela superfície aumentou como resultado da conversão de pastagens a floresta, o que resultaria em um aumento de NDVI.

Fatores ambientais tais como a alteração de variáveis climáticas é considerada um dos principais fatores que influenciam a produtividade da vegetação (ANGERT et al., 2005), especialmente em ecossistemas montanhosos (XION et al., 2016; DAKHIL et al., 2019) que são conhecidos por sua alta sensibilidade às alterações nas condições climáticas, particularmente temperatura e precipitação (ZHOU et al., 2001; QIN et al., 2014). Com condições mais úmidas e quentes a produtividade da vegetação aumenta e o fato de um ambiente mais úmido aumenta a disponibilidade de água no solo para absorção e crescimento da vegetação (XIONG et al., 2016). Além disso, o aumento da temperatura aumenta a duração da estação de crescimento, promovendo a disponibilidade de água no solo e, finalmente, fornecendo mais água disponível para o crescimento das plantas em um tempo relativamente longo. Esta interpretação pode ser parcialmente confirmada nesse estudo pela estreita relação linear encontrada entre NDVI, precipitação e temperatura.

Sob o pano de fundo do aquecimento global, a temperatura na região de estudo aumentou, enquanto a precipitação flutuou. Descobriu-se que o NDVI se correlaciona positivamente com a temperatura e a precipitação durante os anos. A precipitação está

positivamente correlacionada até um certo período de análise, e depois há queda dos valores acumulados, mas isso não significa que as chuvas não desempenharam um papel imporante na dinâmica da vegetação nas áreas analisadas. Ainda assim, a temperatura está correlacionada positivamente nas duas áreas de estudo, o que indica que os recursos hídricos não são o principal fator determinante na alteração da vegetação nesta região. No entanto, a área de estudo pertence ao clima montanhoso, e os principais tipos de vegetação são a do tipo campestre (Campos de Altitude) nas áreas mais altas. Portanto, deve-se ter atenção ao aumento da temperatura e à diminuição da precipitação nos últimos 17 anos na Serra do Amoolar e 10 anos na Morraria do Urucum, pois embora muitos estudiosos acreditem que áreas montanhosas serão mais quente e úmidas (LI et al., 2020), o que está sendo visualizado nas áreas estudas é que está sendo mais quente e mais seco. Suponha que o clima nas áreas estudadas continue a aquecer e com menor precipitação no futuro, nesse caso, a seca aumentará e a umidade do solo desafiará o crescimento da vegetação, inibindo assim o crescimento da vegetação e agravando a desertificação. Portanto, os resultados dessa pesquisa devem chamar a atenção de entidades públicas para o monitoramento futuro dessas áreas frágeis às alterações climáticas, visando monitorar principalmente o regime hídrico que está alterando nos últimos 15 anos.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo avaliou as mudanças temporais e espaciais do NDVI e analisou a relação entre as variações do NDVI e os fatores climáticos como a temperatura e a precipitação. De modo geral o NDVI mostrou uma tendência crescente em valores médios mensais de NDVI ao longo dos anos analisados. O mesmo foi observado para as variáveis climáticas, com uma resalva para os dados de precipitação que tiveram uma queda nos valores de chuva acumulada nos últimos 15 anos nas duas áreas de estudo. O aumento da área foliar e enverdecimento da vegetação é um fator dependente sob aquecimento climático e maior regime hídrico e essa relação foi observada nas áreas de estudo. A mudança de temperatura foi o principal determinante na mudança da vegetação. O efeito de condução foi mais forte na Serra do Amolar por ter maior altitude. A variação interanual/sazonal da precipitação e temperatura tem grande reflexo negativo na vegetação montanhosa por ela ser muito sensível a altas temperaturas em áreas elevadas.

Em princípio, as condições climáticas nas áreas estudadas tornaram-se mais propícias ao crescimento das plantas, e o período de condições termicamente favoráveis

se estendeu. Entretanto, baixos valores de precipitação foram identificados e isso pode a médio e longo prazo ter menores taxas de crescimento da vegetação perene (florestas), e a grave ameaça de variação extrema do regime hídrico com altas temperaturas pode ser um sério problema na desertificação dessas áreas sensíveis. Portanto, o monitoramento dessas áreas melhorará significativamente nossa compreensão de mudanças climáticas na mudança de vegetação em áreas montanhosas.

O estudo revelou, assim, o mérito dessa análise com uma abordagem técnica para avaliar a contribuição da mudança climática versus alteração na dinâmica da vegetação em ecossistemas montanhosos. No entanto, usando modelagem analítica mais sofisticada poderia melhorar a nossa compreensão da respectiva influência de fatores ambientais sobre a dinâmica da vegetação. A este respeito, estudos adicionais usando modelos de simulação baseados em processos que explicitamente levam em consideração outros fatores como incêndios e aqueles relacionados ao homem (por exemplo, alteração na cobertura/uso da terra), ao lado da mudança climática seria muito útil. Isso pode melhorar as avaliações futuras, planejamento de gestão e formulação de políticas relevantes para os ecossistemas montanhosos no Pantanal e em outros ecossistemas semelhantes de outros biomas brasileiros.

5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGERT, A.; BIRAUD, S.; BONFILS, C. et al. Drier summers cancel out the CO2 uptake enhancement induced by warmer springs. **PNAS**, v.102, n. 31, p. 10823–10827, 2005.

BAO, G.; BAO, Y.; SANJJAVA, A. et al. 2015. NDVI-indicated long-term vegetation dynamics in Mongolia and their response to climate change at biome scale. **International Journal of Climatology**, v. 35, n. 14, p. 4293–4306, 2015.

BROENNIMANN, O et al. Do geographic distribution, niche property and life form explain plants' vulnerability to global change? **Glob. Chang Biol**., v. 12, p. 1079–1093, 2006.

BARRIOPEDRO, D. et al. The 2009/10 drought in China: possible causes and impacts on vegetation. **J. Hydrometeorol**., v. 13, p. 1251–1267, 2012.

DAKHIL, M. A.; XIONG, Q. L.; FARAHATC, E. A.; et al. Past and future climatic indicators for distribution patterns and conservation planning of temperate

coniferous forests in southwestern China. **Ecological Indicators**, v. 107, p. 105559, 2019.

DING, Y, et al. Detection, causes and projection of climate change over China: an overview of recent progress. **Adv. Atmos. Sci**., v. 24, p. 954–971, 2007.

HOU, W. et al. Interannual variations in growing-season NDVI and its correlation with climate variables in the southwestern Karst region of China. **Remote Sens**., v. 7, p. 11105, 2015.

HOU, Q.; JI, Z.; YANG, H.; YU, X. Impacts of climate change and human activities on different degraded grassland based on NDVI. **Scientific Reports**, v. 12, n. 15918, p. 1-18, 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acessado em: 10 de out. 2021.

KATTAN, G. H. et al. Biological diversification in a complex region: A spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the Andes of Colombia. **J. Biogeogr**., v. 31, p. 1829–1839, 2004.

KORNER, C. **Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems**. Springer, 2003. 344 p.

LEON-GARCIA, I. V. & LASSO, E. High heat tolerance in plants from the Andean highlands: Implications for paramos in a warmer world. **PLoS ONE**, v. 14, n. 11, p. e0224218, 2019.

LI, X. et al. Recent change of vegetation growth trend and its relations with climate factors in Sichuan, China. **In:** 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Milan, Italy, p. 342–345, 2015.

LI, Z. et al. Changes of daily climate extremes in southwestern China during 1961–2008. **Glob. Planet. Change**, v. 80–81, p. 255–272, 2012.

LI, D.; LUO, H. Y.; HU, T.S.; SHAO, D. G.; CUI, Y. L.; KHAN, S.; LUO, Y. F. Identification of the roles of climate factors; engineering construction; and agricultural practices in vegetation dynamics in the Lhasa River Basin, Tibetan Plateau. **Remote Sens**., v. 12, p. 1883, 2020.

LI, Y.; GONG, J.; ZHANG, Y.; GAO, B. NDVI-Based Greening of Alpine Steppe and Its Relationships with Climatic Change and Grazing Intensity in the Southwestern Tibetan Plateau. **Land**, v. 11, n. 7, p. 975. 2022.

LI, X.; ZHANG, K.; LI, X. Responses of vegetation growth to climate change over the Tibetan Plateau from 1982 to 2018. **Environ. Res. Commun**., v. 4, n. 045007, p. 1-12, 2022.

LEAN, J. & WARRILOW, D. A. Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. **Nature**, v. 342, n. 6248, p. 411–413, 1989.

MIOTO, C. L. **Geotecnologias na Análise das Peculiaridades dos Recursos Hídricos da Planície Pantaneira**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTA). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2016. 94p.

MOREIRA, A. P.; PESSI, D. D.; GORGA, E. F.; OLIVEIRA, Y. J. C. **Incêndios Florestais no Bioma Pantanal: Abordagem Jurídica-Ambiental-Internacional**. In: Tutela jurídica do Pantanal [recurso eletrônico] - coordenadora: Lívia Gaigher Bósio Campello. Organizadoras: Elisaide Trevisan, Rafaela de Deus Lima. Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 2021. 274p.

PESSI, D. D. et al. Loss of Natural Habitats: High-Altitude Vegetation, Pantanal. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e2911326242, 2022.

QIN, Y.; YI, S.; REN, S. et al. Responses of typical grasslands in a semi-arid basin on the Qinghai-Tibetan Plateau to climate change and disturbances. **Environmental Earth Sciences**, v. 71, n. 3, p. 1421–1431, 2014.

R CORE TEAM. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

RAMIREZ-VILLEGAS, J. et al. Using species distributions models for designing conservation strategies of Tropical Andean biodiversity under climate change. **J. Nat. Conserv**., v. 22, p. 391–404, 2014.

ROUSE, J. W. J.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In**: Third ERTS Symposium. Washington DC: NASA Special Publication Press, v. 351, p. 309–317, 1973.

SMILLIE, R. M. & NOTT, R. Heat Injury in Leaves of Alpine, Temperate and Tropical Plants. **Funct. Plant Biol**., v. 6, p. 135–141, 1979.

TAO, J. et al. Characteristics of temperature and precipitation change along increasing elevations in different agriculture regions of southwest China. **Chin. J. Agrometeorol**., v. 37, p. 379–389, 2016.

TOPODATA. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/. Acessado em: 08 de jun. de 2021.

TAO, J. et al. Elevation-dependent effects of climate change on vegetation greenness in the high mountains of southwest China during 1982–2013. **Int. J. Climatol**., v. 38, p. 2029–2038, 2018.

U.S. Geological Survey. Earth Explorer. Acessado em: 27 set. de 2020. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/

WANG, J. et al. Assessing vegetation dynamics impacted by climate change in the southwestern karst region of China with AVHRR NDVI and AVHRR NPP time-series. **Environ. Geol**., v. 54, p. 1185–1195, 2008.

XIONG, Q. L.; PAN, K. W.; ZHANG, L. et al. Warming and nitrogen deposition are interactive in shaping surface soil microbial communities near the alpine timberline zone on the eastern Qinghai-Tibet Plateau, southwestern China. **Applied Soil Ecology**, v. 101, p. 72–83, 2016.

YU, R. et al. Regional Climate Effects of Conversion from Grassland to Forestland in Southeastern China. **Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology**, v. 2013, p. 1-9, 2013.

YU, H.; XU, J.; OKUTO, E.; LUEDELING, E. Seasonal Response of Grasslands to Climate Change on the Tibetan Plateau. **PLoS ONE**, v.7, n. 11, p. e49230, 2012.

ZHAI, P. et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. **J. Clim**., v. 18, p. 1096–1108, 2005.

ZHANG, X.; LU, X.; WANG, X. Spatial-Temporal NDVI Variation of Different Alpine Grassland Classes and Groups in Northern Tibet from 2000 to 2013. **Mountain Research and Development**, v. 35, n. 3, p. 254–263, 2015.

ZHANG, Q. et al. Precipitation extremes in a karst region: a case study in the Guizhou

province, southwest China. **Theor. Appl. Climatol**., v. 101, p. 53–65, 2010.

ZHANG, X.; DU, X.; HONG, J.; DU, Z.; LU, X.; WANG, X. Effects of climate change on the growing season of alpine grassland in Northern Tibet, China. **Global Ecology and Conservation**, v. 23, p. e01126, 2020.

ZHANG, Q. et al. Spatial-temporal precipitation changes (1956–2000) and their implications for agriculture in China. **Glob. Planet. Change**., v. 82–83, p. 86–95, 2012.

ZHANG, B. & ZHOU, W. Spatial–Temporal Characteristics of Precipitation and Its Relationship with Land Use/Cover Change on the Qinghai-Tibet Plateau, China. **Land**, v. 10, n. 269, p. 1-21, 2021.

ZHOU, L.; TUCKER, C. J.; KAUFMANN, R. K. et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 106, n. D17, p. 20069–20083, 2001.

6. CONCLUSÃO GERAL

Existem muito poucos trabalhos realizados na observação/monitoramento de vegetação montanhosa/montanhosa no Brasil conforme foi demonstrado nos resultados das análises de bibliometria. Essa falta de trabalhos na área faz com que ocorra um lapso temporal e uma incógnita quanto ao que está acorrendo nessas áreas caracterizadas como sensíveis e ecologicamente importantes. Portanto, dentro dessa ótica da necessidade e importância do acompanhamento ao longo dos anos no monitoramento de áreas como essas mencionadas, deve-se chamar a atenção da comunidade científica na busca de realizar mais trabalhos e empregar novas técnicas que tragam dados reais e temporais nas diferentes áreas montanhosas do Brasil.

Além disso, foi possível observar nesse estudo que nos últimos 49 anos ocorreram mudanças espaço-temporal da área de cobertura dos Campos de Altitude na Serra do Amolar e Morraria do Urucum. Ao analisar o impacto da precipitação e da temperatura na vegetação por meio do NDVI, foi observado que a vegetação das áreas estudadas vem experimentando um crescimento lento. Normalmente, o NDVI aumentou significativamente de 1985 a 2022, o que foi consistente com à mudança de dados de temperatura e de precipitação ao longo da série temporal analisada. De acordo com os dados temporais das variáveis empregadas em relação ao NDVI, aquelas estavam obviamente com crescimento positivo na escala de médias mensais indicando que a temperatura e a precipitação foram fatores importantes que afetaram a variação da vegetação (NDVI). No entanto, em escala anual, os dados de precipitação sofreram uma alta variação de chuva acumulados nos últimos 15 anos nas duas áreas analisadas, o que pode implicar em novas mudanças nesses habitats. O que pode ser notado nesse estudo é que está se desenhando um novo cenário de alterações regionais nesses habitats montanhosos, já que a temperatura tem demonstrado uma curva ascendente e a precipitação nos últimos 15 anos mostra uma curva descendente, o que pode levar a um cenário de bruscas alterações do habitat montanhoso, podendo até levar à desertificação por se tratar de um habitat sensível com características próprias.

Portanto, esse estudo demonstrou as alterações ocorridas nos últimos anos na variação climática e seu reflexo sobre a vegetação, não entrando no mérito da discussão do que pôde ou está influenciando sobre a alteração das mudanças globais. Entretanto, os dados aqui apresentados são importantes e devem chamar a atenção para se buscar novas

observações em outros locais com vegetação montanhosa do Brasil e buscar entender se está ocorrendo esse mesmo fenômeno nos diferentes biomas do Brasil. A partir daí, pode a academia científica em conjunto com entidades públicas traçar objetivos e metas em busca de conservar as espécies que estão sofrendo essa alteração. Medidas como a criação de Unidades de Conservação podem ajudar quando se trata de efeitos antrópicos, porém há deficiência nessa medida quando se trata de efeito ambientais dos mais diversos que não sejam pela ação direta do homem, já que a Serra do Amolar possui em quase toda a sua extensão Unidades de Conservação. De todo modo, mais discussão é necessária sobre esse cenário que está se desenhando e este estudo pode ser um ponto de partida.