

Trabalho de Graduação

Curso de Graduação em Geografia

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA EVOLUÇÃO DE
VOÇOROCAS COM IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO (CORUMBATAÍ – SP)**

Danielle Mota Torres Nogueira

Prof(a).Dr(a). Cenira Maria Lupinacci

Rio Claro (SP)

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

DANIELLE MOTA TORRES NOGUEIRA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA
EVOLUÇÃO DE VOÇOROCAS COM IMAGENS DE ALTA
RESOLUÇÃO (CORUMBATAÍ – SP)

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção de grau de Bacharelado e
Licenciatura em Geografia.

Rio Claro - SP
2024

N778a

Nogueira, Danielle Mota Torres

Análise da influência da cobertura vegetal na evolução de voçorocas com imagens de alta resolução (Corumbataí - SP) / Danielle Mota Torres Nogueira. -- Rio Claro, 2024

45 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado e licenciatura - Geografia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientadora: Cenira Maria Lupinacci

1. Erosão. 2. Voçoroca. 3. Cobertura Vegetal. 4. Veículo aéreo não tripulado. I. Título.

DANIELLE MOTA TORRES NOGUEIRA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA
EVOLUÇÃO DE VOÇOROCAS COM IMAGENS DE ALTA
RESOLUÇÃO (CORUMBATAÍ – SP)

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel e Licenciatura
em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof(a).Dr(a). Cenira Maria Lupinacci (orientador)

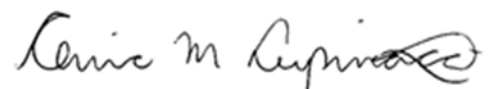
Prof(a).Dr(a). Melina Fushimi

Prof. Dr. Danilo Marques de Magalhães

Rio Claro, 03 de outubro de 2024.



Assinatura do(a) aluno(a)



assinatura do(a) orientador(a)

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, que esteve presente em cada passo da minha jornada, e à minha mãe, que, de outro plano, me guiou até aqui.

AGRADECIMENTOS

À minha madrinha, por me inspirar a seguir sua profissão;

Aos meus avós, Maria, Rute e Antônio, por serem meus primeiros exemplos e por todo o carinho e cuidado;

Às minhas familiares, Magda, Patrícia e Beatriz, por me acolherem, apoiarem minhas escolhas e celebrá-las comigo;

À Cenira, pela orientação deste trabalho, e ao Estêvão, pelos ensinamentos que o viabilizaram;

Aos meus amigos de curso, Ana Júlia, Rodrigo e José Diogo, pela parceria e por compartilharem os momentos bons e difíceis da graduação comigo;

Às minhas amigas de república, Geovanna e Amanda, pelo apoio, companheirismo e lealdade;

Às minhas amigas de São Paulo, Amabili, Elora e Giovana, pelos momentos de descontração e pelas visitas a Rio Claro;

Ao meu companheiro Bruno, pelo incentivo e acolhimento durante a realização deste trabalho;

Aos membros e tutores do grupo PET Geografia, pelos três anos de convivência e desenvolvimento de atividades que contribuíram enormemente para minha formação.

RESUMO

A erosão acelerada é o processo de desgaste do solo, que modifica a superfície da Terra e é intensificada pelas atividades humanas, acarretando problemas ambientais e sociais. A erosão do tipo linear origina canais, devido ao escoamento superficial concentrado, que ao longo do tempo podem evoluir para feições erosivas classificadas como voçorocas. Nesse contexto, a cobertura vegetal é um fator essencial para a proteção do solo contra processos erosivos. Desse modo, a pesquisa proposta busca identificar a influência da cobertura vegetal na evolução dos taludes erosivos dessas feições, a partir do estudo e monitoramento de uma voçoroca situada no perímetro rural do município de Corumbataí (SP). A metodologia se baseou no levantamento de dados em campo, para monitorar a evolução do talude da voçoroca, junto à utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) para obter imagens de altíssima resolução em quatro períodos distintos. As imagens foram processadas em ambiente SIG, de modo a identificar a relação da cobertura vegetal com a evolução dessa feição erosiva a partir da realização da classificação do uso e cobertura da terra e do Índice de Vegetação (IV). Dentro da área de estudo foram feitos dois recortes (Setor A e Setor B e C), analisados separadamente, pois são locais que apresentam dinâmicas diferentes. A análise dos dados permitiu constatar que a dinâmica erosiva da voçoroca é influenciada por múltiplos fatores, com destaque para a cobertura vegetal e suas interações com as condições climáticas e o manejo do solo, visto que é uma área de pastagem. Nos Setores B e C o gado tinha mais acesso, e foi possível observar que a retirada dos animais do local resultou na recuperação da cobertura vegetal e diminuição nos valores de perda de material, indicando uma possível relação entre a preservação da vegetação e a minimização do avanço do talude erosivo. No Setor A, observou-se relação semelhante: em um dos períodos analisados, houve maior preservação da cobertura vegetal próxima ao canal hídrico da voçoroca, associada à redução do avanço do talude erosivo, monitorado em campo. Em relação ao Índice de Vegetação, os resultados apresentaram inconsistências, indicando limitações no sensor RGB em detectar adequadamente esse índice. Esses resultados indicam que a preservação da cobertura vegetal desempenha um papel fundamental na estabilização de taludes erosivos, enquanto as limitações técnicas do sensor RGB para gerar o Índice de Vegetação apontam para a necessidade de câmeras com a banda do infravermelho próximo (NIR) para melhores resultados desse índice.

Palavras-chave: Erosão; Voçoroca; Cobertura Vegetal; VANT.

ABSTRACT

Accelerated erosion is a process of soil degradation that alters the Earth's surface and is exacerbated by human activities, leading to environmental and social problems. Linear erosion creates channels due to concentrated surface runoff, which can evolve into more severe features classified as gullies. In this context, vegetation cover plays a crucial role in protecting the soil from erosive processes. This study aims to investigate the influence of vegetation cover on the evolution of erosive slopes in gullies, focusing on a specific gully located in the rural area of Corumbataí (SP). The methodology includes field data collection to monitor slope changes, using UAVs to capture high-resolution images in four distinct periods. The images were processed in a GIS environment to identify the relationship between vegetation cover and the gully's evolution by conducting land use and land cover classification and Vegetation index analysis. Two sections within the study area (Section A and Sections B/C) were analyzed separately, as they exhibit different dynamics. Data analysis revealed that the gully's erosive dynamics are influenced by multiple factors, with a particular emphasis on vegetation cover and its interactions with climatic conditions and land management, given that the area is used for grazing. In Sections B and C, where cattle had more access, it was observed that removing livestock resulted in vegetation recovery and reduced material loss, suggesting a potential link between vegetation preservation and reduced slope advancement. A similar relationship was observed in Section A, where during one of the analyzed periods, greater vegetation preservation near the gully's watercourse was associated with a reduction in slope progression, as monitored in the field. However, with regard to Vegetation index, the results showed inconsistencies, highlighting the limitations of the RGB sensor in accurately detecting this index. These findings indicate that preserving vegetation cover plays a fundamental role in stabilizing erosive slopes, while the technical limitations of the RGB sensor for generating Vegetation index emphasize the need for cameras equipped with near-infrared (NIR) bands to improve the accuracy of this results.

Keywords: Erosion; Gully; Vegetation Cover; UAV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização da Área de Estudo.....	19
Figura 2: Identificação das Estacas e dos Setores de Monitoramento.....	22
Figura 3: Gráfico da distribuição percentual das classes de uso e ocupação da terra do Setor A.....	30
Figura 4: Uso e Ocupação da Terra do Setor A	31
Figura 5. Gráfico da distribuição percentual das classes de uso e ocupação da terra dos Setores B e C.....	32
Figura 6. Uso e Ocupação da Terra dos Setores B e C.....	34
Figura 7. Relação entre o ortomosaico e os resultados do NDVI.....	36
Figura 8: Índice NDVI do Setor A.....	37
Figura 9: Índice NDVI dos Setores B e C.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos valores do índice Kappa.....	25
Tabela 2. Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor B e C 08/05/21.....	28
Tabela 3. Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor B e C 07/08/21.....	28
Tabela 4. Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor B e C 06/11/21.....	28
Tabela 5. Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor B e C 05/02/22.....	28
Tabela 6. Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor A 08/05/21.....	29
Tabela 7. Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor A 07/08/21.....	29
Tabela 8. Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor A 06/11/21.....	29
Tabela 9. Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor A 05/02/22.....	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1. Conceitos sobre erosão	15
3.2. O uso das Geotecnologias para a análise de processos erosivos.....	16
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
5. METODOLOGIA.....	21
5.1. Coleta de Dados.....	22
5.2. Processamento das Imagens de VANT.....	23
5.3. Processamento dos dados em Ambiente SIG.....	23
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
6.1. Classificação do Uso e Cobertura da Terra.....	27
6.2. Desempenho do NDVI.....	35
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

A erosão é um dos processos responsáveis por modelar a superfície da Terra, compreendendo um conjunto de fenômenos naturais que envolvem a desagregação e remoção do solo ou fragmentos de rochas (Sant'ana; Nummer, 2011). Esse processo é naturalmente gradual e lento, podendo levar centenas a milhares de anos para gerar uma modificação relevante na paisagem. Entretanto, o ser humano, como um agente modificador do ambiente, consegue causar alterações no solo e na cobertura vegetal natural durante sua busca para obter recursos naturais, de modo a potencializar essa dinâmica erosiva (Guerra, 2000).

A erosão linear tem início com a formação e aprofundamento de sulcos causados pelo escoamento concentrado das águas superficiais. Com o avanço desse processo, forma-se feições mais aprofundadas, classificadas como ravinas. À medida que a erosão avança, combinando a ação de águas superficiais e subsuperficiais, geram-se as voçorocas, que representam o estágio mais avançado do fenômeno erosivo (Guerra; Silva; Botelho, 2005).

Desse modo, as voçorocas estão associadas à ação erosiva linear acelerada, que ocorre devido ao desequilíbrio entre a velocidade de formação do solo e a velocidade de remoção de partículas (Oliveira; Dos Santos; De Araújo, 2018). Esse fenômeno cria áreas suscetíveis a deslizamentos de maciços do solo, que são responsáveis pela formação de taludes.

A necessidade de estudos geomorfológicos sobre esse processo tornou-se ainda mais evidente com a introdução de novas formas de uso e ocupação da terra pelo sistema antrópico, que atuam como fatores que geram, transformam e aceleram os processos naturais (Filho; Quaresma, 2011). Esta questão é evidenciada pelo relatório realizado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (2015), que mostra a influência das atividades humanas nos processos erosivos na atualidade, ao estimar que cerca de 33% das terras enfrentam degradação significativa.

Nesse sentido, destaca-se a importância da cobertura vegetal em minimizar os processos erosivos. Segundo Guerra, Silva e Botelho (2005), a cobertura vegetal funciona como uma defesa natural para o solo, protegendo-o contra a erosão ao regular a temperatura e a umidade, servindo como uma barreira contra a radiação solar e a chuva. Essa proteção torna-se ainda mais relevante quando se considera que a fragilidade do solo, quando combinada com a ausência de vegetação, facilita a concentração do fluxo pluvial, o que resulta na formação de sulcos erosivos, que são o estágio inicial da erosão (Mathias, 2016).

Assim, compreende-se a importância do estudo e o monitoramento de voçorocas para buscar meios de mitigar os impactos gerados por esse fenômeno. Nesse contexto, a análise de

como a cobertura da superfície influencia a evolução ou a estabilidade dos taludes erosivos de voçorocas é fundamental para o entendimento mais profundo dessa problemática. Silva e Lupinacci (2021) destacam um complexo sistema erosivo na alta bacia do Ribeirão da Boa Vista, localizado na área rural do município de Corumbataí (SP), área escolhida para estudo desta pesquisa.

Por fim, destaca-se a importância da utilização de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para o estudo de feições erosivas, devido ao alto detalhamento e à precisão das imagens capturadas por esses dispositivos (Julian; Nunes, 2020). Além disso, a resolução espacial oferecida por imagens orbitais gratuitas e atualizadas é insuficiente para análises mais detalhadas, como a proposta nesta pesquisa.

Dessa forma, este trabalho apresenta um referencial teórico, fundamentado em autores que estudam as feições erosivas e o monitoramento de voçorocas, e as pesquisas que empregam imagens geradas por meio de VANTs para tais questões. Em seguida, detalha a caracterização da área de estudo, destacando as características litológicas e pedológicas, além do clima e do uso da terra na região. Ademais, apresenta a metodologia adotada, expondo como foram realizados os levantamentos de dados em campo, a obtenção de imagens de alta resolução e o processamento dessas informações em ambiente SIG. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da análise das imagens e dos dados de campo.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar a evolução do talude erosivo de uma voçoroca a partir de imagens de altíssima resolução, obtidas por um VANT.

Dentre os objetivos específicos, destacam-se:

- Identificar as variações da vegetação no entorno do talude em diferentes períodos, seco e úmido, por meio de monitoramentos e imageamentos realizados trimestralmente.
- Verificar a interferência da diferença de cobertura vegetal ao longo do ano, considerando as condições de umidade, no desenvolvimento das feições erosivas.
- Avaliar a utilização de índices de vegetação, com imagens RGB, para análise de feições erosivas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, será apresentado o referencial teórico-metodológico desta pesquisa, que se fundamenta na revisão dos principais conceitos e definições sobre erosão, além de estudos que utilizam geotecnologias no monitoramento e controle de processos erosivos. Esses elementos fornecem a base necessária para orientar a abordagem aplicada na análise e interpretação dos resultados.

3.1. Erosão do solo: conceitos e processos

Para Oliveira, Santos e Araújo (2018) a erosão é um processo que remove as camadas superficiais do solo e as transporta através de agentes erosivos como rios, vento e, principalmente, a chuva, especialmente em regiões tropicais. Segundo Guerra (2002), este fenômeno é um dos principais causadores da degradação dos solos, pois, além de promover uma série de consequências ao solo, também apresenta ampla distribuição espacial nos dias atuais.

Quando a erosão é causada exclusivamente pela ação de agentes naturais, sem influência humana, é classificada como erosão geológica ou natural, desempenhando um papel fundamental na modelagem do relevo (Weill; Pires Neto, 2007). Por outro lado, quando as atividades humanas impactam os sistemas naturais e intensificam o processo erosivo, o fenômeno é denominado erosão antrópica ou acelerada, o que indica que a capacidade de autorregulação natural do sistema foi ultrapassada, indicando práticas inadequadas de uso e manejo do solo (Costa, 2010).

A erosão linear ocorre quando o escoamento das águas das chuvas se concentra em canais, provocando o desgaste do solo (Guerra, 2010). Este processo se origina e evolui a partir da interação entre fatores físicos, como características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrológicas, e fatores antrópicos, como a remoção da cobertura vegetal e o uso inadequado do solo (Mathias, 2016). Assim, as formas erosivas que decorrem da erosão linear, os sulcos, as ravinas e as voçorocas, surgem e se intensificam com a ação desses fatores.

Sulcos e ravinas diferenciam-se principalmente pela profundidade da erosão linear, iniciada pela concentração do escoamento superficial (Santoro, 2015). À medida que os sulcos se formam e se aprofundam até interceptar o lençol freático, ocorre uma combinação de processos erosivos provocados pela ação conjunta das águas superficiais e subsuperficiais,

resultando em perda de material de grandes proporções; a partir desse estágio, o fenômeno é denominado voçoroca (Salomão, 1999).

Outros autores estabelecem limites de profundidade para diferenciar voçorocas de ravinas, assim, definem que a partir de determinadas dimensões a erosão deve ser chamada de voçorocas, que podem apresentar ou não canal fluvial, e variam de 0,5 a 30 metros de profundidade (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 2008; Loureiro et al., 2020; Guerra; Bezerra; Jorge, 2023).

Assim, embora existam divergências na definição dessas feições, Zanatta (2018) destaca que há um consenso de que a evolução dessas erosões ocorre pela combinação de diferentes mecanismos e suas atuações em escalas temporais e espaciais variadas, sendo influenciados tanto pelo escoamento superficial quanto pelo subsuperficial, o que contribui para o desenvolvimento e intensificação das feições erosivas ao longo do tempo.

Segundo Mathias (2016), os fatores antrópicos que influenciam na erosão linear envolvem principalmente a supressão da vegetação e o uso inadequado do solo. Em relação ao manejo inadequado, áreas de pastagens prejudicam a vegetação ao reduzir o vigor das plantas, a má distribuição do gado e a utilização precoce dessas áreas contribuem para a sua degradação, visto que a recuperação natural é lenta, especialmente quando o gado permanece na área, o que dificulta a revegetação (Bertoni; Lombardi, 2012).

Bertoni e Lombardi Neto (2012) destacam que a cobertura vegetal oferece múltiplos benefícios, como proteção contra o impacto das chuvas, dispersão da energia das águas superficiais e aumento da infiltração de água. Assim, compreende-se que com a presença de uma vegetação densa, a energia da água é dissipada, diminuindo o potencial erosivo e o desgaste do solo. Em contrapartida, estes autores também apontam que as áreas de pastagem são geralmente compostas por uma vegetação pouco densa, formada por gramíneas e plantas herbáceas, outra questão que as torna mais suscetíveis à erosão.

Dessa forma, o avanço e intensificação das atividades humanas contribui diretamente para a modificação do relevo, alterando os processos geomorfológicos naturais (Peloggia, 2005). As ações antrópicas, como o uso inadequado do solo e a supressão da vegetação, ampliam a vulnerabilidade do solo à erosão. Dessa forma, ao intervir nos processos erosivos, o ser humano não apenas transforma o relevo, mas também afeta o equilíbrio ambiental e a dinâmica dos processos geomorfológicos.

3.2. O uso das Geotecnologias para a análise de processos erosivos

As geotecnologias são fundamentais para compreender e monitorar fenômenos e processos espaciais. Essas ferramentas permitem a coleta, armazenamento e análise de grandes volumes de dados, que seriam inviáveis de serem tratados por métodos tradicionais (Marcelino, 2008)

Neste trabalho, as geotecnologias empregadas incluem o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), ferramentas que permitem uma análise detalhada e precisa dos processos erosivos, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada da dinâmica da cobertura vegetal.

Em uma definição ampla, o sensoriamento remoto pode ser entendido como “a aquisição de informações sobre um objeto sem que se entre em contato físico com ele” (Elachi, 1987). Já Novo (2003), define como o uso integrado de sensores, sistemas de processamento e transmissão de dados instalados em plataformas como aeronaves, satélites, entre outras, que tem como objetivo estudar eventos e processos que ocorrem na superfície da Terra através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e os materiais presentes na superfície, permitindo o monitoramento de fenômenos com diferentes propósitos.

A distância entre o sensor e a superfície terrestre pode variar, sendo classificada em três níveis de altitude: o primeiro é o orbital, com sensores em satélites; o segundo é o aéreo, com sensores em aeronaves ou VANTs/drones; e o terceiro abrange sensores em campo e laboratórios instalados em estruturas terrestres (Florenzano, 2002; Barcelos, 2015).

Wang et al. (2016) utilizaram imagens de VANT e imagens orbitais, juntamente com medições em campo, para estudar erosões lineares e comparar as diferenças decorrentes das resoluções espaciais dessas imagens. Os autores constataram que as imagens de satélite não permitem uma análise detalhada de uma voçoroca, enquanto muitas informações só se tornaram visíveis nas imagens obtidas pelo VANT. Assim, as imagens de alta resolução espacial podem contribuir significativamente para os estudos dos processos erosivos, o que favorece a implementação de ações mitigadoras mais eficazes.

Além disso, Loureiro, Guerra e Andrade (2020) utilizaram VANTs em seus estudos e constataram que esse aparelho oferece flexibilidade em relação à periodicidade das coletas de dados, facilitando o monitoramento de feições erosivas e a análise de suas dinâmicas espaciais e temporais.

Em relação ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), pode ser definido como um conjunto de ferramentas que permite a coleta, armazenamento, transformação e representação de dados georreferenciados da superfície terrestre, com o objetivo de atender a finalidades

específicas (Burrough, 1986). Dessa forma, esse sistema possibilita a análise e manipulação de grandes volumes de informações espaciais.

Portanto, a combinação das técnicas de sensoriamento remoto com o SIG possibilita o processamento das imagens de alta resolução e, posteriormente, o georreferenciamento e classificação do uso e cobertura da terra e de um Índice de Vegetação.

A caracterização do uso e cobertura da terra envolve a análise dos tipos de uso predominantes em uma área, frequentemente classificados em categorias, permitindo uma compreensão detalhada das feições presentes na área. Em relação ao Índice de Vegetação, neste trabalho optou-se pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que é amplamente utilizado para identificar a presença de vegetação, caracterizar sua distribuição espacial e acompanhar sua evolução temporal (LOBATO et al., 2010), além de avaliar também o vigor vegetativo. Essas características são fundamentais para estudos que buscam analisar a supressão vegetal e as mudanças resultantes na cobertura do solo.

Este índice, proposto por Rouse *et al.* (1973), é definido como sendo a diferença entre a reflectância no infravermelho próximo (NIR) e reflectância no vermelho (RED), dividida pela soma das duas reflectâncias, ou seja:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{RED} + \rho_{NIR})$$

Onde NIR é informação obtida na região espectral do infravermelho próximo e RED é a informação obtida na região espectral vermelha visível.

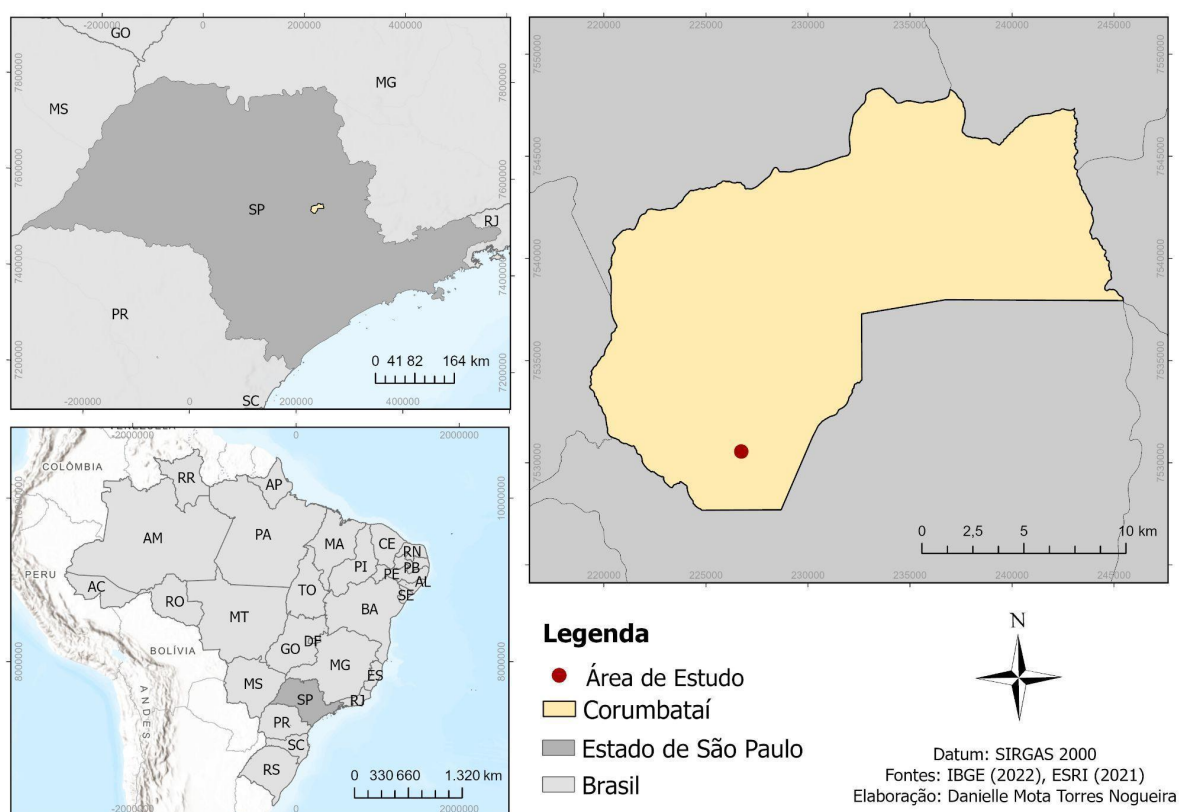
Para alguns autores, as imagens obtidas de sensores RGB são eficazes para calcular índices de vegetação (Barbosa et al., 2019; Bendig et al., 2015). No entanto, Sampaio et al. (2020) indicaram que o NDVI tem um potencial de uso reduzido em imagens RGB, apresentando limitações na diferenciação das áreas estudadas.

Por fim, nota-se que a integração do uso do sensoriamento remoto e SIG aprimora a análise espacial e a modelagem de fenômenos ambientais, agilizando e otimizando a análise de cenários (Florenzano, 2005)

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Corumbataí está situado na Bacia Sedimentar do Paraná, na porção correspondente a província geomorfológica da Depressão Periférica Paulista. A área de estudo compreende uma sub-bacia hidrográfica na qual afloram duas importantes unidades estratigráficas: Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois) e a Formação Pirambóia (Grupo São Bento).

Figura 1: Localização da Área de Estudo



Fonte: a autora (2024)

Em relação às características litológicas, a Formação Corumbataí é caracterizada por argilitos, siltitos e folhelhos em tons arroxeados, marrom-avermelhados, e alguns esverdeados, inclui intercalações de arenitos, leitos carbonáticos e coquinas; além disso, os espessos e contínuos pacotes lamíticos são alvos da atividade de mineração para a produção de cerâmica vermelha (Zaine, 1994). Já a Formação Piramboia é composta por extensos depósitos de arenitos em tons esbranquiçados, amarelados e avermelhados, com granulometria variando de fina a média, inclui intercalações de camadas finas de argilitos e siltitos, com ocorrências de níveis conglomeráticos; também se caracteriza por estruturas sedimentares notáveis, como estratificação cruzada de grande e médio porte (Zaine, 1994).

De acordo com Guerra, Silva e Botelho (2005), o solo exerce um papel essencial nos processos erosivos, tanto influenciando quanto sendo influenciado por estes, oferecendo maior ou menor resistência à erosão. Esse impacto é determinado pelas propriedades físicas do solo, como textura, estrutura, permeabilidade e densidade, além de suas características químicas, biológicas e mineralógicas, que também contribuem para sua suscetibilidade ao processo erosivo.

Segundo Camargo et. al. (2009), a análise da pedologia também é crucial na avaliação e no planejamento do uso da terra, sendo essencial quando se visa a recuperação de áreas degradadas por processos erosivos. Na alta bacia do Ribeirão da Boa Vista identifica-se a presença de Argissolos Vermelho Amarelo Distrófico e de Neossolos Quartzarênicos, em associação com Latossolos Vermelho Amarelo Álico (Silva e Lupinacci, 2021).

Os Argissolos apresentam maior suscetibilidade à erosão por possuir baixa coesão e menor permeabilidade nos horizontes subsuperficiais (IAC, 2014). Enquanto nos Neossolos Quartzarênicos o processo erosivo não é acentuado, mas deve-se ter precaução devido à suscetibilidade à erosão associada à sua textura predominantemente arenosa; por fim, os Latossolos Vermelho Amarelo apresentam teores medianos de óxido de ferro, resultando em elevada acidez e baixa fertilidade química (EMBRAPA, 2006).

Além disso, a área de estudo apresenta um clima classificado como Cwa, ou seja, tropical chuvoso, caracterizado por duas estações definidas, compreendendo um verão chuvoso e um inverno seco (Köppen, 1948). A temperatura média anual corresponde a 20,4 C e a precipitação média anual é de 1517 mm (Monteiro; Aulino, 1981).

Por fim, apresenta vegetação pouco densa, composta majoritariamente por gramíneas e com a presença de arbustos. No que diz respeito ao uso e ocupação da terra, os setores destacados na Figura 2 exibem feições erosivas concentradas em áreas predominantemente dedicadas à pastagem, atividade que é reconhecida como potencializadora para o desenvolvimento de processos erosivos lineares (Silva e Lupinacci, 2021).

Considerando essas características, observa-se um conjunto de fatores físicos que afetam a dinâmica dessa região, como os elementos que formam as litologias e as condições climáticas, que exercem influência direta sobre o solo. Além disso, a interação entre esses fatores e o uso antrópico da área também impactam na sua transformação.

5. METODOLOGIA

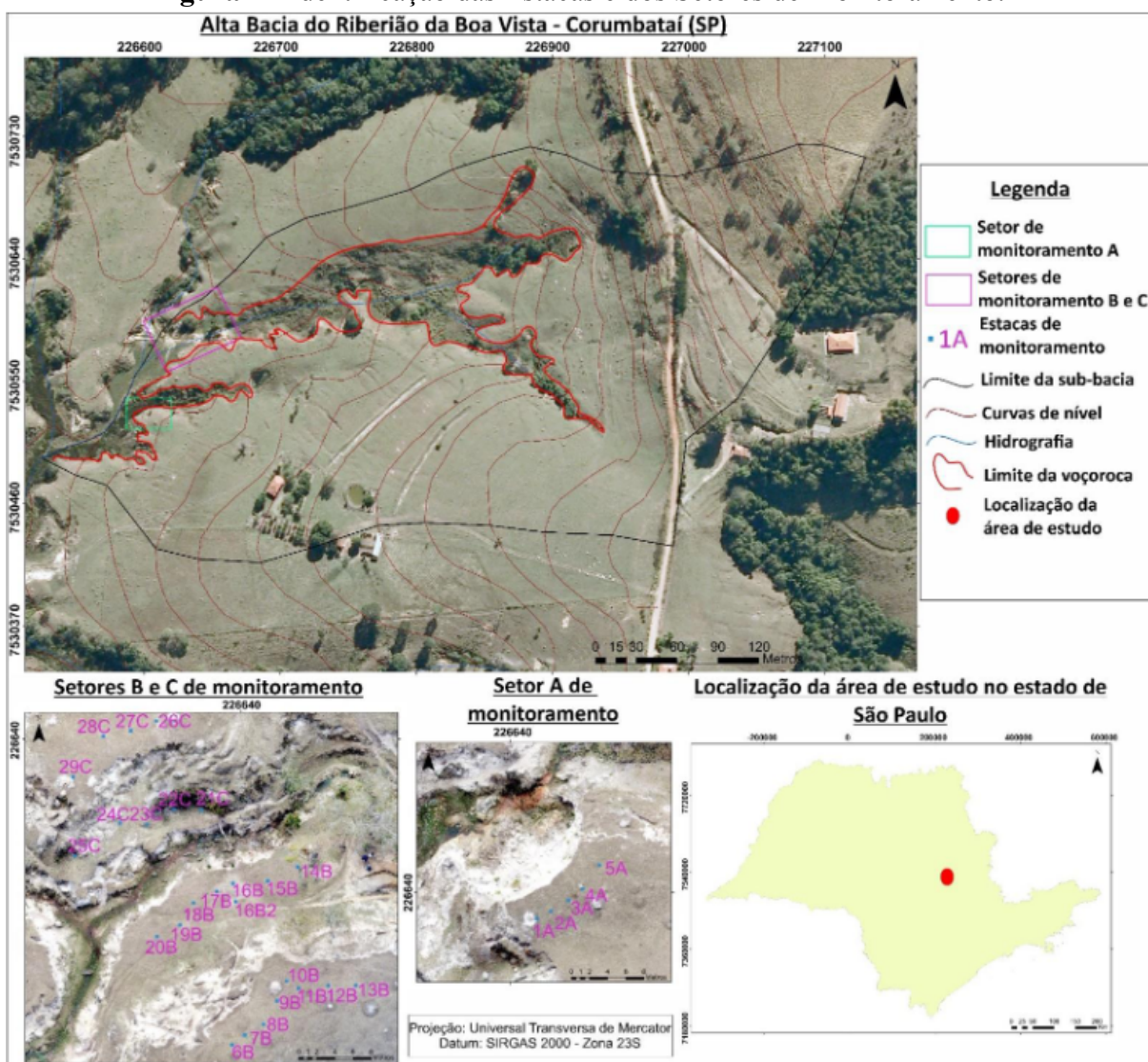
A metodologia da pesquisa foi organizada em três etapas: levantamento de dados em campo, processamento de imagens de altíssima resolução e processamento dos dados em ambiente SIG. Destaca-se que o objetivo do projeto foi atingido a partir do compartilhamento de dados de monitoramento do talude erosivo de um sistema de voçorocas localizado na área de estudo e de aerolevantamento com VANT, obtidos por Stefanuto (2024).

5.1. Coleta de Dados

A análise da evolução da erosão em campo, seguiu a metodologia proposta por Guerra (2002), com a utilização de estacas fixadas no entorno da feição erosiva para avaliar a perda de solo que ocorre no local.

Os setores de monitoramento apresentam 29 estacas físicas (Figura 2), instaladas nas proximidades dos taludes erosivos, com o propósito de monitorar a progressão da erosão ao longo do tempo. A seleção dos locais considerou o grau de dinamicidade do talude erosivo, identificado por blocos solapados e taludes desnudos (Stefanuto; Lupinacci, 2023).

Figura 2 - Identificação das Estacas e dos Setores de Monitoramento.



Fonte: Stefanuto e Lupinacci (2023)

Destaca-se a importância da aquisição de imagens em diferentes períodos para compreender a dinâmica da área, considerando que as variações sazonais provocam mudanças na cobertura vegetal e na exposição do solo, fatores que influenciam no processo erosivo. Assim, o levantamento para a obtenção das imagens de altíssima resolução foi realizado em períodos seco e úmido.

Para isso foi utilizado o VANT DJI MAVIC Pro, que apresenta sistema de posicionamento por satélite GPS/GLONASS, um sensor RGB com 1/2.3" (CMOS) e pixels efetivos de 12.35M. O plano de voo foi organizado utilizando o software DroneDeploy, definindo-se os seguintes parâmetros: altitude de 40 metros; resolução espacial de 1,3 cm; imagens com 75% de sobreposição frontal e 70% de sobreposição lateral. Os imageamentos

foram realizados trimestralmente, visando a identificação de mudanças de cobertura também dos períodos de transição entre as estações secas e úmidas. O seguinte calendário foi adotado: 08 de maio, 07 de agosto e 06 de novembro de 2021 e 05 de fevereiro de 2022.

5.2. Processamento das Imagens de VANT

Posteriormente ao imageamento da área, o ortomosaico foi processado a partir do software Open Drone Map em sua versão online (WebODM), em um computador com processador Intel(R) Core (TM) i7-5820K, memória RAM de 64GB e GPU NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB. Para o processo inicial foram realizados alguns testes com base nas contribuições comunitárias feitas pelos usuários da OpenDroneMap Community; inicialmente utilizou-se os seguintes parâmetros: nó de processamento na função “auto” e em opção selecionou-se “high resolution”, deixando o redimensionamento ativo com 2048 px. Em seguida, realizou-se um novo processamento, com as mesmas imagens, seguindo novos parâmetros. Assim, nó de processamento foi colocado na função “manual”, selecionando o servidor correspondente ao computador destinado ao processamento, a opção “high resolution” se manteve e a função de redimensionamento da imagem foi desativada, visto que a ODM Community não recomenda o uso de redimensionamento para servidores com alta capacidade de processamento, deste modo, ao desativá-la o software utiliza os pixels totais das imagens obtidas, neste caso 4000X3000px de dimensão. O segundo processamento gerou ortomosaicos com uma qualidade melhor, sendo estes usados nas próximas etapas.

Em relação ao tempo de processamento, o primeiro voo contou com 289 imagens no total, que foram processadas em 4 horas e 20 minutos; sendo que o último voo contou com um total de 222 imagens, finalizadas em cerca de uma hora.

Ao serem concluídos, foram baixados todos os recursos disponibilizados pelo software na opção “baixar recursos”, sendo esses: ortofoto, modelo de superfície, nuvem de pontos (LAS), modelo texturizado, parâmetros da câmera, fotos da câmera (GeoJSON) e relatório de qualidade.

5.3. Processamento dos dados em Ambiente SIG

Os ortomosaicos foram georreferenciados através do software livre QGIS na versão 3.22.14, a partir das coordenadas das estacas físicas instaladas no local, que foram coletadas por um GPS RTK, proporcionando exatidão no posicionamento dos ortomosaicos. Para isso,

utilizou-se a ferramenta georreferenciador para cada ortomosaico, seguindo os seguintes parâmetros: sistema de coordenadas SIRGAS 2000/ UTM zone 23S, tipo de transformação polinomial 1, método de amostragem vizinho mais próximo e uso 0 para transparência quando necessário. Assim, os 29 pontos foram coletados em cada ortomosaico, com exceção do ponto 14B na imagem de 08/05/21, devido à vegetação ter sobreposto a estaca.

Para isso, foi realizada a padronização dos limites dos ortomosaicos com o objetivo de estabelecer um formato uniforme para todas as imagens. Essa uniformização foi realizada através da criação de uma nova camada temporária no QGIS, seguindo a rota "Layer >> Criar camada >> Nova camada temporária de rascunho >> Tipo de geometria: polígono >> Adicionar sistema de coordenadas". A definição de um polígono ao longo das extremidades do menor ortomosaico (05/02/22) foi essencial para o subsequente recorte dos demais cenários, garantindo coesão na apresentação visual.

Para uma análise mais detalhada da área em estudo, foram efetuados recortes adicionais nas imagens georreferenciadas, focalizando a análise em áreas específicas de interesse, notadamente nos pontos que apresentavam os taludes erosivos monitorados. Esses recortes foram criados com base nas estacas de monitoramento que delimitam a área, abrangendo aproximadamente 1 metro de distância de cada uma dessas. Assim, cada ortomosaico, nos diferentes períodos de coleta, foi dividido em três setores, sendo os cenários do setor de monitoramento A recortados e georreferenciados separadamente dos cenários dos setores de monitoramento B e C (Figura 2).

Essa abordagem permitiu concentrar a atenção nas características mais relevantes para o posterior processamento das imagens no *software* ArcGIS Pro na versão 3.1.3, a partir das ferramentas de classificação supervisionada da cobertura da terra e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

O processo de classificação do uso da terra no *software* ArcGIS Pro seguiu uma abordagem que visou garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados. A etapa de pré-processamento envolveu a segmentação das imagens, utilizando parâmetros específicos, como Detalhe espectral: 20, Detalhe espacial: 20 e Tamanho mínimo do segmento em pixels: 40. Esse procedimento visou otimizar a distinção entre diferentes características na paisagem.

Posteriormente, foram criadas amostras de treinamento para a classificação, as categorias selecionadas para treinamento foram Gramínea, Solo exposto e Sombra (apenas nos cenários que apresentassem presença dessa classe). Utilizou-se a classe sombra pois são setores que pervertem a resposta espectral da cobertura, sendo importante separá-la para evitar a confusão do classificador. Essas amostras foram então utilizadas para treinar o classificador

Máquina do Vetor de Suporte. Na classificação, o número máximo de amostras por classe foi 500.

Para avaliar a precisão do modelo, foram gerados 100 pontos de avaliação e a estratégia de amostragem selecionada foi “Random”. A análise desses pontos foi conduzida manualmente, e os resultados foram registrados na tabela de atributos para referência posterior. Em seguida, a matriz de confusão foi elaborada e armazenada no banco de dados do projeto e as imagens inicialmente classificadas como "Sombra" foram posteriormente reclassificadas como "Solo Exposto", utilizando a ferramenta de reclassificação.

Para avaliar a qualidade das classificações, utilizaram-se como referência os critérios definidos por Landis e Koch (1977), que correlacionam os valores do coeficiente Kappa com a qualidade das classificações, conforme apresentado na Tabela 1 a seguir:

Índice Kappa	Qualidade
0.00	Péssima
0.01 a 0.20	Ruim
0.21 a 0.40	Razoável
0.41 a 0.60	Boa
0.61 a 0.80	Muito boa
0.81 a 1.00	Excelente

Tabela 1 - Classificação dos valores do índice Kappa

Além disso, foi calculado o NDVI para analisar a vitalidade da vegetação das coberturas identificadas. O processo para a criação do NDVI foi realizado no ArcGIS Pro, seguindo os seguintes passos: Imagem > Índices > Vegetação e Solos > NDVI > configurou-se a banda do infravermelho próximo para a banda 2 (verde) e a banda vermelha para a banda 1 (vermelho).

Reforça-se que as imagens foram obtidas por um sensor RGB. Ao contrário dos sensores multiespectrais, o sensor RGB não incorpora a banda do infravermelho próximo (NIR), sendo substituída pela banda do verde. Essa abordagem foi adotada em virtude da limitação do sensor que acompanha o drone, uma vez que os sensores multiespectrais são mais recomendados para a criação do NDVI. O referido ajuste pautou-se no seguinte

pressuposto: uma vegetação com resposta espectral mais significativa na banda do verde apresenta maior vitalidade.

Como aponta Sampaio *et al.* (2020), há um potencial de utilização reduzido do NDVI em imagens obtidas por sensores RGB, devido a limitação na diferenciação das áreas trabalhadas pelos autores, com valores que variaram pouco (de 0,31 a 0,56). Assim, reconhece-se que o NDVI gerado desta forma apresenta limitações, principalmente para a análise de variáveis que demandam a sensibilidade do espectro infravermelho. As câmeras multiespectrais interagem com a luminosidade não visível a olho nu, especialmente gerada pelas plantas na faixa do infravermelho próximo, possibilitando a captura de diferentes bandas.

No presente estudo, a análise do NDVI revelou algumas disfunções, especialmente na representação da sombra nas imagens. A projeção da sombra como um tom de verde escuro gera distorções nos resultados, mais notadamente nos setores B e C conforme será apresentado na próxima seção. A compreensão dessas limitações é crucial ao interpretar os resultados do NDVI provenientes de imagens adquiridas por sensores RGB, visto que algumas variáveis não são adequadamente captadas pelo espectro visível.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os recortes das imagens georreferenciadas desempenharam um papel crucial na análise das áreas que apresentam taludes erosivos. A abordagem adotada divide cada imagem, referente aos períodos de maio, agosto e novembro de 2021, e fevereiro de 2022, em três setores distintos. Essa segmentação permite uma análise entre os diferentes cenários do setor de monitoramento A e os cenários dos setores B e C (Figura 3).

Destaca-se também que foram utilizados dados de medições da perda de material, a partir de estacas de controle instalados no entorno do talude (Stefanuto; Lupinacci, 2023). Os resultados revelam variações significativas ao longo dos quatro momentos avaliados, apresentados de maneira distinta para cada setor de monitoramento.

No Setor A, a análise revela que não houve perda de material em maio de 2021, seguida por um pequeno recuo do talude em agosto de 2021, de 0,04 metros, e em novembro de 2021 de 0,08 metros. A maior perda de material neste setor foi identificada em fevereiro de 2022, totalizando 0,11 metros. No Setor B, observou-se o menor recuo em agosto de 2021, com 0,21 metros, seguido de fevereiro de 2022, com 1,95 metros, enquanto os maiores períodos de perda de material foram maio de 2021 com 2,63 metros e novembro de 2021 com 2,76 metros. Já no Setor C, em agosto de 2021 houve o menor recuo, de 0,04 metros, seguido por novembro de 2021, com 0,58 metros, e fevereiro de 2022, com 0,77 metros, enquanto a maior perda de material foi de 0,79 metros, em maio de 2021 (Stefanuto; Lupinacci, 2023).

Ao todo, somando o recuo dos três setores, destaca-se que a perda total de material foi maior em novembro de 2021, atingindo 3,42 metros de recuo do talude, seguida de fevereiro de 2022, quando registrou-se uma perda de 2,83 metros. No mês de maio de 2021 o recuo foi de 2,33 metros, e em agosto de 2021 foi de 0,32 metros (Stefanuto; Lupinacci, 2023).

Assim, com o intuito de analisar a dinâmica da voçoroca, reconhecendo a sua complexidade, buscou-se examinar a relação dessa feição erosiva com o uso da terra. Com este propósito foram elaboradas duas figuras apresentando o uso e ocupação da terra, uma referente ao setor A e outra que compreende os setores B e C, cada uma contém quatro mapas, dos diferentes períodos analisados. Além disso, foram geradas outras duas figuras com quatro mapas em cada, correspondentes às mesmas áreas e os mesmos períodos, visando apresentar os resultados do NDVI.

6.1. Classificação do Uso e Cobertura da Terra

Destaca-se que os índices Kappa foram gerados como parte integrante do processo avaliativo da classificação do uso e cobertura da terra. As tabelas a seguir mostram os resultados dos cálculos de Kappa em cada um dos cenários, buscando aferir a confiabilidade da análise dessas classificações.

Setor B e C 08/05/21	Gramínea	Solo exposto	Sombra	Total	Kappa
Gramínea	59	13	1	63	
Solo exposto	5	13	0	18	
Sombra	1	0	18	19	
Kappa					0,80

Tabela 2 - Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor B e C 08/05/21

Setor B e C 07/08/21	Gramínea	Solo exposto	Sombra	Total	Kappa
Gramínea	59	3	1	63	
Solo exposto	5	13	0	18	
Sombra	1	0	18	19	
Kappa					0,80

Tabela 3 - Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor B e C 07/08/21

Setor B e C 06/11/21	Gramínea	Solo exposto	Sombra	Total	Kappa
Gramínea	65	1	0	66	
Solo exposto	3	19	0	22	
Sombra	3	2	7	12	
Kappa					0,81

Tabela 4 - Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor B e C 06/11/21

Setor B e C 05/02/22	Gramínea	Solo exposto	Sombra	Total	Kappa
Gramínea	71	4	-	75	

Solo exposto	0	25	-	25	
Sombra	-	-	-	-	
Kappa					0,89

Tabela 5 - Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor B e C 05/02/22

Setor A 08/05/21	Gramínea	Solo exposto	Sombra	Total	Kappa
Gramínea	31	1	0	32	
Solo exposto	1	65	0	66	
Sombra	0	0	2	2	
Kappa					0,95

Tabela 6 - Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor A 08/05/21

Setor A 07/08/21	Gramínea	Solo exposto	Sombra	Total	Kappa
Gramínea	37	16	-	53	
Solo exposto	1	44	-	45	
Sombra	-	-	-	-	
Kappa					0,76

Tabela 7 - Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor A 07/08/21

Setor A 06/11/21	Gramínea	Solo exposto	Sombra	Total	Kappa
Gramínea	35	3	-	38	
Solo exposto	1	61	-	62	
Sombra	-	-	-	-	
Kappa					0,91

Tabela 8 - Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor A 06/11/21

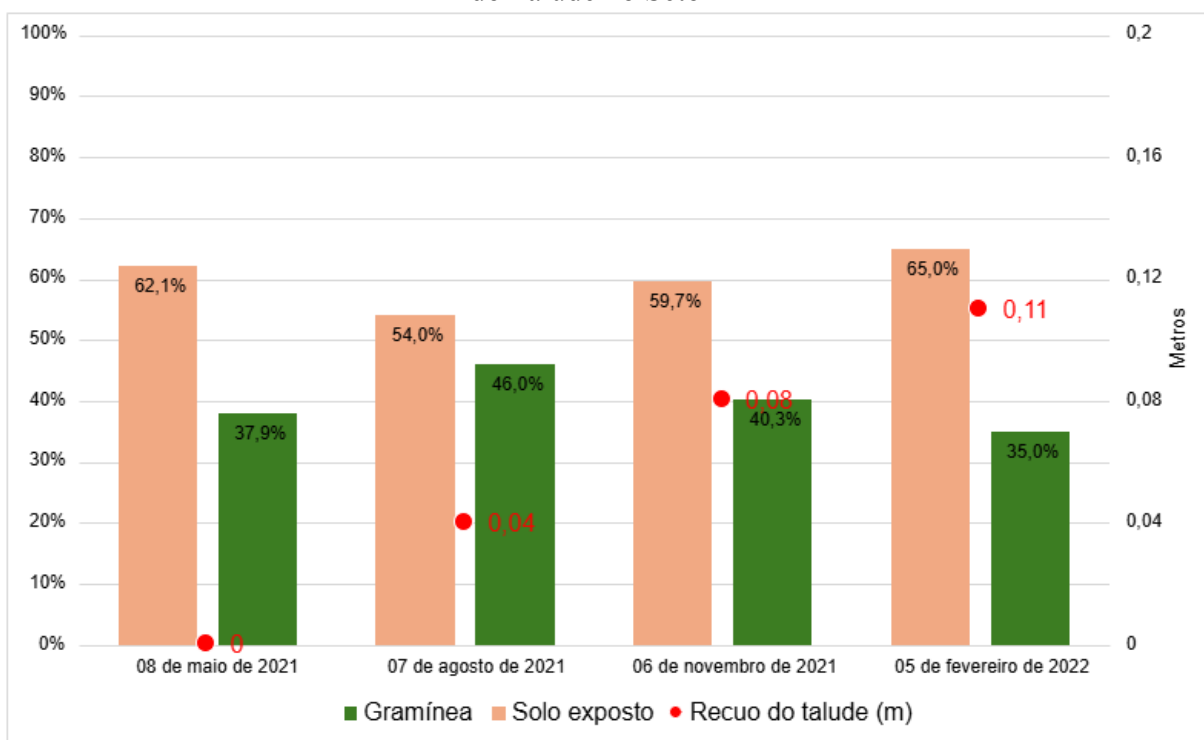
Setor A 05/02/22	Gramínea	Solo exposto	Sombra	Total	Kappa
Gramínea	29	0	1	30	

Solo exposto	6	47	1	54	
Sombra	1	0	15	16	
Kappa					0,85

Tabela 9 - Matriz de confusão da classificação de uso e cobertura do solo do Setor A 05/02/22

A classificação do uso da terra proporcionou a identificação de duas classes principais: cobertura vegetal e solo exposto. Ao comparar as classificações em diferentes períodos, entre maio de 2021 e fevereiro de 2022, observam-se alterações significativas em cada área de estudo (Figura 3).

Figura 3 - Análise Temporal da Distribuição Percentual das Classes de Uso da Terra e Recuo do Talude no Setor A



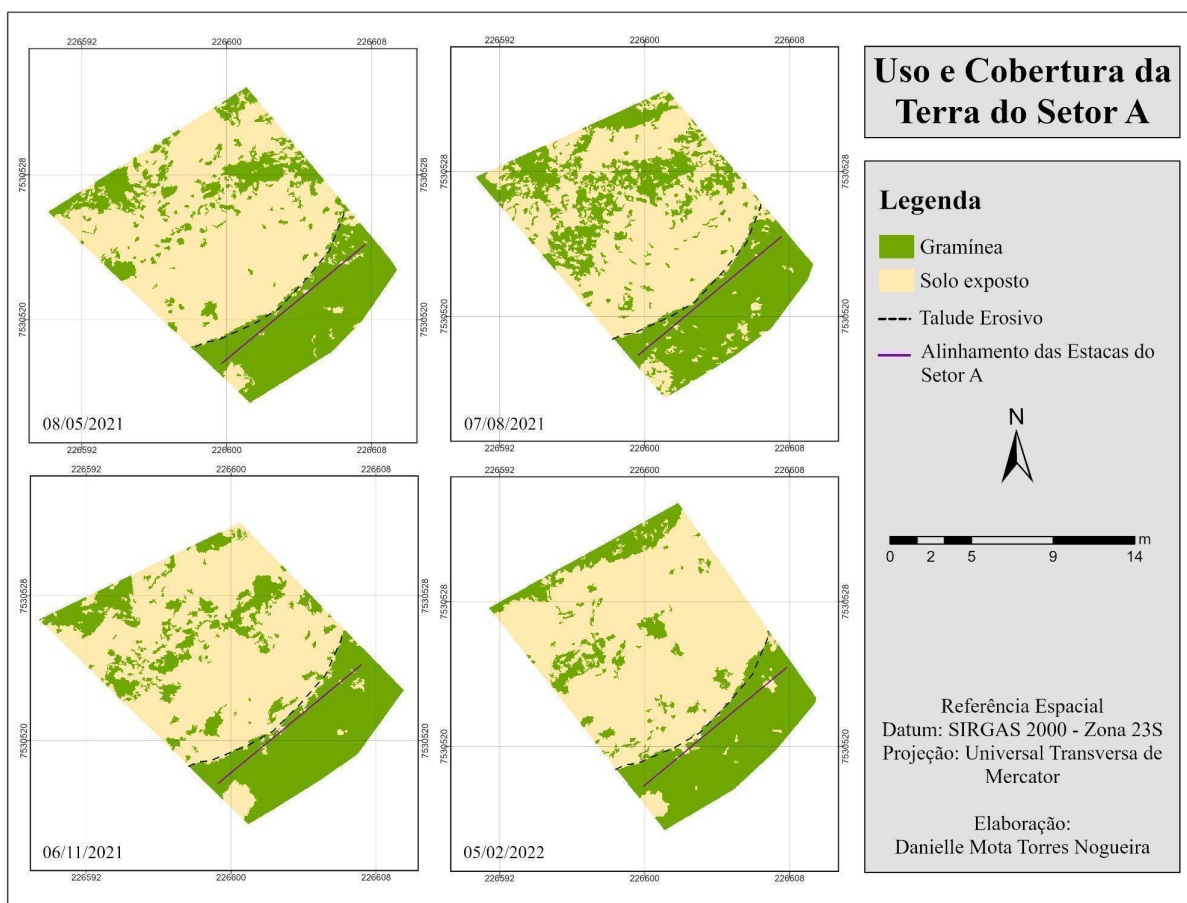
Fonte: A autora (2024)

A Figura 4 indica que, no setor A, a maior presença de vegetação ocorreu em agosto de 2021, mês que registrou o menor volume pluviométrico entre os meses estudados, com o total de 5,1 mm de chuva no mês (Stefanuto; Lupinacci, 2023). Neste cenário, o aumento na cobertura vegetal ocorre na porção interna da voçoroca, situada entre o talude erosivo e o canal hídrico (Figura 5). Assim, essa proximidade com o canal pode ter contribuído para a preservação das gramíneas mesmo durante o período de estiagem. Vale ressaltar que a perda

de material neste setor, em agosto de 2021, foi de apenas 0,04 metros. Esses dados indicam uma relação entre a preservação da cobertura vegetal e a redução do avanço do talude erosivo.

Por outro lado, em fevereiro de 2022, durante o período úmido, verifica-se um aumento na área de solo exposto no interior do sistema erosivo (Figura 4), provavelmente devido a retirada de material do talude pela própria chuva. A partir dos dados trazidos por Stefanuto e Lupinacci (2023), nota-se que o avanço da erosão é evidenciado pela maior perda de material entre os quatro períodos analisados, sendo o recuo do talude erosivo de 0,11 metros, o que sugere a relação entre a diminuição da cobertura vegetal e o avanço do talude erosivo.

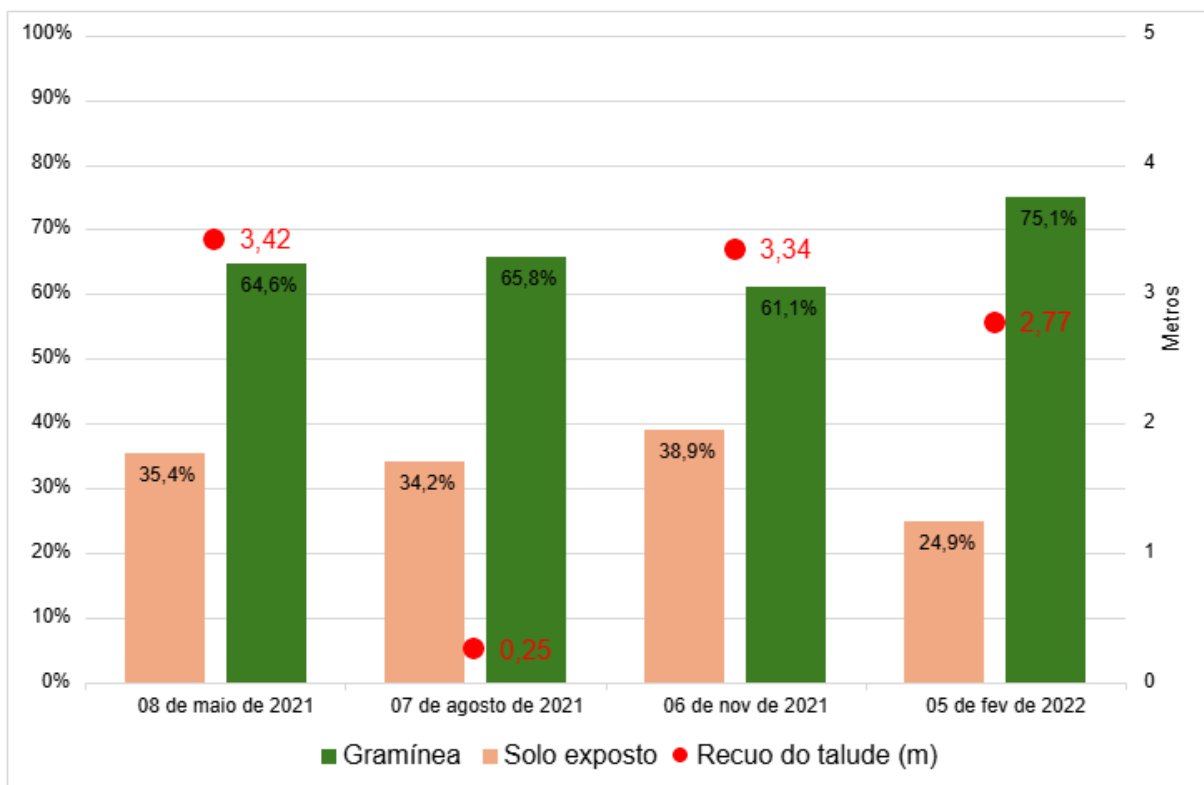
Figura 4: Uso e Ocupação da Terra do Setor A



Fonte: A autora (2024)

Na análise da distribuição percentual das classes de uso da terra nos setores B e C (Figura 5), é possível identificar uma dinâmica de uso e ocupação da terra diferente em comparação ao Setor A, com variações mais significativas no recuo do talude.

Figura 5 - Análise Temporal da Distribuição Percentual das Classes de Uso da Terra e Recuo do Talude nos Setores B e C



Fonte: A autora (2024)

Nestes dois setores observa-se maior presença de cobertura vegetal em fevereiro de 2022. Analisando os dados pluviométricos, tem-se que fevereiro de 2022 registrou um total de 115,1 mm de chuva e no mês anterior, janeiro de 2022, apresentou 391,3 mm de chuva total (Stefanuto e Lupinacci, 2023). Considerando que o último imageamento ocorreu nesse período de maiores chuvas, era esperado uma maior perda de material, assim como ocorreu no setor A.

É relevante salientar que durante parte do período analisado havia a presença de gado na área de estudo, principalmente nos setores B e C, e esses animais foram retirados pelo proprietário em 26 de novembro de 2021 (Stefanuto e Lupinacci, 2023). Assim, as diferenças apontadas entre o setor A e os Setores B e C podem ser atreladas a influência do pastoreio na área, visto que os animais tinham mais acesso aos setores B e C antes de serem retirados, devido à disponibilidade de recursos hídricos nessas áreas, que serviam para a dessedentação dos animais. Portanto, essa área provavelmente apresentou uma revitalização mais evidente da vegetação por este fator, já que a remoção dos animais da área gerou uma redução do impacto do pisoteio sobre o solo e sobre a vegetação.

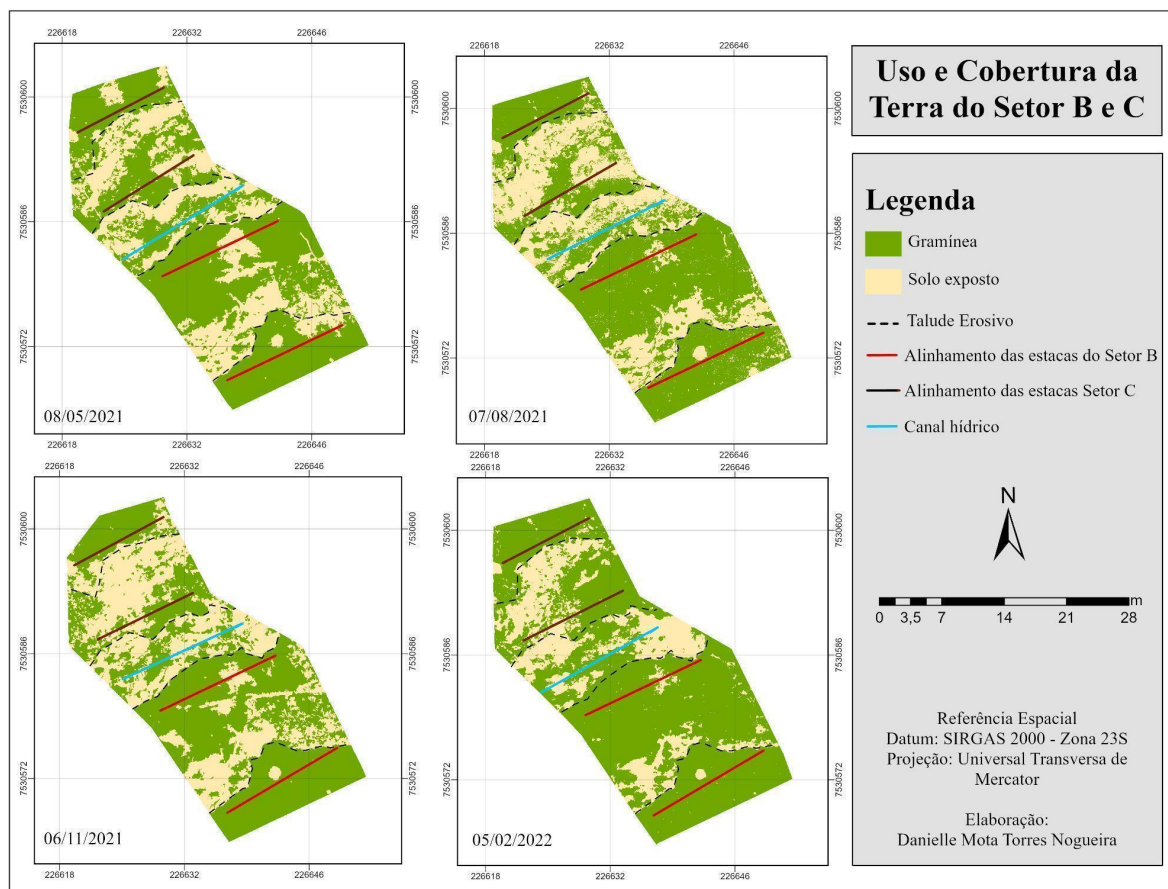
O processo de revitalização da cobertura vegetal após a retirada dos animais é gradual, ocorrendo ao longo dos meses. No entanto, no imageamento realizado em fevereiro de 2022,

já foi possível observar essa diferença, visto que a perda de material foi menor do que a esperada para um período chuvoso, indicando que a preservação da cobertura vegetal contribuiu para a diminuição do avanço do talude.

Outro ponto a ser destacado nos setores B e C é que o menor recuo de material ocorreu em agosto de 2021, que, como apontado anteriormente, foi o mês que registrou o menor volume pluviométrico entre os quatro estudados. Essa correlação sugere a influência direta das condições pluviométricas na dinâmica erosiva desses setores, pois indica que a escassez de chuvas pode ter desempenhado um papel crucial na preservação do material do talude, como também evidenciado no Setor A.

Também se destaca que nos setores apresentados na Figura 6, o canal foi usado para delimitar e dividir a área em dois setores. Para compreender melhor a dinâmica presente neste local, o estudo de Stefanuto e Lupinacci (2023) dividiu cada um desses dois setores em "inferior" e "superior", essa classificação baseou-se na morfologia dos taludes e em suas posições topográficas, uma vez que a área consiste em um talude erosivo dividido em dois patamares: o inferior, mais próximo ao canal, e o superior, conectado ao topo do patamar inferior.

Figura 6: Uso e Ocupação da Terra dos Setores B e C



Fonte: A autora (2024)

Dessa maneira, os resultados apontados pelos autores mostraram estabilidade e baixa dinamicidade nos setores superiores B e C, situados mais distantes do canal, em comparação aos setores inferiores B e C, que apresentam maior instabilidade e dinamicidade, possivelmente relacionadas à proximidade com o canal (Stefanuto; Lupinacci, 2023). Esta questão pode ser compreendida na Figura 6, na qual observa-se, nas quatro imagens, uma variação maior entre solo exposto e cobertura vegetal nos setores inferiores (mais próximos do canal).

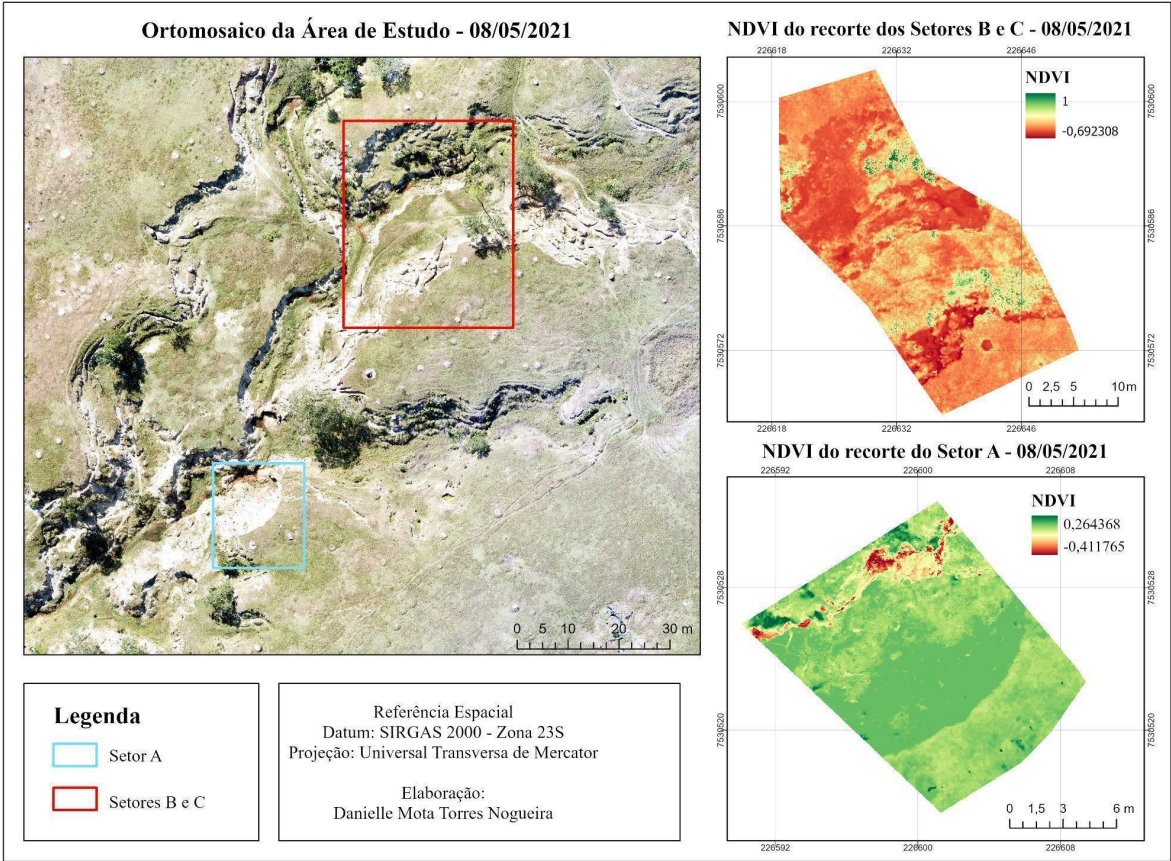
Além disso, o Setor C, de maneira geral, exibe uma quantidade maior de solo exposto em comparação ao Setor B, e encontra-se em uma posição mais próxima ao canal. Em contrapartida, o talude do Setor B superior está mais distante do canal, o que gera diferentes padrões de uso da terra em cada um desses setores.

6.3. Desempenho do NDVI

Em relação ao NDVI, os valores mais elevados devem indicar uma maior presença de vegetação, representada pela coloração verde, enquanto valores mais baixos devem representar solo exposto, exibindo uma coloração avermelhada.

Os resultados do NDVI revelam uma notável influência da presença de sombras e da claridade do solo na precisão do resultado. Como pode-se notar pela Figura 7, algumas das imagens capturadas pelo VANT registraram o solo de forma muito clara, principalmente no Setor A, onde o NDVI associou erroneamente áreas mais claras à presença de vegetação e áreas sombreadas foram interpretadas como solo exposto.

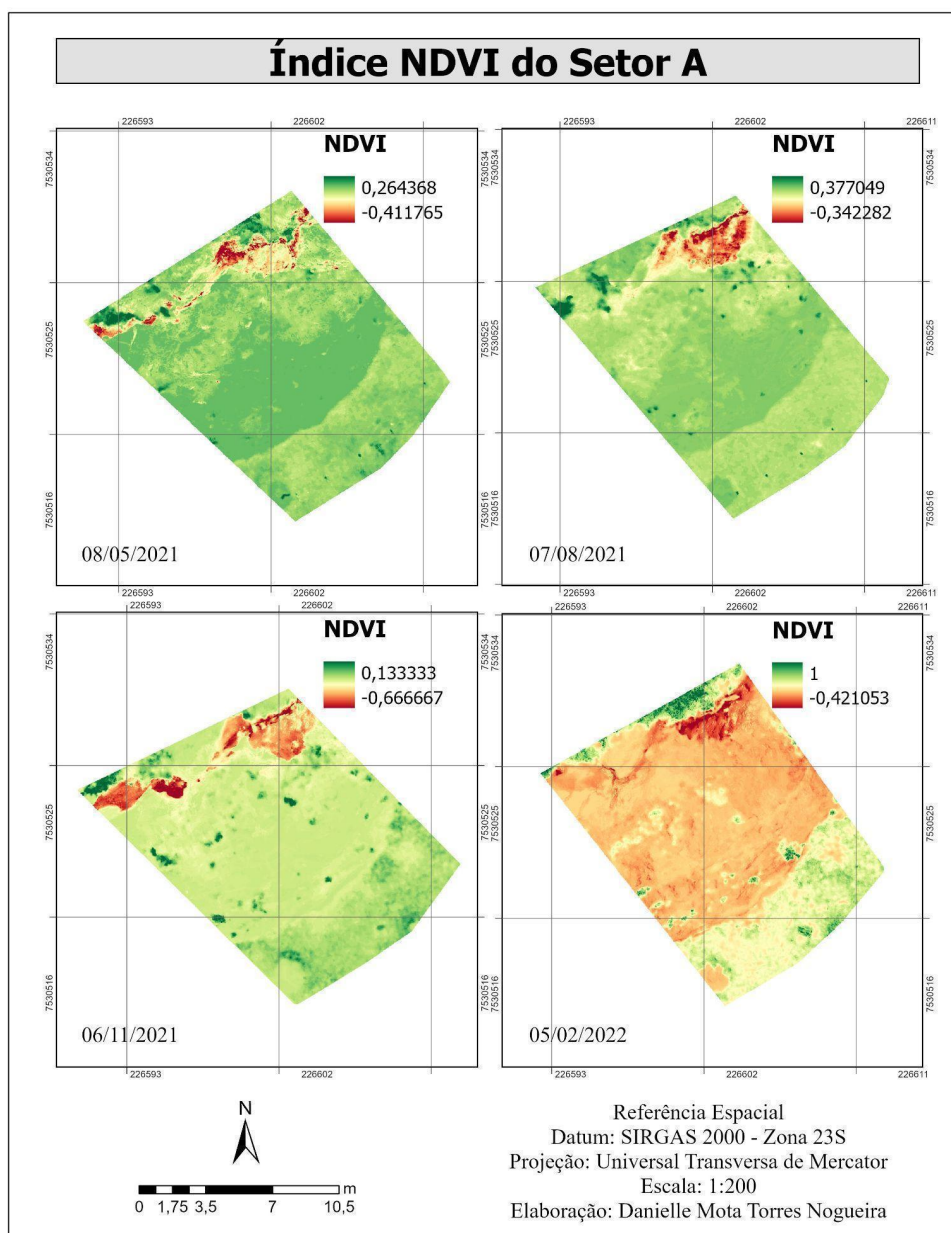
Figura 7 - Relação entre o ortomosaico e os resultados do NDVI



Fonte: A autora (2024)

Desse modo, a Figura 8 mostra que nos dias 08/05/2021, 07/08/2021 e 06/11/2021, o índice enfrentou essa dificuldade na discriminação entre áreas de vegetação e solo exposto. Por outro lado, na imagem capturada em 05/02/2022, há uma melhora significativa na discriminação entre vegetação e solo exposto. Nesta ocasião, a exposição do solo estava mais evidente, com menor intensidade de claridade, além disso, as áreas sombreadas da imagem não interferiram negativamente no resultado do NDVI, permitindo uma distinção precisa entre as regiões de solo exposto e aquelas com cobertura vegetal.

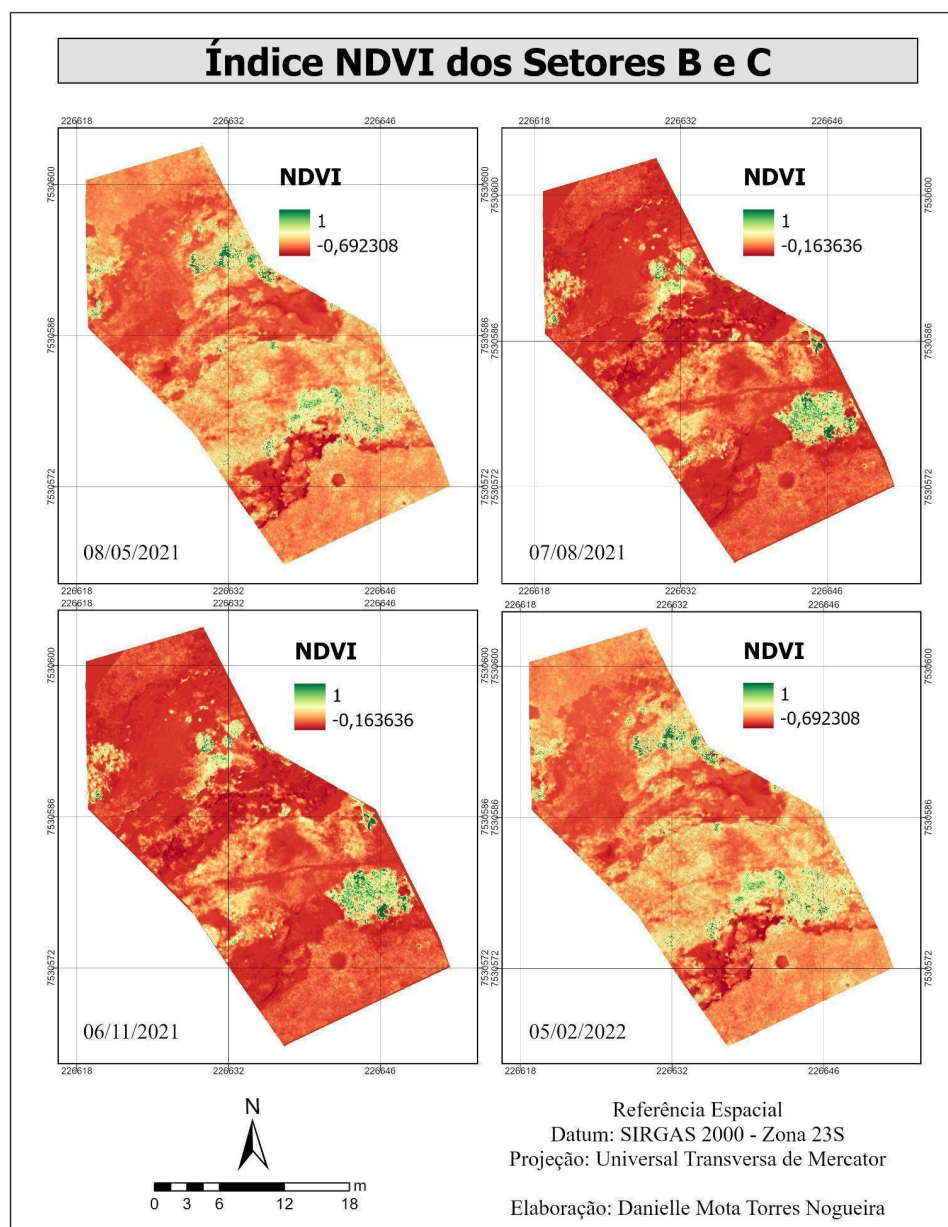
Figura 8: Índice NDVI do Setor A



Fonte: A autora (2024)

Ao examinar os setores B e C, no contexto da Figura 9, nota-se uma inversão no erro em comparação com o observado na Figura 8. Nessa análise, o NDVI demonstrou dificuldades ao diferenciar adequadamente as áreas de solo exposto daquelas com cobertura vegetal, resultando em uma representação visual pouco precisa.

Figura 9: Índice NDVI dos Setores B e C



Fonte: A autora (2024)

Nos cenários apresentados nos dias 08/05/2021 e 05/02/2022 (Figura 9), embora o NDVI tenha conseguido distinguir as áreas de solo exposto das que apresentam vegetação, a representação visual gerada aproximou ambas as classes à cor vermelha. Essa proximidade de tons dificulta a identificação clara dos limites antes do talude, comprometendo a interpretação precisa da distribuição de vegetação.

Em contraste, nas imagens capturadas nos dias 07/08/2021 e 06/11/2021 (Figura 9), ocorreu uma distorção significativa nos resultados. Nestas datas, áreas com cobertura vegetal foram representadas de maneira mais avermelhada do que as áreas de solo exposto devido à

presença de maior luminosidade nessas imagens e a uma coloração mais acinzentada da gramínea, em comparação com as outras duas datas, em que a gramínea apresentava uma tonalidade mais esverdeada.

Assim, as Figuras 8 e 9 revelam a sensibilidade do NDVI à variação nas condições de luminosidade e à tonalidade das características da vegetação. Dessa forma, embora bibliografias como Barbosa et al. (2019) e Bendig et al. (2015), destaquem a eficácia do uso de imagens provenientes de sensores RGB para calcular índices de vegetação, é crucial que haja uma avaliação minuciosa de áreas sombreadas ou com excesso de reflectância, pois estas podem introduzir variações nos valores do NDVI, comprometendo a integridade dos resultados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa buscam discutir a dinâmica erosiva em uma voçoroca, evidenciando a interação complexa entre diversos fatores ambientais. A análise em diferentes períodos (seco e úmido) foi essencial para compreender as mudanças na cobertura vegetal e na exposição do solo e a consequente perda de material provocada pelas variações sazonais, destacando a suscetibilidade da dinâmica erosiva a estas condições.

Destaca-se que a presença da cobertura vegetal é crucial para a preservação do solo. Esta situação é notada, principalmente, no imageamento de fevereiro de 2022, em que a maior presença de vegetação nos setores B e C associa-se à diminuição do recuo do talude erosivo. Por outro lado, no mesmo imageamento, o Setor A apresentou menor presença de cobertura vegetal e maior perda de material entre os quatro períodos, demonstrando que há uma complexidade de fatores envolvidos na dinâmica erosiva. Contudo, nos setores B e C a relação entre a conservação da cobertura vegetal e a redução da erosão é evidenciada pela diminuição do avanço do talude erosivo.

Além disso, a retirada do gado da área desencadeou uma série de transformações notáveis na dinâmica da vegetação e na erosão do solo, visto que conduziu a recuperação da cobertura vegetal e desempenhou um papel crucial na atenuação dos efeitos erosivos, contribuindo para a estabilidade do talude. Assim, também se destaca o impacto do pastoreio em áreas que apresentam feições erosivas, evidenciando a necessidade de práticas de manejo adequadas para a conservação desses ambientes.

Por fim, destaca-se que a abordagem metodológica empregada para gerar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi ineficiente, visto que as condições adversas de iluminação e as variações na resposta espectral das coberturas vegetais impactaram negativamente na qualidade das informações obtidas. Este cenário destaca a importância de considerar as limitações do sensor RGB para este índice de vegetação. Embora a literatura destaque a sua eficácia, os resultados evidenciaram a necessidade de abordagens complementares, como a utilização de sensores multiespectrais, para garantir uma avaliação mais precisa da cobertura vegetal.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, B. D. S., FERRAZ, G. A. S., GONÇALVES, L. M., MARIN, D. B., MACIEL, D. T., FERRAZ, P. F. P., ROSSI, G. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: A qualitative analysis. **Agronomy Research**, 17, p. 349–357, 2019.

BARCELOS, A. C. **O uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) em monitoramentos de campo: aplicabilidades e viabilidades**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal, Uberlândia, 2017.

BENDIG, J. et al. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 39, p. 79-87, 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 2012. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1986.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico. Boletim técnico, v.106, 2009.

Elachi, C. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**, New York, Wiley, 1987.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, M.V. **Análise das pressões do uso e ocupação da terra sobre o trecho da faixa de dutos Rio – Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

FLORENZANO, T. G. (2005). Geotecnologias na Geografia Aplicada: difusão e acesso, **Revista do Departamento de Geografia**, USP nº 17, ISSN 0102-4582, p. 24 – 29.

GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. do C. O. Recuperação de voçorocas e de áreas degradadas, no Brasil e no mundo - estudo de caso da voçoroca do Sacavém - São Luís – MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 00, 2023.

GUERRA, A. J. T. Encostas e a questão ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.) **A Questão ambiental – diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. p. 191-218.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: CUNHA, S. B. da.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. p. 139-155.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3 ed., Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2000 , v. 1 , p. 88-89.

GUERRA, A. J; BOTELHO, R.G.M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v.19, p.93-114, 1996.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Solos do Estado de São Paulo**. Campinas, SP: IAC, 2014.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México. Fundo de Cultura Econômica, 1948.

LANDIS, R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

LOBATO, R. et al. Índice de vegetação por diferença normalizada para análise da redução da mata atlântica na região costeira do distrito de Tamoios – Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, v.01, n.01, p.14-22, 2010.

LOUREIRO, H. A. S.; GUERRA, A. J. T.; ANDRADE, A. G. Contribuição ao estudo de voçorocas a partir do uso experimental de laser scanner terrestre e VANT. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, 871-892, 2020.

MAGALHÃES, R. A. **Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle**. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia, GO. Maio de 2001.

MATHIAS, D. T. **Contribuição Metodológica para o Diagnóstico da Dinâmica Erosiva Linear e seu Prognóstico Evolutivo Visando Subsidiar Projetos de Recuperação.** Universidade Estadual Paulista – UNESP, Tese (Doutorado em Geografia) , 2016.

MONTEIRO,R ; AULINO, O. Clima e balanço hídrico em uma reserva de cerrado no município de Corumbataí. In: Seminário Regional de Ecologia, São Carlos, **Anais [...]**, São Carlos. 1981.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** Brasil: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, F. F.; SANTOS, R. E. S.; ARAÚJO, R. C. Processos Erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes. **Revista Brasileira de Iniciação Científica (RBIC)**, Itapetininga, v. 5, n. 3, p. 60-83, 2018.

PELOGGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 16, p. 24–31, 2011.

PEREZ FILHO, A; QUARESMA, C.C. Ação Antrópica sobre as escalas temporais dos fenômenos geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.12, n.13, p. 83- 90, 2011.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H. S.; SCHELL J. A.; DEERING D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS Symposium, 3., 1973, Washington. **Proceedings [...]**. Washington: NASA, 1973. p.309-317.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J.T.; BOTELHO, R.G.M; SILVA, A. S (orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, p. 17-55.

SAMPAIO, H. S. et al. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) e satélite. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 14, n. 2, p. 111-124, 2020.

SANTANA, K. D. A.; NUMMER, A. V. Estudos sobre processos erosivos na Geografia brasileira: período: 2004-2010. In: FIGUEIREDO, L. A.; FIGUEIRÓ A. S. (Org.). **Reflexões sobre a Geografia do Rio Grande do Sul:** Temas em Debate. 1ed. Santa Maria: UFSM, 2011, v.1, p.199-207.

SANTORO, J; Erosão Continental. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. Ficha catalográfica elaborada pela biblioteca do Instituto Geológico. São Paulo, 2009.

SILVA, M. M.; LUPINACCI, C. M. Análise de variáveis morfométricas da Alta Bacia do Ribeirão da Boa Vista - Corumbataí (SP); subsídios ao planejamento ambiental de paisagem rural em escala de detalhe. **Geografia**, Rio Claro, v. 46, n. 1, p. 1-24, 2021.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. Glossary of Soil Science Terms. Madison: Soil Scienci Society of America, 2008.

STEFANUTO, Estêvão Botura; LUPINACCI, Cenira Maria. Análise da dinâmica do talude erosivo de um sistema em voçorocamento: causas e processos. **Revista Ra'ega O Espaço Geográfico em Análise**, v. 58, p. 118-141, 2023.

STEFANUTO, Estêvão Botura. **Degradação dos solos por processos erosivos na faixa de transição Cuesta-Depressão Periférica Paulista: uma contribuição para a análise de voçorocas**. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2024.

WANG, R.; ZHANG, S.; PU, L.; YANG, J.; YANG, C.; CHEN, J.; GUAN, C.; WANG, Q.; CHEN, D.; FU, B.; SANG, X. Gully erosion mapping and monitoring at multiple scales based on multi-source remote sensing data of the Sancha river catchment, Northeast China. **ISPRRS Int. Geo-Inf.** vol. 5, n° 11, 200, 2016.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)**. 1994. Tese (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1994.