UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO VALE DO RIBEIRA
CAMPUS REGISTRO

"ANÁLISE DA FENOLOGIA DA CULTURA DO ARROZ NA REGIÃO DO VALE DO RIBEIRA POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE"

TRABALHO ORIGINAL DE PESQUISA

EDUARDO NUNES CERRADES

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira Câmpus de Registro - UNESP, para a graduação em ENGENHARIA AGRONÔMICA.

REGISTRO-SP
1º Semestre/2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO VALE DO RIBEIRA
CAMPUS REGISTRO

"ANÁLISE DA FENOLOGIA DA CULTURA DO ARROZ NA REGIÃO DO VALE DO RIBEIRA POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE"

TRABALHO ORIGINAL DE PESQUISA

EDUARDO NUNES CERRADES

Orientador: Hugo do Nascimento Bendini

Coorientadora: Silvia Helena Modenese Gorla da Silva

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira Câmpus de Registro - UNESP, para a graduação em ENGENHARIA AGRONÔMICA.

REGISTRO-SP

1º Semestre/2025

C417a

Cerrades, Eduardo Nunes

Análise da fenologia da cultura do arroz na região do Vale do Ribeira por meio de imagens de satélite / Eduardo Nunes Cerrades. -- Registro, 2025

44 p. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agronômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira, Registro

Orientador: Hugo do Nascimento Bendini

Coorientadora: Silvia Helena Modenese Gorla da Silva

1. Monitoramento agrícola. 2. Dinâmica temporal. 3. Índice de vegetação. 4. Rizicultura. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo amor incondicional, pelo apoio inabalável e por serem minha maior fonte de inspiração. Obrigado por acreditarem em mim em todos os momentos e por me guiarem com sabedoria e paciência.

À professora Sílvia, minha mentora, que sempre esteve ao meu lado com conselhos preciosos, incentivo e dedicação. Sua generosidade e comprometimento foram fundamentais para minha jornada.

Ao professor Hugo, que se colocou à disposição para contribuir com seus conhecimentos e orientações no tema de sensoriamento remoto, enriquecendo este trabalho de maneira significativa.

A vocês, minha eterna gratidão.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi caracterizar o ciclo fenológico do arroz na região do Vale do Ribeira, por meio de imagens de satélite e identificar a melhor época para o mapeamento da cultura. O presente estudo analisou a fenologia do arroz no Vale do Ribeira, por meio da utilização de imagens de satélite como ferramenta para monitoramento e avaliação agrícola, a fim de caracterizar o ciclo de arroz na região, que possui desafios no monitoramento pela quantidade de interferências na aquisição de imagens. O arroz é uma cultura de grande importância econômica e alimentar, com o Brasil ocupando a nona posição no ranking global de produção. No Vale do Ribeira, a atividade se consolidou desde a chegada dos imigrantes japoneses, que adaptaram as condições locais ao cultivo nas várzeas úmidas. As imagens foram obtidas por meio da plataforma *Copernicus Browser* (Missão Sentinel-2), utilizando a coleção Level-2A, que fornece imagens multiespectrais corrigidas geométrica e atmosfericamente. As análises incluíram a geração de composições de imagens de cor verdadeira (RGB), falsa cor (NIR) e o cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada, ou, no inglês, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), possibilitando o acompanhamento do ciclo fenológico do arroz ao longo do tempo. Após análise da cobertura de nuvens, seis imagens foram selecionadas entre novembro de 2024 e março de 2025, abrangendo as fases de plantio, crescimento vegetativo, maturação e colheita. A coleta de dados de campo incluiu visitas de campo para registrar práticas agrícolas, períodos de plantio e da irrigação por inundação. Observou-se que a irrigação foi realizada de forma parcelada, possivelmente devido à limitação hídrica, enquanto o manejo foi favorecido pela sistematização dos talhões, garantindo maior uniformidade na altura do solo e eficiência na distribuição de água. A análise das imagens durante o período produtivo, com base nas cenas disponíveis, mostrou-se viável para capturar informações sobre as principais fases produtivas. O uso de tecnologias de sensoriamento remoto destacou-se como uma abordagem promissora para o monitoramento agrícola da cultura do arroz na região, fornecendo subsídios para um manejo mais preciso e sustentável. Este estudo reforça a relevância das ferramentas de sensoriamento remoto para a gestão eficiente da agricultura.

Palavras-chave: Planejamento agrícola, sensoriamento remoto, monitoramento agrícola, dinâmica temporal, índice de vegetação (NDVI)

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the phenological cycle of rice in the Vale do Ribeira region using satellite imagery and to identify the best period for mapping the crop. This study analyzed the phenology of rice cultivation in the Vale do Ribeira region, focusing on the use of satellite imagery as a tool for agricultural monitoring and assessment. Rice is a crop of great economic and dietary importance, with Brazil ranking ninth in global production. In Vale do Ribeira, rice cultivation has been a consolidated activity since the arrival of Japanese immigrants, who adapted local conditions for farming in the humid lowlands. This historically and economically significant region was chosen as the study area, utilizing innovative remote sensing technologies. Images were obtained through the Copernicus Browser platform (Sentinel-2 Mission), using the Level-2A collection, which provides atmospherically corrected multispectral data. The analyses included true color (RGB) and false color (NIR) compositions, as well as the calculation of the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), enabling the monitoring of the rice phenological cycle over time. Six images were selected between November 2024 and March 2025, covering the planting, vegetative growth, maturation, and harvest phases. Field data collection included visits to record agricultural practices, planting periods, and flooding schedules. It was observed that irrigation was performed in a staggered manner due to water limitations, while efficient management was supported by the systematization of the plots, ensuring greater uniformity in soil height and water distribution efficiency. The analysis of representative points proved efficient in capturing local information, avoiding data smoothing caused by global averages. The use of remote sensing technologies, combined with the QGIS software, proved to be a robust approach for agricultural monitoring, providing insights for more precise and sustainable management. This study reinforces the relevance of geospatial tools for efficient agricultural management, especially in regions with traditional practices and water challenges.

Keywords: Agricultural planning; Remote sensing; Agricultural monitoring; Temporal dynamics; Vegetation index (NDVI).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Registro

CERTIFICADO

TRABALHO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

TÍTULO: **"ANÁLISE DA FENOLOGIA DA CULTURA DO ARROZ NA REGIÃO DO VALE DO RIBEIRA POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE"**

ACADÊMICO: **Eduardo Nunes Cerrades**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Hugo do Nascimento Bendini**

PERÍODO: **9º Semestre** **5º Ano**

Aprovado: [X]

Reprovado: [ ]

BANCA EXAMINADORA:

Presidente **Prof. Dr. Hugo do Nascimento Bendini**

Membro **Profa. Dra. Silvia Helena Modenese Gorla da Silva**

Membro **Profa. Assoc. Juliana Domingues Lima**

Registro, 07 / 07 / 2025

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1 - Imagem da área de estudo delimitada com a linha preta. Registro/SP..... 15

Figura 2 - Definição dos talhões A1 e A2. Registro/SP, 2025. Figura 2. Definição dos talhões A1 e A2. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor..... 16

Figura 3 - Fluxograma da metodologia. Fonte: Autor..... 17

Figura 4 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão C3. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0 Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 21

Figura 5 - Valores NDVI talhão C3. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor..... 23

Figura 6 - Valores NDVI talhão C2. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor..... 24

Figura 7 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão C2. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 24

Figura 8 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão C1. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0 Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 25

Figura 9 -Valores NDVI talhão C1. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor..... 26

Figura 10 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão B3.Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Fonte: Autor 27

Figura 11 - Figura 11. Valores NDVI talhão B3. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor..... 28

Figura 12 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão B2. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 29

Figura 13 - Valores NDVI talhão B2. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 30

Figura 14 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão B1. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 32

Figura 15 - Valores NDVI talhão B1. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 33

Figura 16 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão A2. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 34

Figura 17 - Valores NDVI talhão A2. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 35

Figura 18 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão A1. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 36

Figura 19 - Valores NDVI talhão A1. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 37

Figura 20 - Propriedade de arroz em Iguape, SP. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor 38

Figura 21 - Valores de EVI na propriedade. Registro/SP, 2025. Fonte: ANA/e-SPIA (2025). 38

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 - Características das imagens do sensor MSI do satélite Sentinel-2..... 18

Tabela 2 - Índice NDVI talhão C3. Registro/SP, 2025. 22

Tabela 3 -Índice NDVI talhão C2. Registro/SP, 2025. 25

Tabela 4 - Índice NDVI talhão C1. Registro/SP, 2025. 26

Tabela 5 - Índice NDVI talhão B3. Registro/SP, 2025. 28

Tabela 6 - Índice NDVI talhão B2. Registro/SP, 2025. 31

Tabela 7 - Índice NDVI talhão B1. Registro/SP, 2025. 33

Tabela 8 - Índice NDVI talhão A2. Registro/SP, 2025. 35

Tabela 9 - Índice NDVI talhão A1. Registro/SP, 2025. 37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10

2. REVISÃO DE LITERATURA 11

2.1 Aspectos gerais da cultura do arroz 11

2.2 Sensoriamento remoto 133

3. MATERIAL E MÉTODOS 155

3.1. Área de Estudo 155

3.2. Coleta de Dados de Campo 166

3.3. Pré-processamento 177

3.4. Processamento das imagens 199

3.4.1 Composição de Cor Verdadeira (RGB) 199

3.4.2 Composição de Cor Falsa (NIR) 199

3.4.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) 199

3.5. Análise dos dados 20

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 21

5. CONCLUSÃO 41

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS 391

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 391

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de arroz tem apresentado um crescimento constante nos últimos anos e em 2023, alcançou 523,1 milhões de toneladas (FAO, 2023). Para o ciclo agrícola de 2024/2025, a previsão é de um novo recorde, com a produção global estimada em 543,6 milhões de toneladas (FAO, 2024). Esse aumento é liderado por países como China e Índia, com o Brasil ocupando a nona posição no ranking global, consolidando-se como um dos principais produtores de arroz da América Latina (USDA, 2023). Para a safra 2024/2025, a Companhia Nacional de Abastecimento (2025) projeta uma produção de arroz estimada em 12,1 milhões de toneladas, refletindo um aumento significativo em relação à safra anterior, impulsionado pela expansão da área plantada e pelas condições favoráveis de mercado e clima. O estado do Rio Grande do Sul destaca-se como o maior produtor, responsável por 8,5 milhões de toneladas, seguido por Santa Catarina e Tocantins. Esse aumento na produtividade deve-se a fatores como o melhoramento genético das cultivares e a gestão eficiente da irrigação, apoiada por tecnologias inovadoras de monitoramento (BRASIL, 2024).

Na região do Vale do Ribeira, em São Paulo, apesar de ter havido um declínio na produção de arroz nas últimas décadas, a cultura possui relevância histórica e econômica para a região. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023), o valor da produção de arroz no município de Registro é de aproximadamente R$ 2.307 milhões de reais. O cultivo é consolidado desde a chegada dos imigrantes japoneses em 1908, que trouxeram consigo técnicas agrícolas inovadoras e souberam adaptar as condições ambientais locais ao cultivo. O terreno úmido das várzeas foi aproveitado de forma estratégica para o plantio de arroz, uma cultura que demanda grande quantidade de água.

Além de sua importância econômica, o arroz é um alimento fundamental na dieta de milhões de brasileiros e de pessoas ao redor do mundo. No Brasil, é comumente consumido com feijão, formando uma combinação nutricional balanceada, rica em aminoácidos essenciais. Enquanto o arroz polido é o mais consumido, o arroz integral oferece maior valor nutricional, pois conserva nutrientes que se perdem no processamento (FERREIRA; BARRIGOSSI, 2021).

A planta de arroz tem uma morfologia específica, com um sistema radicular fibroso e raízes adventícias que garantem a absorção de nutrientes. Suas folhas longas e estreitas são essenciais para o enchimento dos grãos, enquanto a inflorescência, chamada panícula, abriga as espiguetas, onde se desenvolvem as flores e, posteriormente, os grãos. O ciclo fenológico do arroz divide-se em três fases principais: a vegetativa, que inclui o crescimento inicial, a reprodutiva, na qual ocorre o florescimento e a formação dos grãos e a de maturação, que se

estende do florescimento à maturação completa. Esta fase é dividida em três estádios: grão leitoso, pastoso e maturo (EMBRAPA, 2023).

No campo do sensoriamento remoto, Elachi (1987) define a técnica como a ciência e a arte de adquirir informações sobre objetos ou fenômenos sem contato físico direto, utilizando sensores instalados em plataformas aéreas ou espaciais. Essa abordagem permite a obtenção de dados essenciais para diversas áreas, como o monitoramento ambiental, a agricultura e a cartografia.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto para a classificação de áreas agrícolas tem se mostrado eficiente, como demonstrado por Bendini et al. (2019), que realizaram uma classificação detalhada da terra agrícola no cerrado brasileiro com base em informações fenológicas extraídas de séries temporais de imagens de satélite.

Atualmente, o mapeamento atualizado do arroz irrigado no Brasil, referente à safra 2022/2023, indicou a existência de 1,155 milhão de hectares cultivados. O estado do Rio Grande do Sul concentra 72,3% dessa área, seguido por Santa Catarina, com 12,2%, e Tocantins, com 8,9% (ANA, 2023). Esses dados refletem a importância das áreas irrigadas na produção de arroz no país, permitindo uma análise detalhada da distribuição geográfica e da relevância de cada região na produção nacional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura do arroz

O arroz (*Oryza sativa L.*) é uma das principais culturas produzidas no mundo, sendo essencial para a segurança alimentar de grande parte da população global. No Brasil, o cultivo do arroz desempenha papel fundamental na agricultura, com destaque para os sistemas de produção irrigado e de sequeiro, os quais apresentam diferentes exigências técnicas e climáticas. A cultura apresenta um ciclo que pode variar conforme a variedade e o sistema de cultivo, com exigências específicas em termos de temperatura, fotoperíodo e disponibilidade hídrica. Em sistemas irrigados, como o predominante na região Sul do Brasil, a produtividade tende a ser mais elevada devido ao controle mais preciso das condições de cultivo. Já no sistema de sequeiro, praticado principalmente no Centro-Oeste e Norte, a dependência da regularidade das chuvas torna o manejo mais desafiador (SANTOS; STONE; VIEIRA, 2006).

A cultura do arroz também exerce importante papel socioeconômico, gerando emprego e renda em diversas regiões produtoras, além de contribuir para a manutenção de ecossistemas em áreas de várzea e regiões alagáveis, quando manejada de forma sustentável. Dessa forma, a

produção orizícola no Brasil exige constante atualização tecnológica, pesquisa científica e políticas públicas que garantam sua viabilidade econômica, ambiental e social no longo prazo. No Brasil, arroz e feijão, são a combinação nutricional rica em aminoácidos essenciais, garantindo um valor nutricional ideal para o consumo humano, (FERREIRA; BARRIGOSSI, 2021).

De acordo com Fornasieri Filho e Fornastieri (2006), o cultivo de arroz remonta a cerca de 7 mil anos atrás, com evidências arqueológicas das subespécies *indica* e *japonica* encontradas no leste da China e no norte da Índia. A propagação inicial dessa cultura ocorreu no Sudeste Asiático, abrangendo uma ampla região da Índia à China, há mais de 3.000 anos antes da era cristã. No Brasil, o cultivo do arroz teve início nos primórdios do século XV com arroz vermelho que a partir de 1766 foi gradualmente substituído pelo arroz-branco da Carolina, dos Estados Unidos. No século XVIII, a cultura do arroz ganhou relevância econômica no Maranhão, Pará, Bahia, Rio de Janeiro e São Paulo, consolidando sua importância na economia brasileira, posição que o país mantém até hoje como um dos maiores produtores mundiais de arroz (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006).

A fase vegetativa do arroz vai da germinação da semente até a diferenciação do primórdio da panícula. Já a fase reprodutiva, da diferenciação do primórdio da panícula a fertilização das flores, com duração estimada entre três e cinco semanas. Durante a diferenciação, os entrenós do colmo passam por rápido alongamento, o que resulta em um crescimento acelerado da planta. É nesse estágio que ocorre a determinação do número de grãos por panícula, sendo essencial que a planta disponha de um suprimento adequado de nutrientes, especialmente nitrogênio. O período imediatamente anterior à floração é denominado emborrachamento, iniciado entre sete e dez dias antes do florescimento, momento em que ocorre a divisão das células-mãe dos grãos de pólen (IRGA, 2001).

A duração dessas fases é influenciada por fatores como a cultivar, a época de semeadura, a região de cultivo e a fertilidade do solo. Em regiões tropicais, a fase reprodutiva dura, em média, 35 dias, e a fase de maturação, cerca de 30 dias, sendo as diferenças no ciclo determinadas principalmente pela duração da fase vegetativa. Por exemplo, a cultivar IAC 201, que completa seu ciclo em 115 dias após a emergência, apresenta uma fase vegetativa de 50 dias, enquanto a IAC 202, com ciclo de 125 dias, possui uma fase vegetativa de 60 dias (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006).

2.2 Sensoriamento remoto

O princípio básico do sensoriamento remoto está na detecção e análise das propriedades de emissão, reflexão ou absorção da energia pelos materiais da superfície. Para isso, sensores localizados em plataformas orbitais ou suborbitais captam dados em diferentes regiões do espectro eletromagnético, como o visível, infravermelho e micro-ondas (MOREIRA, 2001). Essas regiões do espectro são escolhidas por apresentarem propriedades específicas de interação com os elementos naturais, o que permite a coleta de informações detalhadas sobre a superfície terrestre e sua dinâmica.

A radiação solar é a principal fonte de energia utilizada nos sistemas de sensoriamento remoto passivo, enquanto sensores ativos, como os radares, emitem sua própria energia para interagir com a superfície e retornar informações ao sensor (LILLESAND et al., 2015). Esse processo pode ser compreendido como uma integração de vários componentes, incluindo a atmosfera, o solo, a vegetação e a água, que influenciam diretamente na qualidade e precisão dos dados coletados (MOREIRA, 2001).

Para monitorar a fenologia de culturas agrícolas, índices de vegetação como o *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) são amplamente utilizados (BENDINI et al. 2019; BENDINI et al. 2024; BARIANI et al., 2017). Esses índices permitem a análise de dados temporais e a identificação de eventos como o início e o fim do ciclo de crescimento das culturas, sendo ferramentas cruciais para a tomada de decisões no manejo agrícola (JÖNSSON; EKLUNDH, 2004; MAATOUG et al., 2013; BENDINI et al., 2019). Ademais, eles possibilitam o monitoramento em larga escala, com alta eficiência e custo reduzido, contribuindo para o planejamento agrícola e o acompanhamento de indicadores ambientais.

Assim, o sensoriamento remoto se destaca como uma tecnologia essencial para diversas aplicações, incluindo o monitoramento ambiental, o planejamento territorial e o manejo sustentável de recursos naturais. Suas aplicações vão além da agricultura, abrangendo também o monitoramento de desastres naturais, a gestão de áreas urbanas e a preservação ambiental. Ao integrar tecnologias como Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e modelagem computacional, o sensoriamento remoto oferece soluções eficazes para os desafios modernos, promovendo o uso responsável e eficiente dos recursos do planeta.

Segundo Gomes et al. (2022), que identificou 214 dias com céu claro entre 2013 e 2018 no Vale do Ribeira, a baixa frequência de dias sem nebulosidade evidencia a limitação imposta pela cobertura de nuvens para o uso contínuo de imagens de satélite. Esse cenário corrobora os apontamentos de Silveira et al. (2017), que destacam a necessidade da utilização

de técnicas como fusão de dados e filtragem temporal para mitigar as lacunas nas séries temporais causadas pela presença de nuvens.

De forma semelhante, em Registro, São Paulo, as condições climáticas apresentam desafios adicionais. Durante o verão, que é caracterizado por temperaturas elevadas e céu frequentemente encoberto, a coleta de imagens ópticas é particularmente dificultada. De acordo com os dados climáticos de Weather Spark (2025), janeiro é o mês mais encoberto, com 65% do céu frequentemente coberto por nuvens. Em contraste, os meses de agosto e setembro oferecem melhores condições, com maior prevalência de céu limpo, o que favorece a captura de imagens para análises.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado na região do Vale do Ribeira, no estado de São Paulo, nas coordenadas -24,63518° de latitude e -47,92692° de longitude, em uma área de aproximadamente 100 hectares. A Figura 1 apresenta a área de estudo. A altitude média da região é de 15 metros acima do nível do mar. O clima é classificado como Cfa de acordo com a Köppen e Geiger, com temperatura máxima de 38°C, mínima de 13°C e média anual de 24°C. A umidade relativa do ar apresenta uma média anual de 84%, enquanto o índice pluviométrico médio é de 1.500 mm por ano. Além disso, a região possui uma média anual de 1.600 horas de sol. Essas condições climáticas influenciam diretamente o desenvolvimento da cultura do arroz, especialmente considerando o manejo agrícola, que inclui a inundação do solo até o início da maturação (PREFEITURA MUNICIPAL DE REGISTRO, 2025).

A área experimental utilizada é destinada exclusivamente ao cultivo de arroz, com plantio concentrado entre os meses de setembro e abril (Figura 1). Essa necessidade ocorre devido à implementação de um vazio sanitário para o milho nos últimos dois anos, medida tomada para conter a infestação de cigarrinhas, praga que havia afetado significativamente a produção local.



Figura 1 - Imagem da área de estudo delimitada com a linha preta. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

3.2. Coleta de Dados de Campo

Foram realizadas três visitas à área de estudo, sendo duas durante a safra e uma após a safra, com o objetivo de coletar dados e esclarecer dúvidas sobre as práticas agrícolas adotadas. Durante as visitas, foram obtidas informações detalhadas sobre as épocas de plantio e os períodos de inundação, bem como os métodos empregados para realizar as inundações.

Devido à disponibilidade limitada de água, as inundações foram realizadas de forma parcelada, o que exigiu planejamento e manejo cuidadosos. Foi também observado que, caso a colheita ocorra até o mês de janeiro, é possível conduzir a rebrota da cultura apenas com a aplicação de mais uma dose de ureia, estratégia que os produtores têm utilizado para otimizar a produtividade e reduzir custos.

Os talhões nomeados como A1 e A2 (Figura 2) foram os únicos que passaram por um processo de sistematização, garantindo que a altura do solo fosse uniforme por toda a área, o que contribui para um manejo hídrico mais eficiente e homogêneo durante o ciclo da cultura.



Figura 2 - Definição dos talhões A1 e A2. Registro/SP, 2025. Figura 2. Definição dos talhões A1 e A2. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

3.3. Pré-processamento

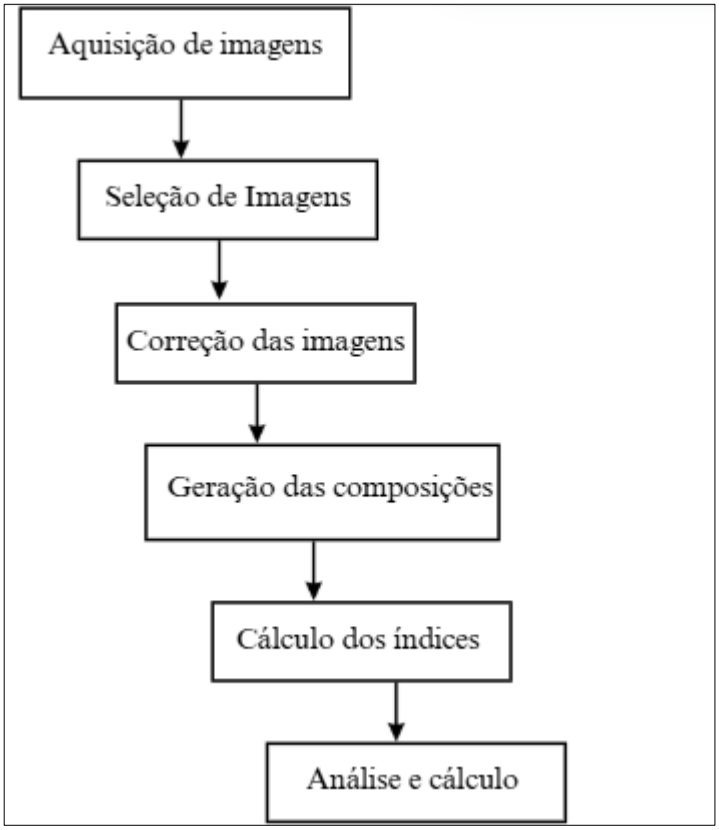


Figura 3- Fluxograma da metodologia. Fonte: Autor.

As imagens utilizadas neste estudo foram obtidas por meio da plataforma Copernicus Browser, da missão Sentinel-2, utilizando o sensor MSI (*Multispectral Instrument*). A missão Sentinel-2, parte do programa Copernicus da Agência Espacial Europeia (ESA), é composta por dois satélites em órbita polar (Sentinel-2A e Sentinel-2B). Esses satélites fornecem dados multiespectrais, com 13 bandas espectrais que variam de 10 a 60 metros de resolução espacial (Tabela 1). As imagens são amplamente utilizadas para monitoramento ambiental, agrícola e florestal, oferecendo informações valiosas para a análise de fenômenos terrestres Como no trabalho de Mascarenhas et al. (2008), que analisou a cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia utilizando imagens do satélite e índices de vegetação como o NDVI, para monitoramento ambiental e a fiscalização de áreas de preservação permanente, contribuindo para a identificação de conversões significativas de cobertura vegetal e a implementação de políticas de conservação (COPERNICUS, 2025).

Tabela 1 - Características das imagens do sensor MSI do satélite Sentinel-2. Fonte: ENGESAT. Sentinel-2: imagens multiespectrais de alta resolução.

Resolução	Nº da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda central (nanômetro)
10 m	B02	Blue (Azul)	490
10 m	B03	Green (Verde)	560
10 m	B04	Red (Vermelho)	665
10 m	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842
20 m	B05	Red Edge 1	705
20 m	B06	Red Edge 2	740
20 m	B07	Red Edge 3	783
20 m	B08A	Red Edge 4	865
20 m	B11	SWIR 1	1610
20 m	B12	SWIR 2	2190
60 m	B01	Aerosol	443
60 m	B09	Water Vapor	940
60 m	B10	Cirrus	1375

A coleção utilizada será a Level-2A, que fornece imagens de reflectância de superfície corrigidas atmosfericamente, com diferentes bandas espectrais, com resolução espacial de 10, 20 e 60 metros (ESA, 2023). Neste estudo, foram utilizadas as bandas vermelho, verde, azul e infravermelho (NIR) próximo. Para este estudo, foram selecionadas seis imagens adquiridas entre os meses de setembro e novembro, baseado no critério de cobertura de nuvens sobre a área de estudo. Durante a análise, foi identificado que algumas imagens apresentavam cobertura de nuvens próximas a área de estudo, afetando o contraste delas. Para contornar essa limitação e obter uma maior homogeneização das imagens e permitir uma melhor comparação, foi realizada a correção de contraste em cada imagem resultante, utilizando o ajuste linear do histograma no software QGIS (*Quantum Geographic Information System*). Esse procedimento consistiu em ajustar linearmente o histograma dos valores dos pixels da imagem, redistribuindo os valores para ocupar toda a faixa de valores disponível, o que permitiu realçar detalhes em áreas escuras e claras, melhorando e padronizando a visualização das imagens para análises comparativas.

O software QGIS foi utilizado para processar e analisar as imagens coletadas. O QGIS é um sistema de informações geográficas de código aberto que oferece uma ampla gama de ferramentas para manipulação de dados geoespaciais, permitindo o georreferenciamento, visualização e análise detalhada das imagens de satélite. Por sua flexibilidade e robustez, ele foi amplamente adotado na pesquisa científica (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2023).

No presente estudo, o QGIS foi empregado para delimitar as áreas de interesse (talhões), ordenar as camadas, gerar as composições verdadeiras e falsa cor, e realizar cálculos de índices espectrais.

3.4. Processamento das imagens

Utilizando o software QGIS, foram gerados 3 produtos, sendo duas composições coloridas a partir das bandas das imagens de satélite e uma imagem de índice de vegetação.

3.4.1 Composição de Cor Verdadeira (RGB): A composição de cor verdadeira foi gerada utilizando as bandas R (vermelho), G (verde) e B (azul). Essa combinação reproduz a aparência natural da superfície terrestre, possibilitando a visualização de elementos como vegetação, água e áreas construídas de forma semelhante ao que seria observado a olho nu.

3.4.2 Composição de Cor Falsa (NIR): A composição de cor falsa foi gerada substituindo a banda vermelha pela banda do infravermelho e a banda verde pela banda do vermelho, o que permite destacar características específicas da vegetação e da cobertura do solo, que não são perceptíveis no espectro visível.

3.4.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI): O índice NDVI (ROUSE et al., 1974) foi calculado utilizando a fórmula:

$$(NIR - Red) \div (NIR + Red)$$

Em que,

NIR (B8) é a reflectância na banda do infravermelho próximo;

Red (B4) é a reflectância na banda do vermelho.

O NDVI gerado resultou em uma imagem com valores que variam de -1 a 1, onde valores mais altos indicam maior densidade de vegetação, enquanto valores negativos representam superfícies como água ou áreas sem vegetação.

Esses três produtos foram essenciais para a análise fenológica, permitindo identificar padrões de cobertura vegetal e mudanças nas características da área de estudo ao longo do tempo.

3.5. Análise dos dados

Neste estudo, foi utilizado o método de análise por pontos representativos para os dados de NDVI. Essa abordagem foi escolhida devido à sua capacidade de capturar informações locais com maior precisão, onde de forma visual, foi selecionado um ponto em que ao longo das imagens selecionadas, não havia nuvens sobre o talhão, permitindo uma representação mais acurada dos padrões fenológicos e minimizando a influência de flutuações sazonais ou anomalias pontuais nos dados.

Foram analisados os talhões, acompanhando o ciclo produtivo, com base nas informações obtidas pelo produtor, e analisado na imagem, os padrões espectrais de forma a relacioná-los com cada fase produtiva, ou práticas de manejo. Também foi utilizado o plugin *Value Tool*, no QGIS, para analisar os valores de NDVI ao longo do tempo, de forma que com a ferramenta é possível visualizar o gráfico relacionando os valores nas diferentes datas, e observar a curva de desenvolvimento do ciclo do arroz. Da mesma forma, foi utilizado o software ESPIA[1] (BENDINI et al. 2023; ANA, 2025) para analisar a curva, e identificação de padrões temporais similares em outra área produtiva na mesma região, identificada. Essa análise teve o objetivo de analisar de existe uma janela comum de plantio na região.

[1] https://espia.snirh.gov.br/#/

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão descritos os padrões observados com base nas imagens, considerando as diferentes composições coloridas e a imagem do NDVI, para cada talhão.

Talhão C3: No dia 21/11/2024, as plantas apresentavam cerca de 65 dias de crescimento vegetativo, conforme informado pelo produtor. Na composição RGB (cor verdadeira), observa-se que as plantas já estavam com o dossel fechado (Figura 4). Na composição de falsa cor (NIR), é possível identificar uma tonalidade avermelhada, associada à vegetação saudável, devido à alta refletância do infravermelho próximo (NIR).

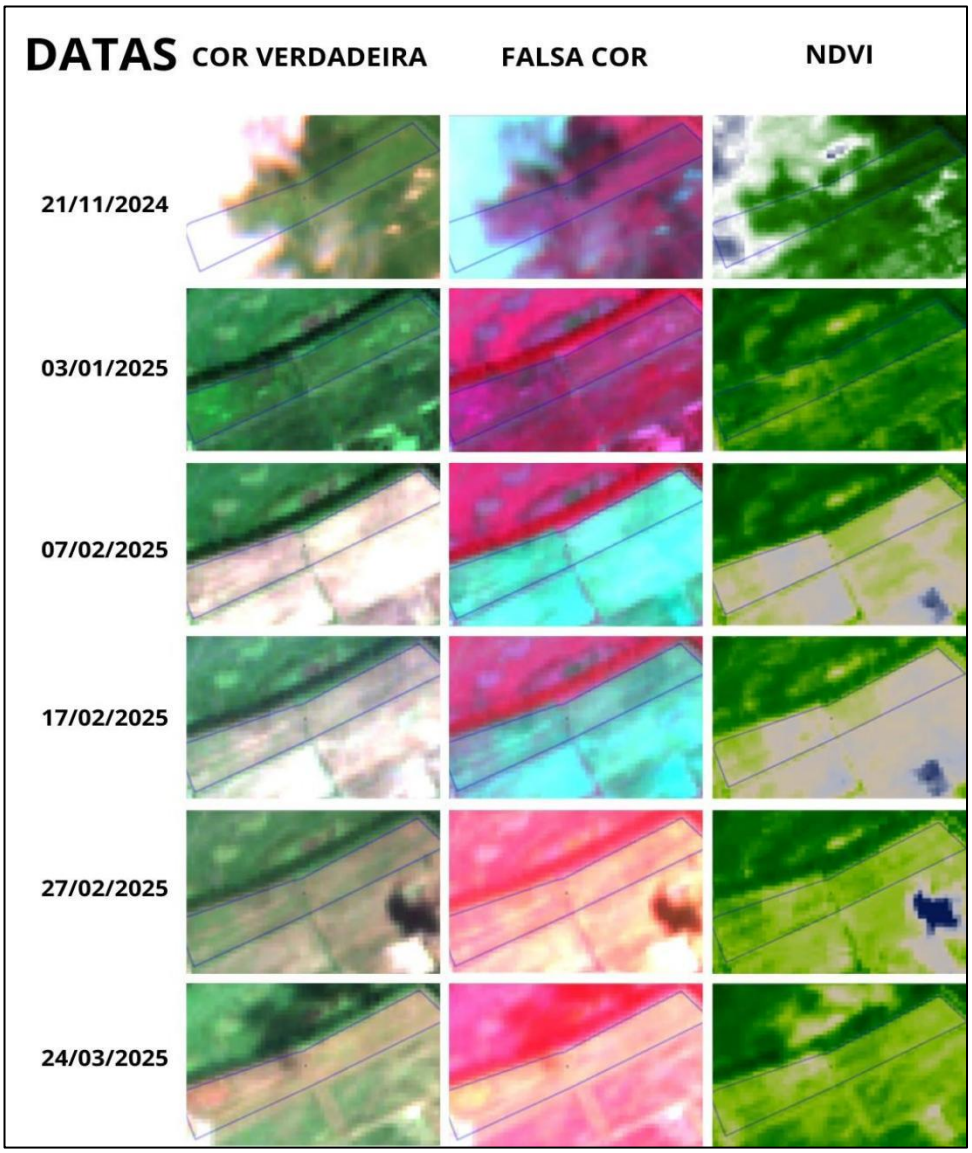


Figura 4 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão C3. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0 Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Um leve amarelecimento na composição RGB pode ser observado no dia 03/01/2025, indicando a proximidade da colheita (Figura 4). Essa mudança é corroborada pela composição em falsa cor, onde a tonalidade avermelhada apresenta redução, sinalizando a diminuição da atividade vegetativa.

Na data de 07/02/2025, a colheita já havia sido realizada, conforme relato do produtor, que indicou janeiro como o período da colheita. Essa informação é confirmada pela composição em falsa cor (Figura 4), onde o talhão apresenta tonalidades cinza-azuladas, típicas de solo exposto após a colheita.

Na imagem de 17/02/2025, é visível na Figura 4 o início da rebrota do arroz. Na composição de falsa cor, surgem leves linhas avermelhadas no talhão, representando o início do novo ciclo vegetativo.

Em 27/02/2025, o aumento da rebrotação é evidente, com intensificação das tonalidades vermelhas na composição de falsa cor (Figura 4), indicando um crescimento vegetativo vigoroso.

Finalmente, no dia 24/03/2025, observa-se uma redução das tonalidades vermelhas na composição em falsa cor, indicando possivelmente um processo de senescência, o que corrobora com o informado pelo produtor, de que houve possivelmente a colheita da rebrota neste período. Ele relatou que, quando a colheita inicial ocorre até fevereiro, a rebrota é conduzida devido ao seu rápido crescimento e vigor.

Observando os valores de NDVI registrados no ponto correspondente ao talhão C3 (Tabela 2 e Figura 5) assume-se que a cultura estava em crescimento vegetativo em 21/11/2024. Devido ao intervalo significativo entre as imagens 1 e 2, não é possível assumir o valor delas como o pico máximo de vigor vegetativo. Além disso, a escassez de imagens impede a interpolação precisa do valor correspondente ao auge da vegetação. Segundo Bariani et al. (2017), os valores de NDVI observados durante o pico vegetativo da cultura do arroz oscilam na ordem de 0,80 a 0,83.

Tabela 2 - Índice NDVI talhão C3. Registro/SP, 2025.

Datas	21/11/2024	03/01/2025	07/02/2025	17/02/2025	27/02/2025	24/03/2025
Valor NDVI	0,41	0,39	0,22	0,23	0,32	0,46

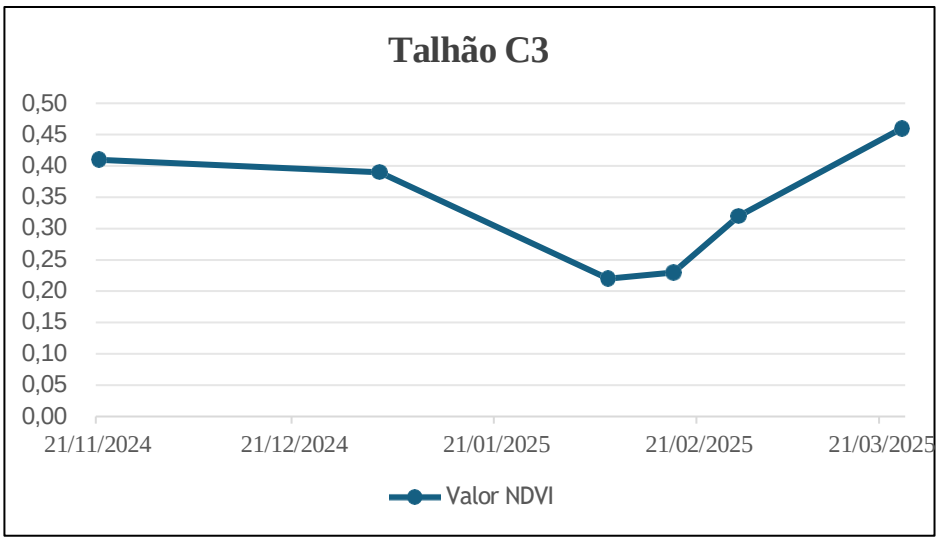


Figura 5 - Valores NDVI talhão C3. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

De acordo com o valor observado no dia 07/02/2025, assume-se que havia uma exposição significativa do solo, corroborando com Bariani et al. (2017) que relatam valores de NDVI entre 0,19 e 0,30 no período de semeadura até a emergência das plântulas de arroz.

Durante o período entre 17/02/2025 e 27/02/2025 há um aumento gradativo nos valores de NDVI, o que possivelmente reflete o desenvolvimento inicial da rebrotação. Finalmente, no dia 24/03/2025, o valor de NDVI alcança 0,40. Apesar de ter sido relatado pelo produtor que neste dia a área estava em processo de colheita, não foi possível confirmar se este talhão já havia sido colhido. Porém, como foi observado um valor relativamente alto de NDVI, assume-se que nesta data, já havia uma tendência de decréscimo do valor, já que nas composições coloridas, observa-se um padrão espectral de senescência.

Talhão C2: O comportamento do índice NDVI apresentou similaridade em relação aos talhões C2 e C3 (Figura 5 e Figura 6). Neste caso, observa-se que, em 24 de março de 2025, o talhão ainda estava em estágio de desenvolvimento e não havia sido colhido (Figura 7), evidenciado pelo valor NDVI de 0,47 no ponto representativo (Tabela 3 e Figura 6). Conforme observado nos resultados de Bariani et al. (2017), é característico um declínio gradual nos valores de NDVI à medida que a colheita se aproxima.

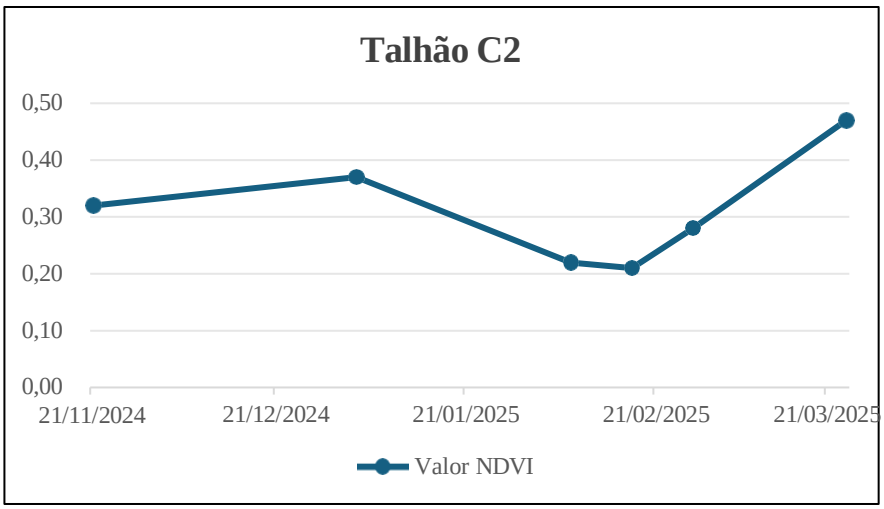


Figura 6 - Valores NDVI talhão C2. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

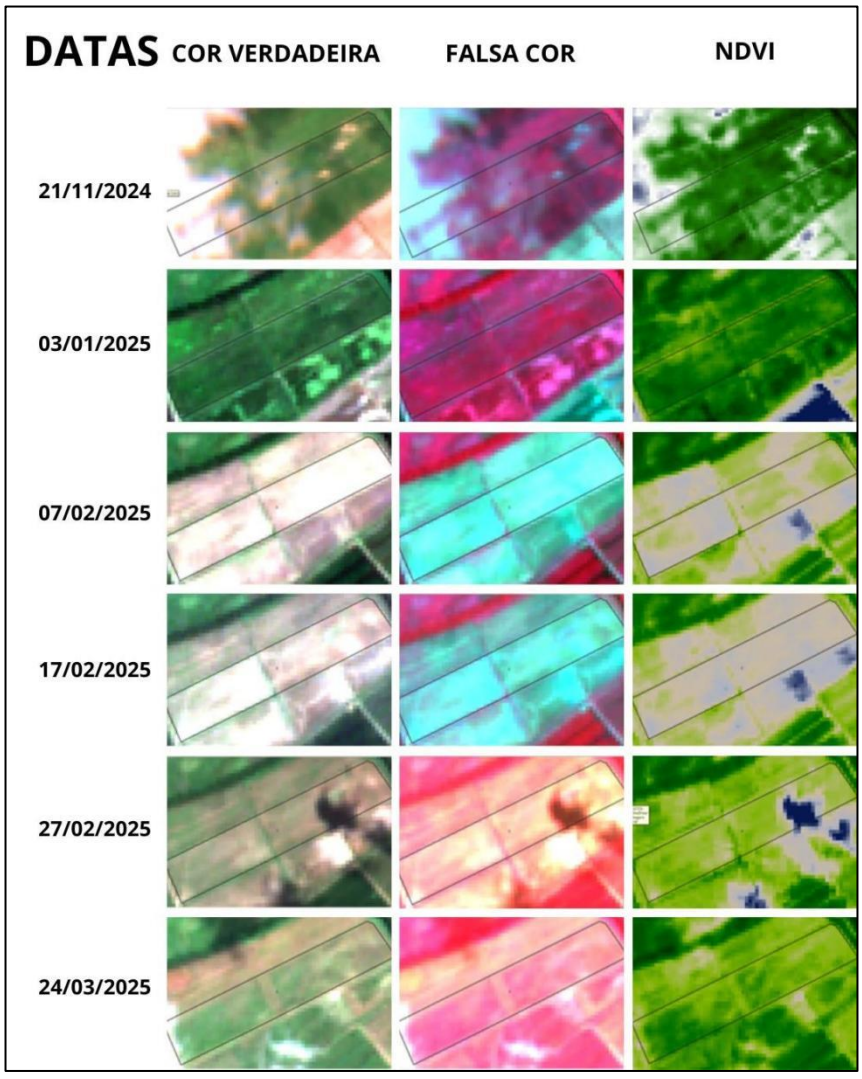


Figura 7 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão C2. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Tabela 3 -Índice NDVI talhão C2. Registro/SP, 2025.

Datas	21/11/2024	03/01/2025	07/02/2025	17/02/2025	27/02/2025	24/03/2025
Valor NDVI	0,32	0,37	0,22	0,21	0,28	0,47

Talhão C1: O talhão C1 também apresentou similaridades com os talhões C3 e C2, com base no perfil temporal do índice NDVI. No entanto, em 24 de março de 2025, ambos os talhões ainda estavam em estágio de desenvolvimento e não haviam sido colhidos, com valores de NDVI de 0,47 e 0,51 (Tabela 4), respectivamente, nos pontos representativos (Figura 8 e 9).

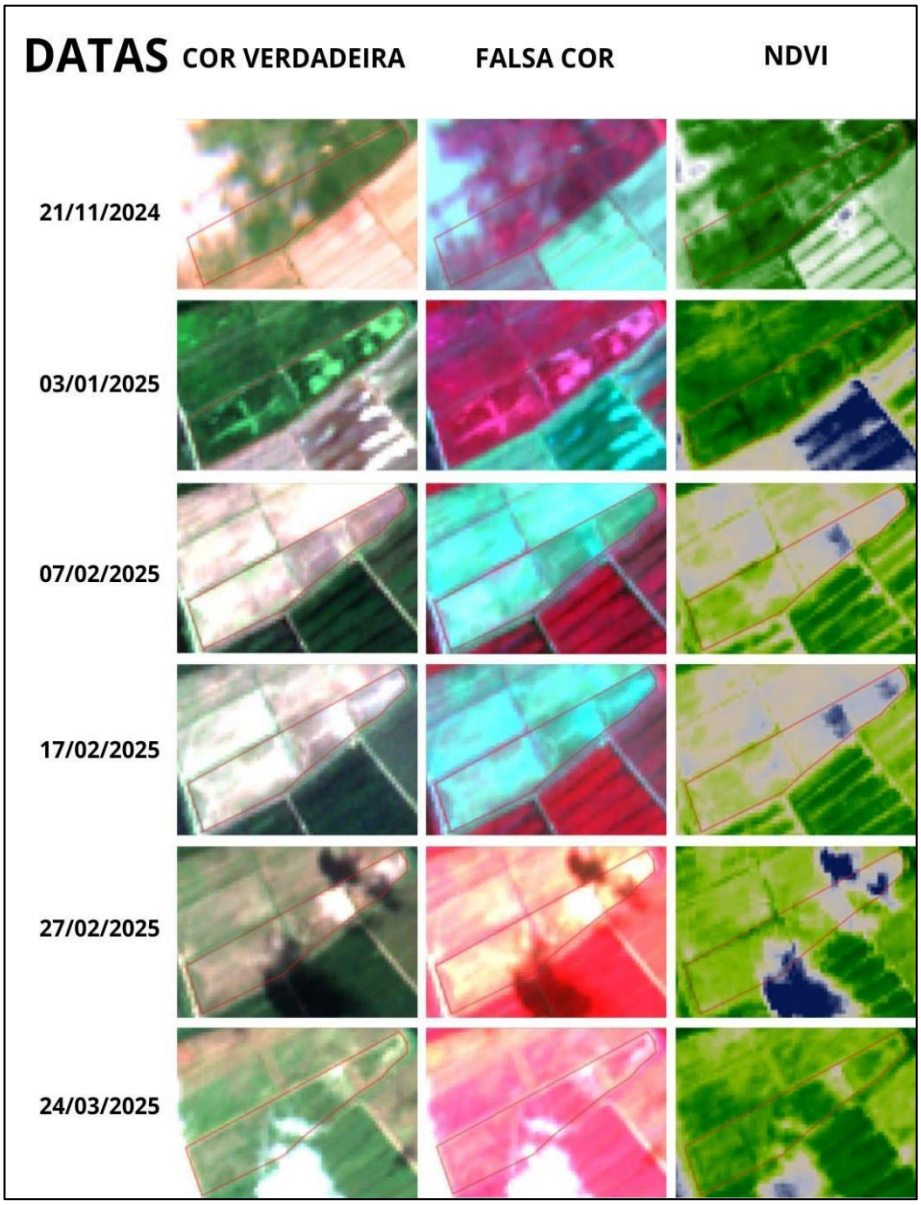


Figura 8 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão C1. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0 Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Tabela 4 - Índice NDVI talhão C1. Registro/SP, 2025.

Datas	21/11/2024	03/01/2025	07/02/2025	17/02/2025	27/02/2025	24/03/2025
Valor NDVI	0,39	0,42	0,19	0,20	0,27	0,51

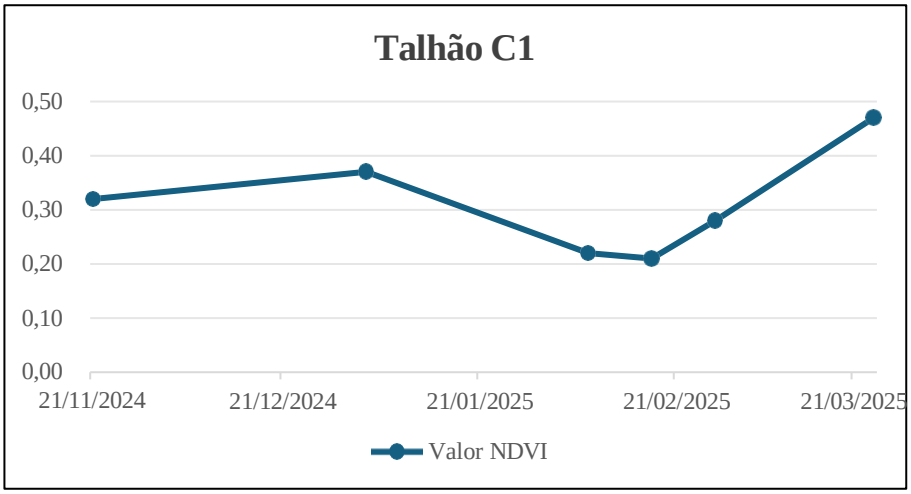


Figura 9 -Valores NDVI talhão C1. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Talhão B3: No dia 21 de novembro de 2024, as plantas estavam em fase de semeadura. Na composição RGB (cor verdadeira), é possível observar o solo exposto após o preparo (Figura 10). Já na composição em falsa cor (NIR), identifica-se uma tonalidade cinza-azulada, característica de áreas com solo exposto e ausência de vegetação.

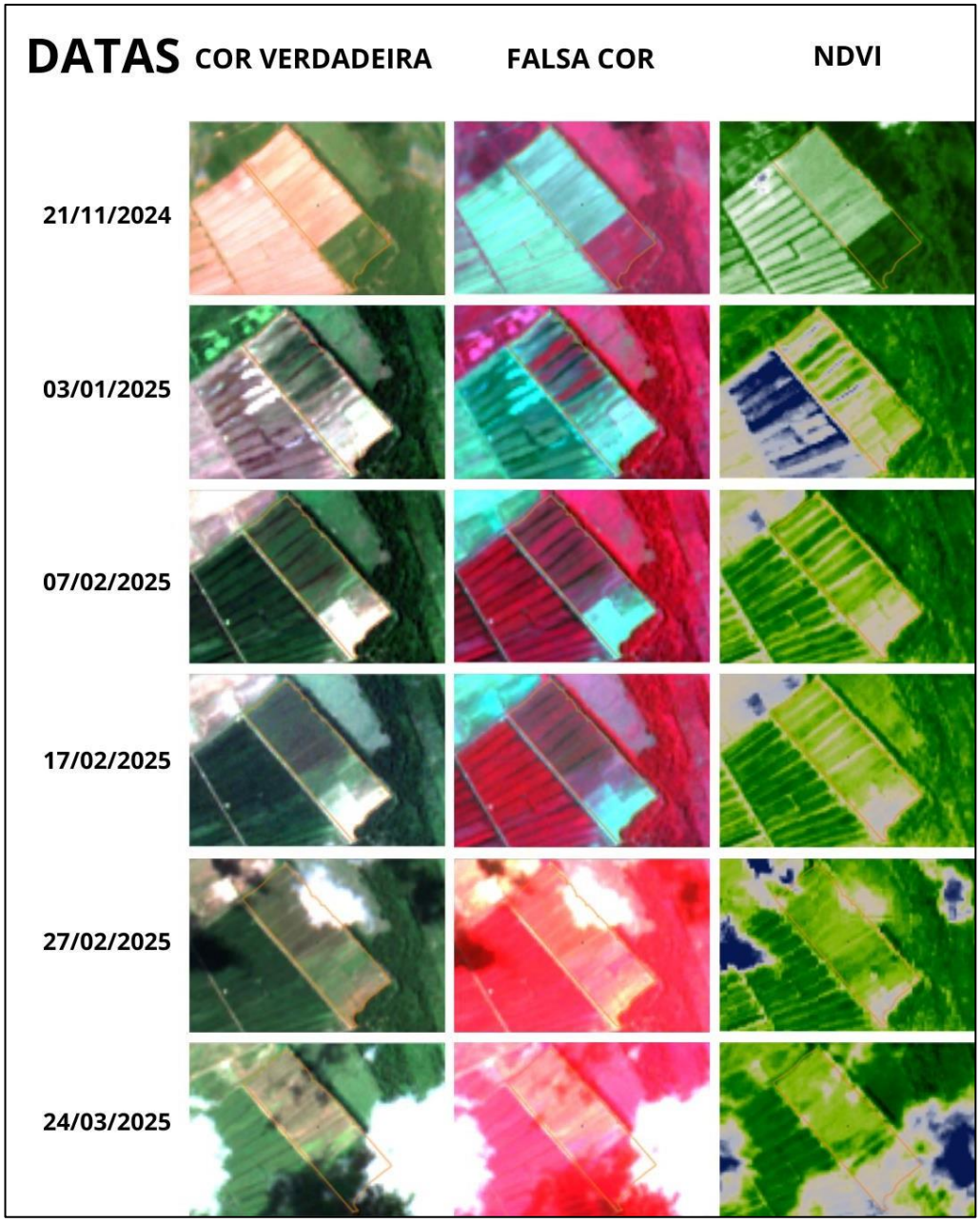


Figura 10 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão B3. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Fonte: Autor.

Em 3 de janeiro de 2025, nota-se o início do desenvolvimento das plantas na composição RGB, evidenciado pela presença de áreas verdes. Essa mudança também é perceptível na composição em falsa cor, onde a tonalidade avermelhada começa a se destacar, indicando o aumento da cobertura vegetal (Figura 10).

Na data de 7 de fevereiro de 2025, a cultura já apresenta fechamento completo, visível tanto na composição RGB quanto na falsa cor, com uma coloração avermelhada uniforme.

Em 17 de fevereiro de 2025, torna-se evidente o início do amarelecimento da cultura na imagem RGB, acompanhado pela alteração das tonalidades na composição em falsa cor, refletindo a transição para a fase de maturação.

No dia 27 de fevereiro de 2025, observa-se o avanço desse estágio de maturação, caracterizado pela intensificação do amarelecimento.

Finalmente, em 24 de março de 2025, as imagens indicam a conclusão da colheita, com redução da cobertura vegetal e retorno da exposição do solo.

Os valores de NDVI registrados na imagem de 21 de novembro de 2024 indicam a predominância de solo exposto, característica do período inicial após o preparo do terreno e semeadura. Nas datas de 3 de janeiro e 7 de fevereiro de 2025, observa-se um aumento gradual nos valores de NDVI (Tabela 5 e Figura 11), refletindo o estágio de crescimento vegetativo da cultura. Nos dias 17 e 27 de fevereiro de 2025, os valores de NDVI mantêm-se relativamente estáveis, indicando o a transição para o período de maturação.

Tabela 5 - Índice NDVI talhão B3. Registro/SP, 2025.

Datas	21/11/2024	03/01/2025	07/02/2025	17/02/2025	27/02/2025	24/03/2025
Valor NDVI	0,24	0,34	0,34	0,26	0,29	0,41

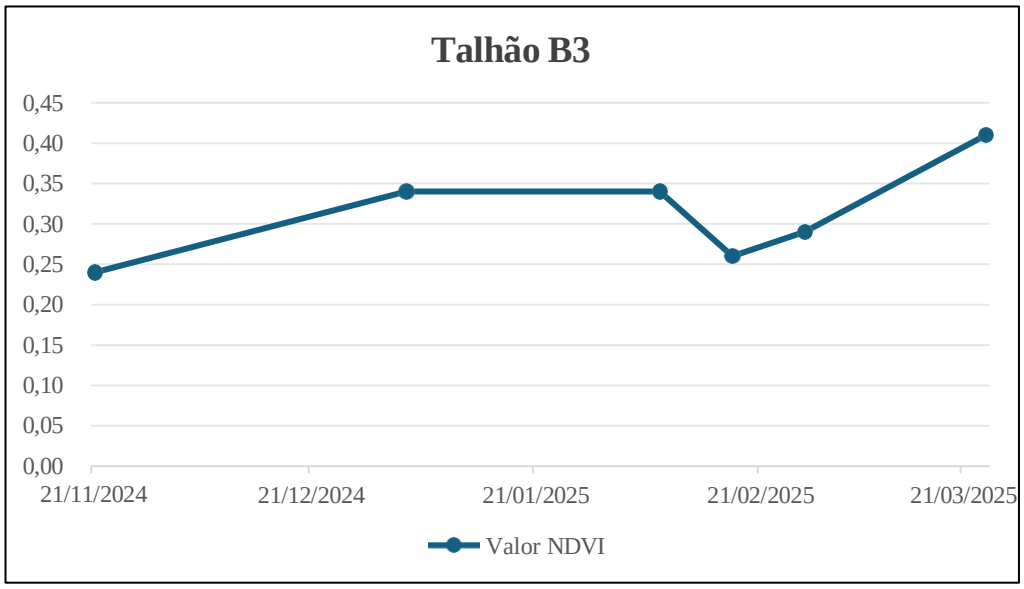


Figura 11 - Figura 11. Valores NDVI talhão B3. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Por fim, na imagem de 24 de março de 2025, após a colheita, o NDVI registra um valor de 0,41, comportamento discrepante em relação ao esperado para essa etapa do ciclo produtivo.

Talhão B2: No talhão B2, o comportamento observado seguiu um padrão semelhante ao descrito. Em 21 de novembro de 2024, o solo exposto é claramente visível na composição RGB após o preparo, enquanto na composição em falsa cor (NIR), a tonalidade cinza-azulada predominou, evidenciando a ausência de vegetação (Figura 12).

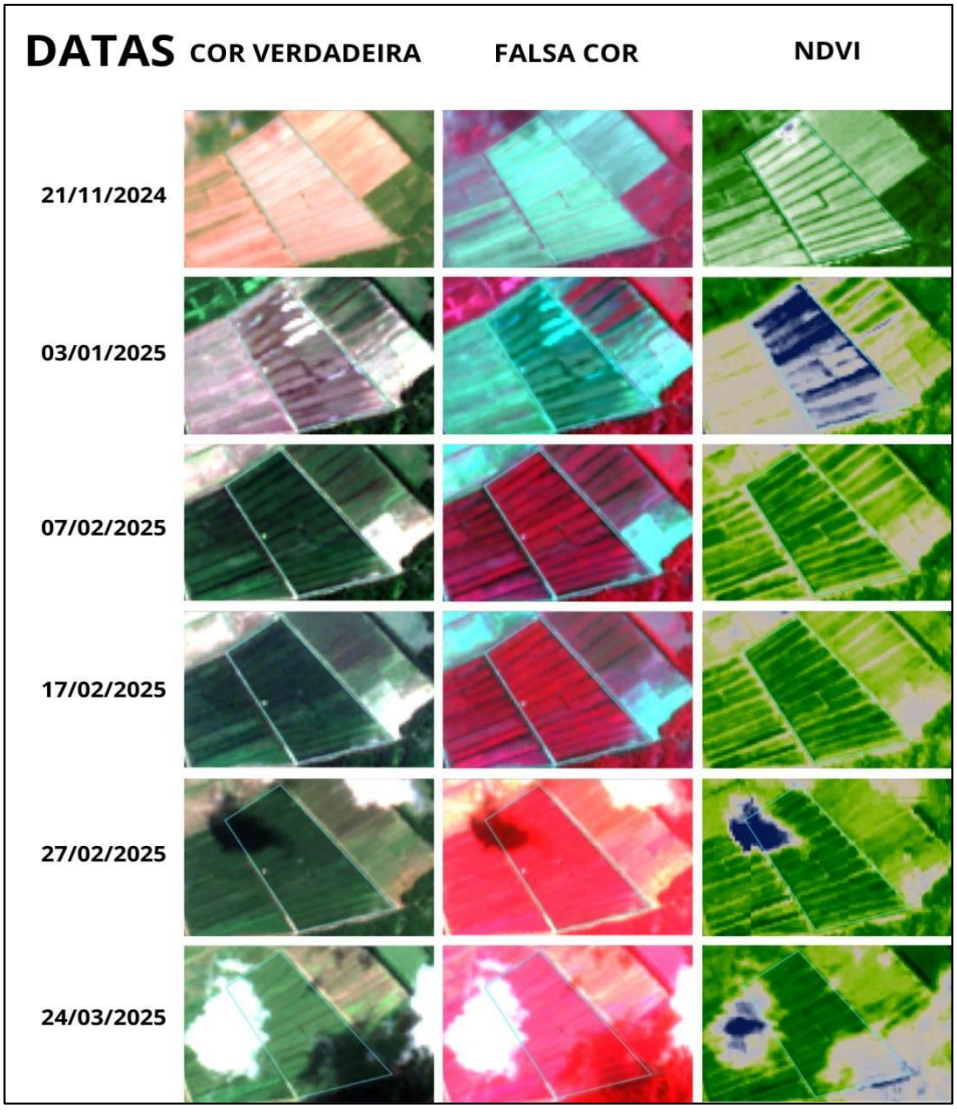


Figura 12 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão B2. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Em 3 de janeiro de 2025, o início do desenvolvimento das plantas é notado, com áreas verdes emergindo na composição RGB, no entanto, em falsa cor podemos observar que é

possível que já esteja alagado, o que foi confirmado pelo produtor e posteriormente o NDVI também indica.

Na imagem de 7 de fevereiro de 2025, o talhão apresenta cobertura vegetal fechada, sendo essa condição visível tanto na composição RGB quanto na falsa cor, onde o vermelho domina a representação.

Em 17 de fevereiro de 2025, o crescimento vegetativo das plantas é perceptível na composição RGB, acompanhado por forte tonalidade da falsa cor.

Para o dia 27 de fevereiro de 2025, o estágio de maturação se intensifica, com maior evidência nas imagens RGB.

No dia 24 de março de 2025, o talhão B2 não foi colhido. Isso se reflete nos dados, que mostram a manutenção de uma maior cobertura vegetal em comparação com áreas já colhidas, mesmo com sinais de senescência avançada na vegetação.

Dia 21 de novembro de 2024, os valores de NDVI de 0,21 indicam a exposição do solo, corroborando com as observações de Bariani et al. (2017), que associam esses valores a áreas sem cobertura vegetal.

Em 3 de janeiro de 2025, foram registrados valores negativos de NDVI, sugerindo a presença de áreas inundadas, uma característica notável nesse estágio inicial do desenvolvimento.

Nas datas de 7, 17 e 27 de fevereiro de 2025, os valores crescentes do NDVI (Figura 13) refletem o avanço do desenvolvimento vegetativo, consistentes com o crescimento da cultura ao longo desse período.

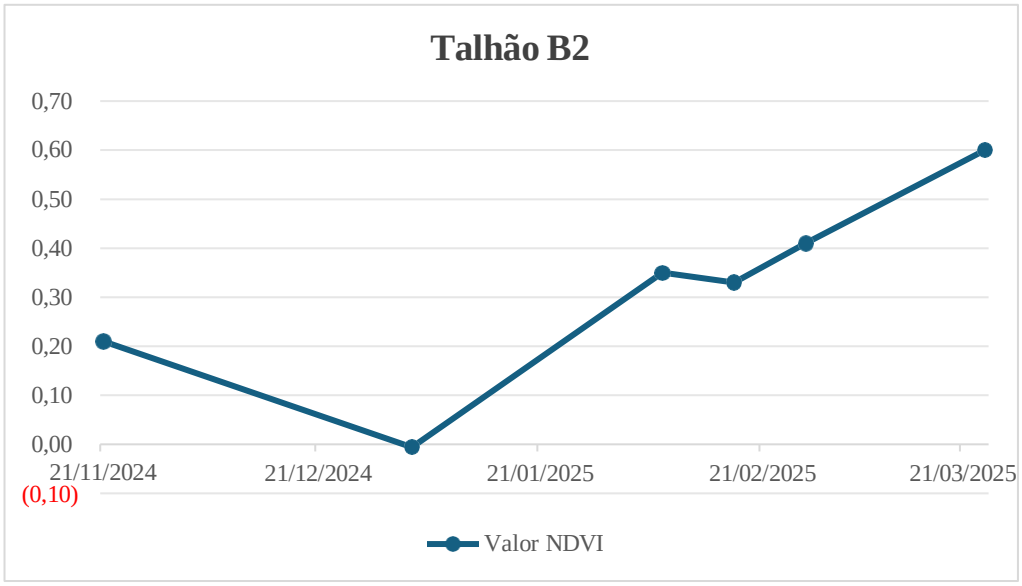


Figura 13 - Valores NDVI talhão B2. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Por fim, no dia 24 de março de 2025, o índice NDVI alcançou 0,6 (Tabela 6), um valor compatível com o descrito por Bariani et al. (2017), que relatam um declínio gradual nos índices de NDVI à medida que a cultura se aproxima da colheita, com valores variando entre 0,8 e 0,4 nessa fase.

Tabela 6 - Índice NDVI talhão B2. Registro/SP, 2025.

Datas	21/11/2024	03/01/2025	07/02/2025	17/02/2025	27/02/2025	24/03/2025
Valor NDVI	0,21	-0,006	0,35	0,33	0,41	0,60

Talhão B1: No talhão B1, o comportamento observado apresenta semelhanças com o talhão B2, porém com algumas diferenças específicas. Em 21 de novembro de 2024, havia a presença de algumas plantas no local, possivelmente resquícios de ciclos anteriores. No entanto, essas plantas desapareceram após o preparo do solo, evidenciado nas imagens seguintes.

Em 3 de janeiro de 2025, o NDVI não registrou valores negativos, diferentemente do B2 (Figura 14). Isso pode ser explicado pela prática de irrigação alternada realizada na área, uma vez que não há água suficiente para abastecer todos os talhões simultaneamente. O plantio no talhão B1 ocorreu após o B2, o que também influencia no comportamento observado.

Nas datas seguintes (7, 17 e 27 de fevereiro de 2025), o talhão B1 demonstrou padrões de crescimento vegetativo e maturação semelhantes ao B2, com a cobertura vegetal fechada nas imagens RGB e uma forte tonalidade avermelhada nas composições de falsa cor, representando o estágio de desenvolvimento da cultura.

Entretanto, assim como no B2, o talhão B1 não foi colhido até 24 de março de 2025. Nas imagens desse período, observa-se a manutenção de uma cobertura vegetal densa. Nesse talhão, também, nesse dia houve uma nuvem cobrindo boa parte do talhão.

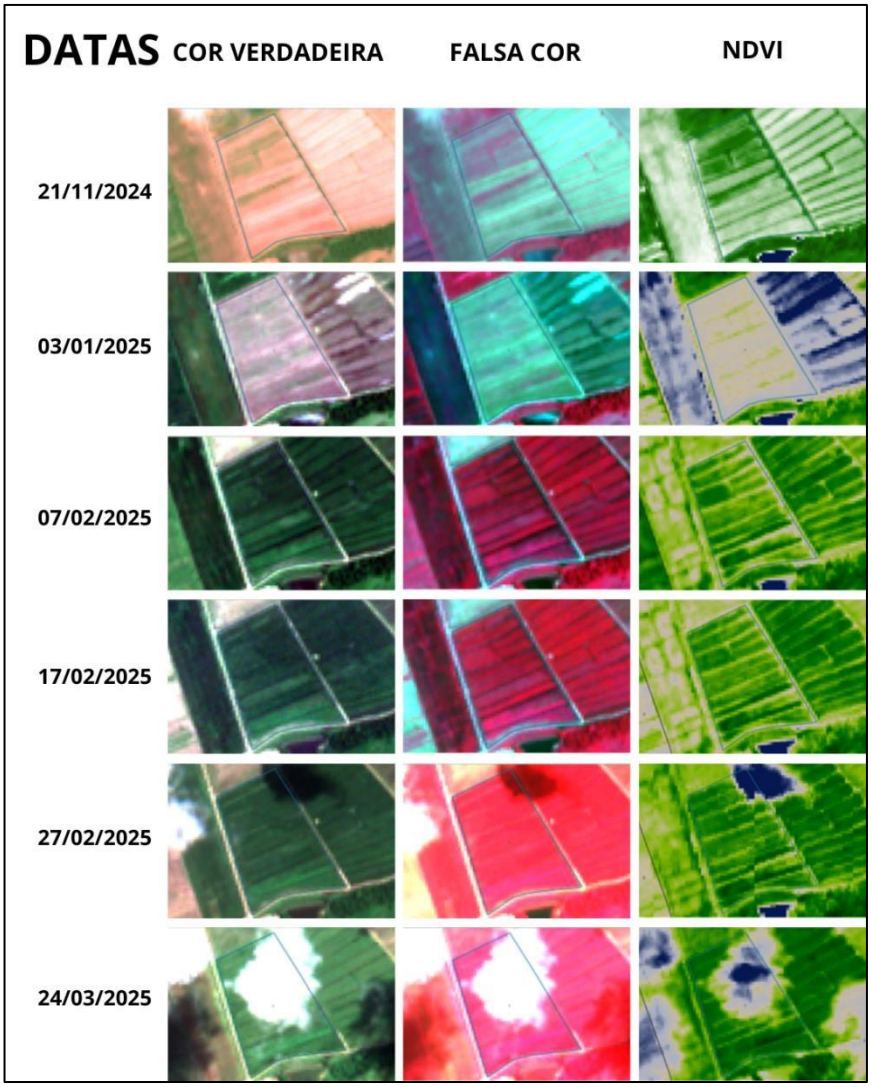


Figura 14 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão B1. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Em 21 de novembro de 2024, o solo apresentava exposição predominante, com um índice de vegetação (NDVI) de 0,17. Nessa data, também foi observada a presença de plantas remanescentes que seriam eliminadas no preparo subsequente do solo.

No dia 3 de janeiro de 2025, o índice de NDVI caiu para 0,1, refletindo um preparo de solo ou início de semeio das sementes de arroz. Nas bordas dos talhões, foi identificada a presença de água, o que pode indicar o início de alagamentos localizados.

Nos dias 7, 17 e 27 de fevereiro de 2025, o NDVI apresentou um aumento gradual, variando de 0,23 a 0,31, demonstrando o crescimento vegetativo da cultura ao longo desse período (Figura 15).

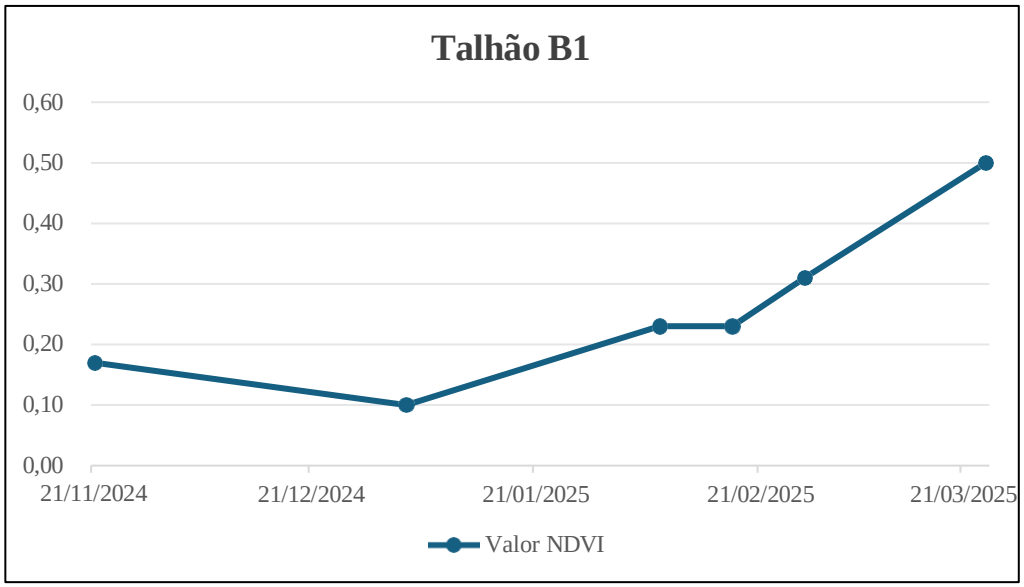


Figura 15 - Valores NDVI talhão B1. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Finalmente, na imagem de 24 de março de 2025, o índice de NDVI alcançou 0,5 (Tabela 7). Esse valor está associado ao estágio avançado da cultura. Devido a poucas quantidades de imagens nesse período final, não podemos assumir como pico vegetativo, segundo Bariani et al. (2017) o máximo ficou entre 0,83 e 0,85.

Tabela 7 - Índice NDVI talhão B1. Registro/SP, 2025.

Datas	21/11/2024	03/01/2025	07/02/2025	17/02/2025	27/02/2025	24/03/2025
Valor NDVI	0,17	0,10	0,23	0,23	0,31	0,50

Talhão A2: No dia 21 de novembro de 2024, já é possível observar a presença de plantas no talhão, embora ainda não estejam fechando completamente a área (Figura 16).

No dia 3 de janeiro de 2025, a cultura apresentou algum crescimento, e os indícios de água são visíveis nas imagens em falsa cor, principalmente nas bordas do talhão.

Nas datas de 7, 17 e 27 de fevereiro de 2025, o crescimento vegetativo torna-se mais evidente, com a cobertura vegetal aumentando progressivamente, o que é corroborado pelas tonalidades características nas imagens em falsa cor.

Finalmente, no dia 24 de março de 2025, observa-se que a colheita foi realizada, com sinais claros de remoção da vegetação na área analisada (Figura 16).

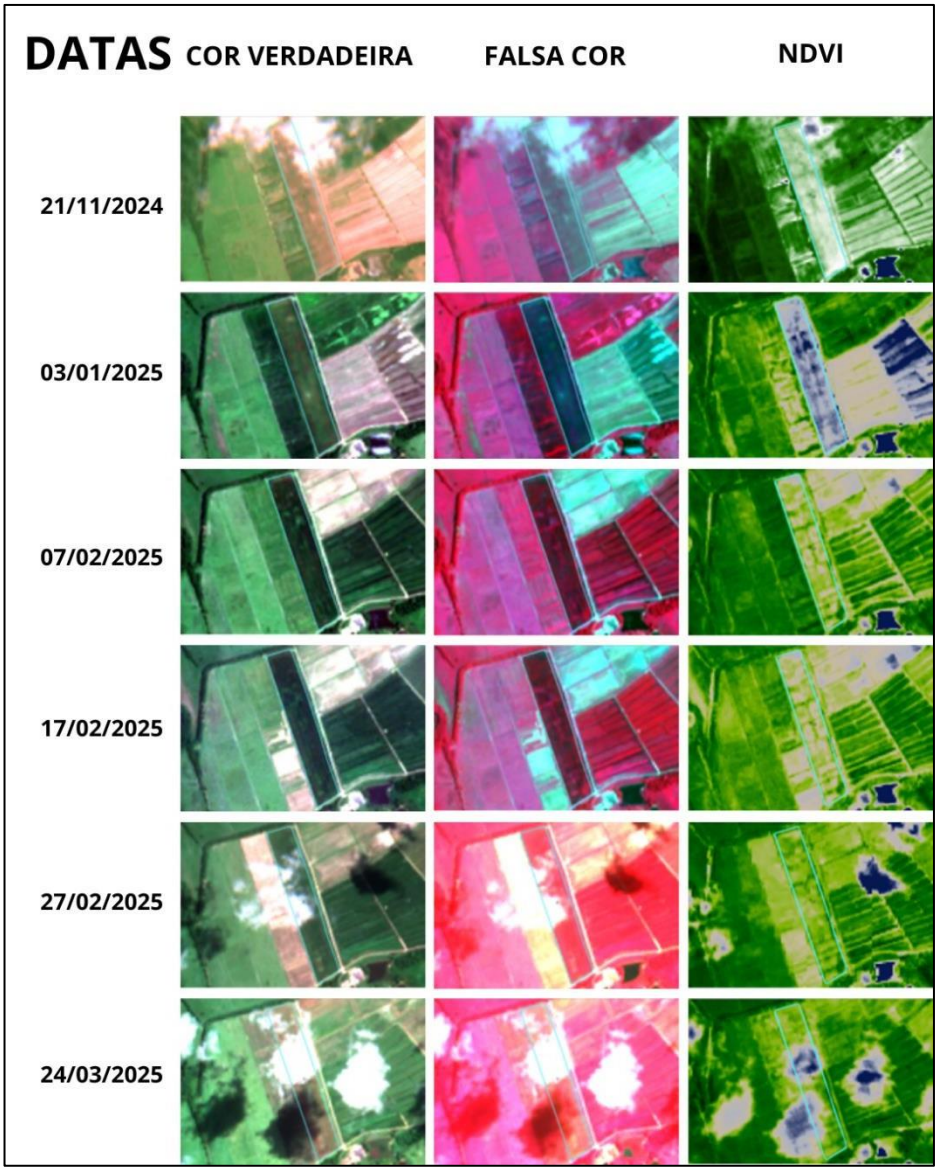


Figura 16 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão A2. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Na primeira imagem, datada de 21 de novembro de 2024, observa-se a presença de poucas plantas dispersas, sem cobertura significativa do talhão, com um índice NDVI de 0,21 (Tabela 8).

No dia 3 de janeiro de 2025, é notável a presença de água na área, situação confirmada pelo produtor.

Nas imagens de 7, 17 e 27 de fevereiro de 2025, verifica-se um aumento progressivo no crescimento vegetativo, demonstrado pelos valores crescentes de NDVI e corroborado pela densidade das plantas na área (Figura 17 e Tabela 8).

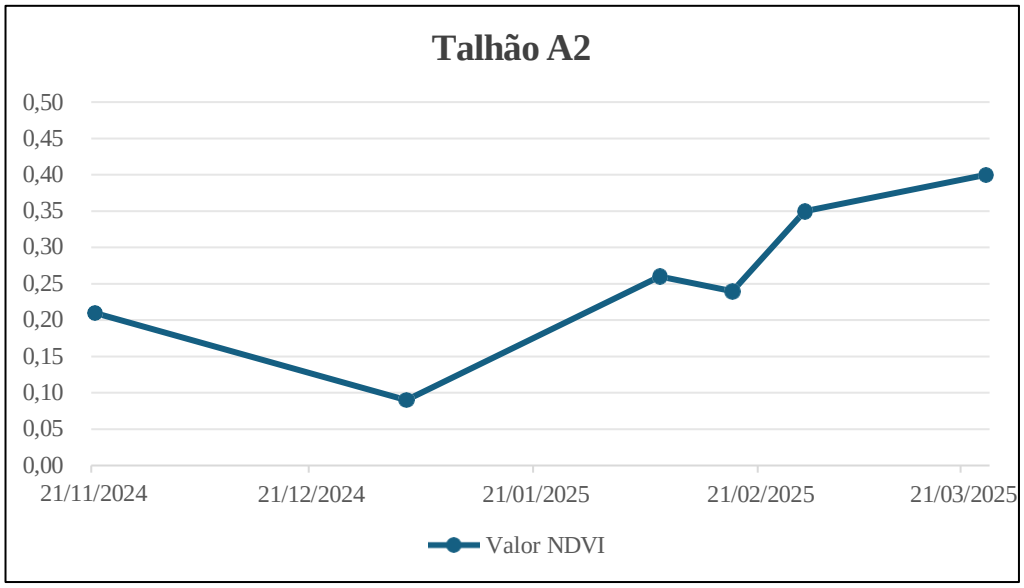


Figura 17 - Valores de NDVI no talhão A2. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Tabela 8 - Índice NDVI talhão A2. Registro/SP, 2025.

Datas	21/11/2024	03/01/2025	07/02/2025	17/02/2025	27/02/2025	24/03/2025
Valor NDVI	0,21	0,09	0,26	0,24	0,35	0,40

Por fim, na imagem de 24 de março de 2025, o índice NDVI, há indícios do crescimento acelerado da rebrota devido ao alto vigor vegetativo, característico da cultura do arroz.

Talhão A1: No dia 21 de novembro de 2024, o talhão A1 apresentava plantas em estágio inicial, com cobertura vegetal parcial (Figura 18). Na composição RGB (cor verdadeira), é possível observar o solo ainda visível em várias áreas. Já na composição em falsa cor (NIR), identifica-se uma tonalidade cinza-azulada, típica de solo exposto com pouca vegetação.

Em 3 de janeiro de 2025, a cultura avançou no desenvolvimento, com maior presença de vegetação registrada na composição RGB. Na composição em falsa cor, nota-se uma coloração avermelhada, indicando o progresso do crescimento.

Na data de 17 de fevereiro de 2025, parte do talhão já havia sido colhido, o que é evidenciado por áreas de solo exposto na composição RGB. Na falsa cor, as áreas sem cobertura vegetal tornam-se mais evidentes.

No dia 27 de fevereiro de 2025, o solo exposto passa a predominar no talhão, com a colheita concluída, uma condição facilmente identificável em ambas as composições, RGB e falsa cor.

Finalmente, em 24 de março de 2025, surgem os primeiros indícios de rebrotamento em algumas áreas do talhão. Na composição RGB, pequenas manchas verdes começam a se destacar, enquanto na falsa cor é possível perceber uma leve intensificação nas tonalidades avermelhadas, apontando o início de um novo ciclo vegetativo.

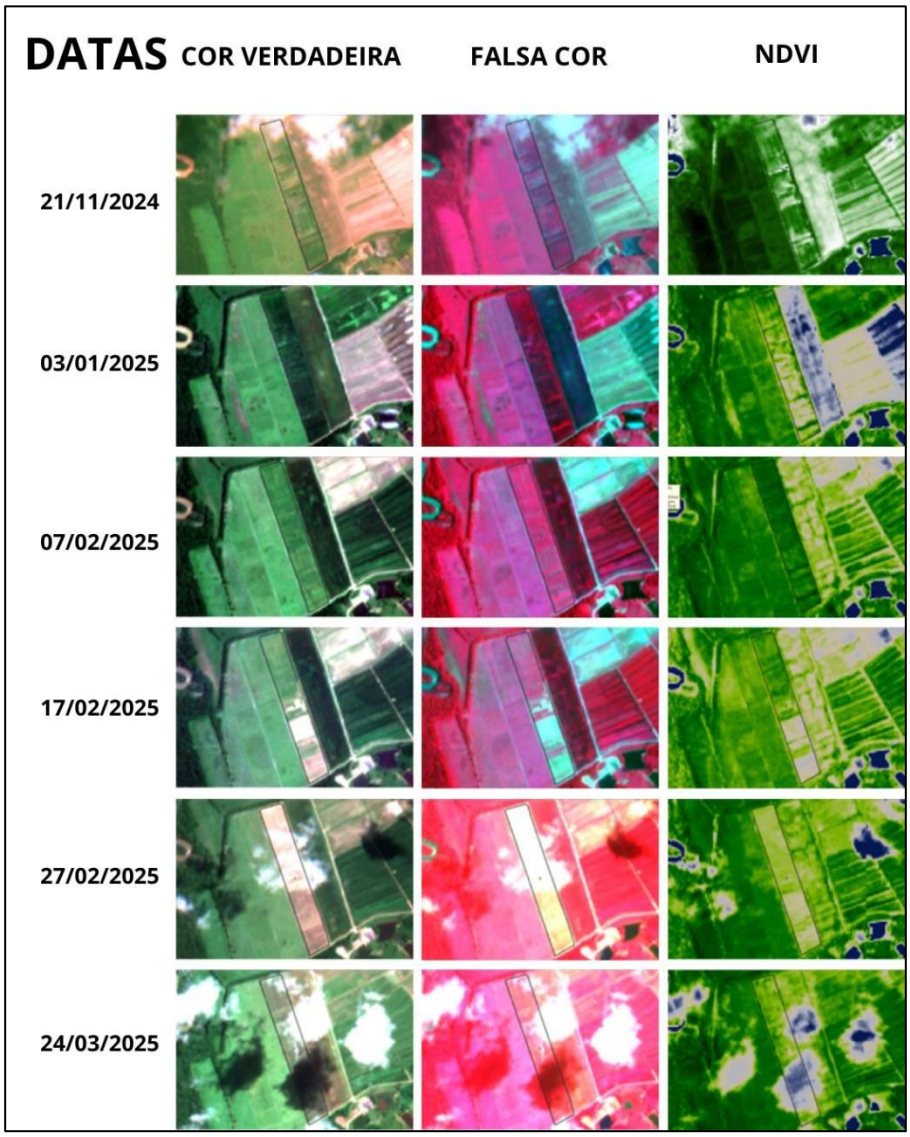


Figura 18 - Imagens em cor verdadeira, falsa cor e NDVI do talhão A1. Na coluna referente as imagens NDVI, os valores variam em entre -1 e 1, em um gradiente de cores de azul a verde escuro, onde branco é 0. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Na primeira imagem, de 21 de novembro de 2024, observa-se a presença de plantas já avançando no fechamento do talhão, com um índice NDVI de 0,21 (Figura 19 e Tabela 9).

Em 3 de janeiro de 2025, o talhão encontra-se completamente fechado, indicando o crescimento vegetativo da cultura, com um índice NDVI de 0,28.

Nas imagens de 7 de fevereiro de 2025, a cultura aproxima-se do estágio de colheita, conforme mostrado na imagem de cor verdadeira, com o índice NDVI atingindo 0,41.

No dia 17 de fevereiro de 2025, parte do talhão já foi colhida, resultando em uma diminuição do índice NDVI para 0,31.

No dia 27 de fevereiro de 2025, a colheita foi concluída, como evidenciado pelo índice NDVI de 0,27, característico de solo exposto.

Por fim, na imagem de 24 de março de 2025, o índice NDVI sobe para 0,47, refletindo o rápido desenvolvimento da rebrota no talhão.

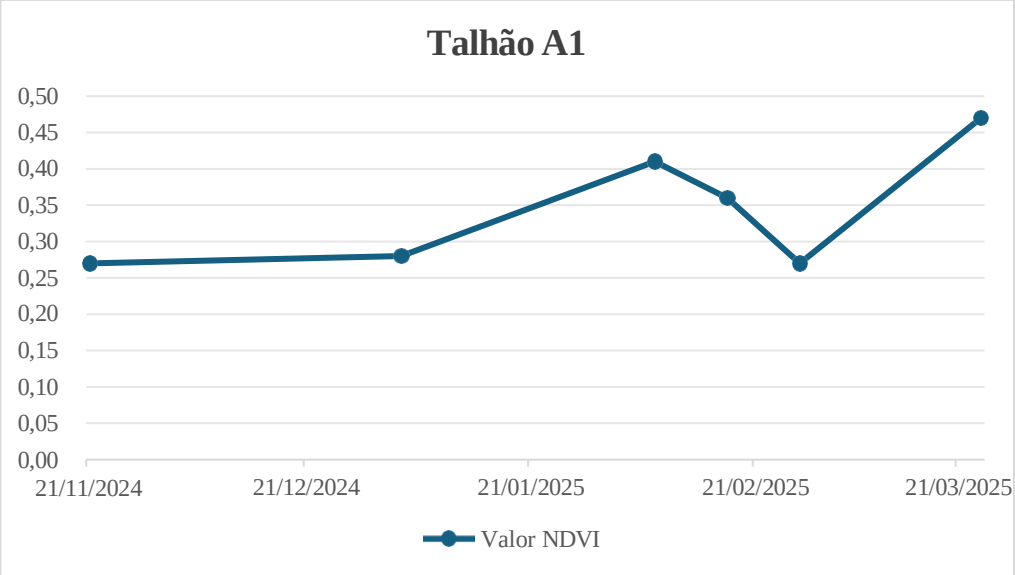


Figura 19 - Valores NDVI talhão A1. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor.

Tabela 9 - Índice NDVI talhão A1. Registro/SP, 2025.

Datas	21/11/2024	03/01/2025	07/02/2025	17/02/2025	27/02/2025	24/03/2025
Valor NDVI	0,27	0,28	0,41	0,36	0,27	0,47

Talhões de arroz em Iguape: A Figura 20 mostra uma área destinada ao cultivo de arroz em Iguape que foi usada para comparar as épocas de manejo dentro do Vale do Ribeira. É possível ver a tendência de início do cultivo em dezembro (Figura 21), coincidindo com o período de maior pluviosidade na região. Esse comportamento contrasta com a propriedade de Registro analisada neste estudo, onde o plantio tem início em setembro, graças ao sistema de inundação disponível. A facilidade de acesso à água na propriedade de Registro permite a antecipação do plantio em relação a Iguape, destacando a relevância da disponibilidade hídrica como principal fator limitante para o cultivo do arroz.

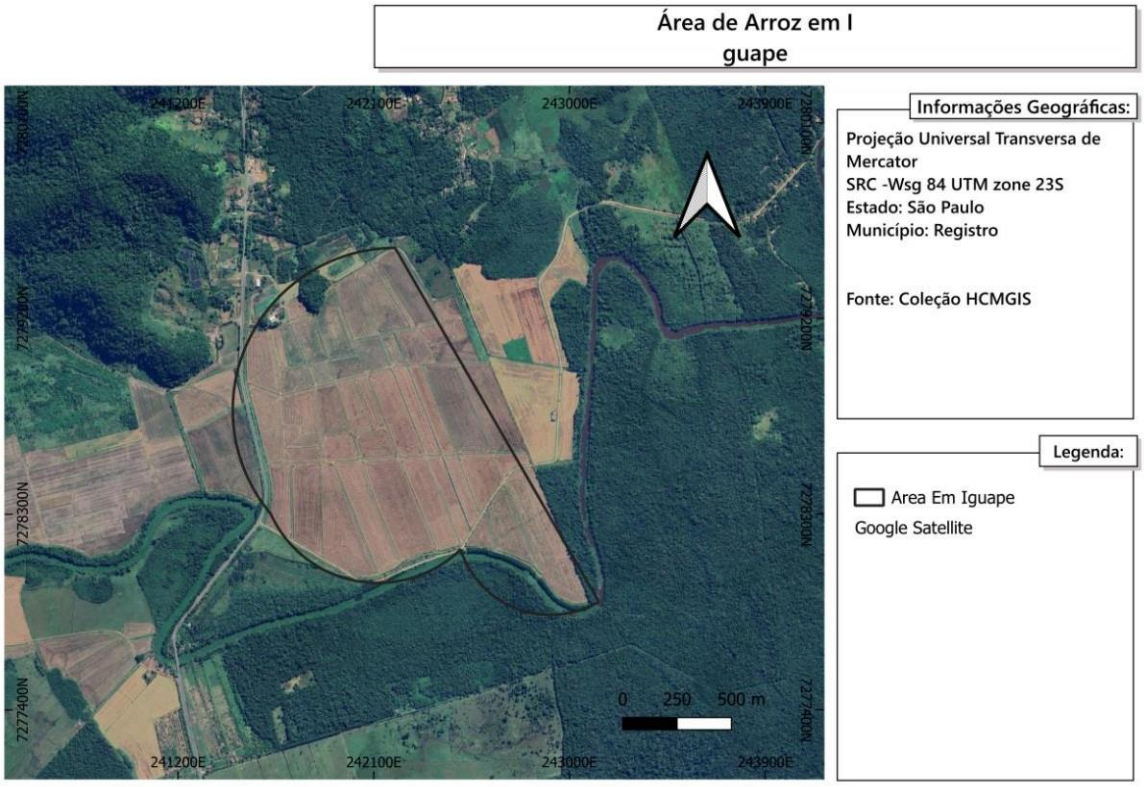


Figura 20 - Propriedade de arroz em Iguape, SP. Registro/SP, 2025. Fonte: Autor

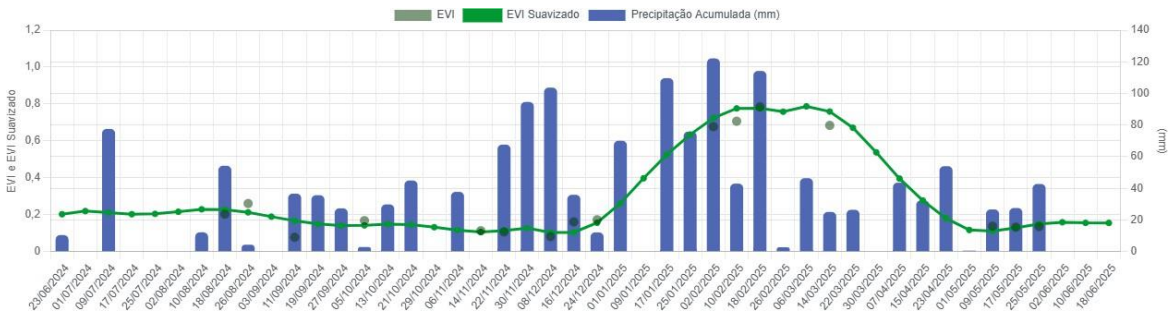


Figura 21 - Valores de EVI na propriedade. Registro/SP, 2025. Fonte: ANA/e-SPIA (2025).

5. CONCLUSÃO

O período de novembro a março foi o mais adequado para capturar imagens representativas do ciclo do arroz. Dentre os talões analisados, o B3 apresentou as melhores condições para o monitoramento fenológico da cultura, permitindo o acompanhamento de todas as fases, ainda que a maior parte das imagens foram de fevereiro de 2025.

No entanto, os desafios observados, como a baixa densidade temporal de imagens e a interferência de nuvens, limitaram a precisão na identificação do pico vegetativo e podem ter levado a superestimativas em talhões específicos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos futuros poderão aprimorar essas análises, explorando sensores adicionais e dados complementares para oferecer ainda mais suporte à tomada de decisões no setor agrícola. A integração de dados climáticos e o uso de imagens com maior frequência temporal são recomendados para estudos futuros, a fim de melhorar a interpolação dos valores de NDVI e capturar com mais detalhes os picos fenológicos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Boletim de Monitoramento da Agricultura Irrigada no Brasil: Cultura do Arroz Irrigado – 5ª Edição.** Brasília: ANA, 2023. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1ac9b37f-0745-44f9-a60b-6a2bd366bbe1/attachments/ANA_Boletim_SNIRH_5_ArrozIrrigado_web.pdf. Acesso em: 24 out. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). e-SPIA – Earth Surface Point Inspection App. Disponível em: <https://espia.snirh.gov.br/>. Acesso em: 23/06/2025

BARIANI, C. J. M. V.; BARIANI, N. M. V.; NETO, G. C. M. Sensoreamento remoto aplicado ao monitoramento dos principais estádios fenológicos do arroz irrigado no sul do Brasil. **IV Inovagri International Meeting**, 2017.

BENDINI, H; et al. **Detailed agricultural land classification in the Brazilian cerrado based on phenological information from dense satellite image time series**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 82, p. 101872, out. 2019.

BENDINI, H. N.; FONSECA, L. M. G.; PASCOAL, L. M. L.; RUFIN, P.; BERTOLINI, C. A.; ANDRADE, T. S.; SILVERIO, R. G.; MARIANO, R. F.; SANTOS, P. L.; FERREIRA, D. A. C.; FONTENELLE, T. H. Methodological Proposal for Operational Monitoring of Agricultural Dynamics in Center Pivots Irrigation Areas in Brazil using Sentinel 2 Imagery. In: **42nd EARSeL Symposium, 2023**, Romenia. 42nd EARSeL Symposium, 2023.

BENDINI, H. N. et al. Estimating winter cover crop biomass in france using optical sentinel-2 dense image time series and machine learning. **Remote Sensing**, v. 16, n. 5, p. 834, 2024.

BRASIL. RIO GRANDE DO SUL. **Colheita de arroz se encerra no RS com 7,16 milhões de toneladas do grão**. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024. Disponível em: https://www.estado.rs.gov.br/colheita-de-arroz-se-encerra-no-rs-com-7-16-milhoes-de-toneladas-do-grao. Acesso em: 8 out. 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, safra 2024/25, quinto levantamento.** Brasília, DF: Conab, fevereiro 2025. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 23 jun. 2025.

COPERNICUS. **Sentinel-2 Data**. 2025. Disponível em: https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/sentinel-data/sentinel-2. Acesso em: 5 jun. 2025.

ELACHI, Charles. *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*. New York: Wiley, 1987. Definição de sensoriamento.

EMBRAPA. **Como a planta de arroz se desenvolve**. 2023. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/749053/1/Encarte.pdf. Acesso em: 09 jun. 2025.

ENGESAT. Sentinel-2: imagens multiespectrais de alta resolução. Disponível em: https://www.engesat.com.br/sentinel-2/. Acesso em: 28 jun. 2025.

ESA - European Space Agency. **Sentinel-2: Observing the Earth**. 2023. Disponível em: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2. Acesso em: 9 jun. 2025.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Índice de preços de alimentos da FAO se mantém inalterado em setembro. 2023. Disponível em: https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1652773/#:~:text=A%20FAO%20estima%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o,523%2C1%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas. Acesso em: 8 out. 2024.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Cereal Supply and Demand Brief. 2024. Disponível em: https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en. Acesso em: 23 jun. 2025.

FERREIRA, C. M.; BARRIGOSSI, J. A. F. **Arroz e feijão:** tradição e segurança alimentar**.** Brasília, DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. 164 p.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. *Manual da cultura do arroz*. 2. ed. São Paulo: Funep, 2006. 589 p. ISBN 978-85-87632-89-0

GOMES, E. N et al. **Análise temporal da frequência de cobertura de céu em Registro/SP/Brasil no período de 2013 a 2018**. In: Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia, produção e novos mercados. Vol. 1. São Paulo: Editora Científica Digital, 2022. ISBN 978-65-5360-120-8. Disponível em: https://dx.doi.org/10.37885/220308224. Acesso em: 08 jul 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Arroz – Produção Agropecuária – São Paulo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/arroz/sp. Acesso em: 6 jun. 2025.

IRGA. Informativo. Porto Alegre: IRGA, v.8, n.6, p.1-4, 2001.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. Remote Sensing and Image Interpretation. 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

MAATOUG, L.; SIMÕES, M.; BÉGUÉ, A.; ARVOR, D. Monitoramento da fenologia de culturas através de sensoriamento remoto. Montpellier: CIRAD - UMR TETIS, 2013.

MASCARENHAS, L. M. A. et al. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia. *Série*, Universidade Federal de Goiás, 2008

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

NASCIMENTO, F; SCIFONI, S. **Paisagem cultural:** Trabalho e cotidiano da imigração japonesa no Vale do Ribeira/São Paulo. Identidades: território, cultura, patrimônio, n. 6, 2016. Disponível em: https://raco.cat/index.php/Identidades/article/view/317661. Acesso em: 30 out. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE REGISTRO. **Dados Geográficos**. Disponível em: https://registro.sp.gov.br/sobre-registro/dados-geograficos/. Acesso em: 5 jun. 2025.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information.** 2023.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium, NASA SP-351, v. 1, p. 309–317, 1974.

SANTOS, A, B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.

SILVEIRA, H.; EBERHARDT, I.; SANCHES, I.; GALVÃO, L. Análise da cobertura de nuvens no nordeste do Brasil e seus impactos no sensoriamento remoto agrícola operacional. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, XVIII, Santos, 2017. Anais, p. 400–407.

UNITED STATES. Departament of Agriculture – USDA. **World Agricultural Production**. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, 2023. Disponível em: https://www.ers.usda.gov/webdocs/outlooks/107164/rcs-23g.pdf?v=5371.1. Acesso em: 8 out. 2024.

WEATHER SPARK. Dados climáticos de Registro, SP. 2025. Disponível em: https://pt.weatherspark.com/y. Acesso em: 23 jun. 2025.