

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**QUALIDADE DA SEMEADURA E O DESENVOLVIMENTO
DA CULTURA DA SOJA**

**LUCAS ENRIQUE VILLA ALTA GALEANO
MARIANA GAGLIOTTI SEGATEL**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2025**

QUALIDADE DA SEMEADURA E O DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA

Lucas Enrique Villa Alta Galeano

Mariana Gagliotti Segatel

Orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G151q Galeano, Lucas Enrique Villa Alta
Qualidade da Semeadura e o Desenvolvimento da Cultura da Soja [recurso eletrônico] / Lucas Enrique Villa Alta Galeano, Mariana Gagliotti Segatel. -- 2025.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Jorge Wilson Cortez.
TCC (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. índice de vegetação. 2. geotecnologia. 3. monitoramento agrícola. I. Segatel, Mariana Gagliotti. II. Cortez, Jorge Wilson. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

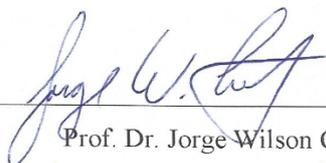
**QUALIDADE DA SEMEADURA E O DESENVOLVIMENTO DA
CULTURA DA SOJA**

Lucas Enrique Villa Alta Galeano

Mariana Gagliotti Segatel

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para obtenção
do grau de Bacharel em ENGENHARIA AGRONÔMICA

Aprovado em 13/06/2025.



Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Orientador – UFGD/FCA



Profa. Dra. Anamari Viegas de Araújo Motomiya

UFGD/FCA



M. Sc. Lourenço Quintão Scalon

UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Começamos agradecendo à parceria e companheirismo um do outro enquanto dupla para a realização deste trabalho que é um marco tão importante de nossas vidas. Ter alguém com quem contar e dividir cada etapa e desafio desta experiência é essencial e torna o caminho turbulento muito mais calmo.

Agradecemos imensamente às nossas famílias, pilares fundamentais em toda nossa trajetória, por todo o apoio, incentivo e amor incondicional. Por tudo o que sempre fizeram por nossa educação, por acreditarem em nosso potencial mesmo diante das maiores provações e por nunca deixarem de nos impulsionar a seguir em frente.

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez, por toda a paciência durante este processo desafiador, por não desistir de nós nos momentos de dificuldade e por corrigir nossos erros com muita sabedoria e gentileza. Por todo o conhecimento passado e por ter feito parte desta caminhada, nós o agradecemos e o guardaremos na memória com carinho e admiração.

À Universidade Federal da Grande Dourados agradecemos pelo suporte, pela base sólida que se construiu, pouco a pouco, durante estes anos e por ser esta referência em educação e formação de profissionais que conhecemos.

Agradecemos, também, a todos os profissionais da educação que cruzaram nossos caminhos até aqui, cada um fez história em nossas vidas à sua própria maneira e marcou um pedaço de nossas vidas. Após tantos anos de sala de aula e de tantos alunos que já viram entrar e sair da universidade, é impossível que eles se lembrem de todos, mas nós – com certeza – nos lembraremos de cada um deles.

Por fim, mas em primeiro grau de importância, agradecemos e honramos a Deus por este momento. Foi com a força e sustentação Dele que chegamos até aqui, que nos mantivemos em momentos de adversidade e nos levantamos depois de cada tropeço. A caminhada não foi fácil, mas Ele nos acompanhou e segue acompanhando em todos os dias de nossas vidas.

GALEANO, L.E.V.A.; SEGATEL, M.G. **Qualidade da sementeira e o desenvolvimento da cultura da soja**. 2025. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2025.

RESUMO

A soja é uma das principais *commodities* agrícolas da América do Sul e desempenha um papel fundamental na economia regional. Este estudo inclui uma análise dos aspectos econômicos relacionados à soja e uma revisão das técnicas de sementeira e monitoramento agrícola. O trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da sementeira e o desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max*) na safra 2024/2025, em uma área localizada no município de Pedro Juan Caballero, Paraguai. O estudo foi conduzido em uma área de 74,18 ha, onde foram coletados dados sobre estande de plantas e distribuição longitudinal utilizando uma grade amostral regular. Além disso, foram calculados os índices de vegetação NDVI, NDRE e EVI com imagens obtidas do satélite do Sentinel-2A ao longo do ciclo da cultura. Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, geoestatística e análise de correlação. A cultura da soja teve um desenvolvimento normal e uniforme na área, com crescimento vegetativo intenso. O estande foi adequado, no entanto, a distribuição longitudinal mostra que pouco mais da metade dos espaçamentos são adequados, devido aos altos valores de falhos e duplos. Os índices NDVI e EVI foram os mais eficazes para monitorar a evolução da biomassa do dossel. O NDRE manteve valores baixos durante todo o ciclo da cultura, mostrando sua eficiência para detectar variações em final de ciclo.

Palavras-chave: índice de vegetação, geotecnologia, monitoramento agrícola.

GALEANO, L.E.V.A.; SEGATEL, M.G. **Sowing quality and soybean crop development.** 2025. 35 f. Course Completion Work (Bachelor's Degree in Agronomic Engineering) – Faculty of Agrarian Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, 2025.

ABSTRACT

Soybean is one of the main agricultural commodities in South America and plays a fundamental role in the regional economy. This study includes an analysis of the economic aspects related to soybean and a review of sowing and agricultural monitoring techniques. The aim of this study was to evaluate the sowing quality and development of the soybean crop (*Glycine max*) in the 2024/2025 harvest, in an area located in the municipality of Pedro Juan Caballero, Paraguay. The study was conducted in an area of 74.18 ha, where data on plant stand and longitudinal distribution were collected using a regular sampling grid. In addition, the vegetation indices NDVI, NDRE and EVI were calculated with images obtained from the Sentinel-2A satellite throughout the crop cycle. The data were analyzed using descriptive statistics, geostatistics and correlation analysis. The soybean crop had a normal and uniform development in the area, with intense vegetative growth. The stand was adequate, however, the longitudinal distribution shows that just over half of the spacings are adequate, due to the high values of gaps and doubles. The NDVI and EVI indices were the most effective for monitoring the evolution of canopy biomass. The NDRE maintained low values throughout the crop cycle, ideal for detecting variations at the end of the cycle.

Keywords: vegetation index, geotechnology, agricultural monitoring.

SUMÁRIO

RESUMO -----	V
ABSTRACT -----	VI
1 INTRODUÇÃO-----	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-----	6
2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CULTURA DA SOJA -----	6
2.2 QUALIDADE DE SEMEADURA -----	10
2.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO-----	11
3 MATERIAL E MÉTODOS -----	14
3.1 LOCAL DA ÁREA DE ESTUDO -----	14
3.2 ESQUEMA AMSTRAL -----	16
3.3 ESTANDE DE PLANTAS -----	16
3.4 DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL-----	16
3.5 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO-----	17
3.6 ANÁLISE DOS DADOS -----	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	19
4.1 ESTANDE E DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL -----	19
4.2 INDICES DE VEGETAÇÃO -----	24
4.3 CORRELAÇÃO -----	28
5 CONCLUSÕES -----	30
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	31

1 INTRODUÇÃO

A soja se consolidou como uma das culturas mais importantes do agronegócio sul-americano, ocupando papel central na economia de países como o Brasil e o Paraguai. Além de representar uma importante fonte de proteína e óleo vegetal, seu cultivo é essencial para o equilíbrio econômico de diversas regiões produtoras, sendo uma atividade que movimenta cadeias produtivas, empregos e investimentos.

Para que esse cultivo alcance todo o seu potencial, é fundamental que cada etapa do ciclo produtivo seja conduzida com atenção, principalmente a fase de implantação da lavoura. Nesse sentido, a qualidade da semeadura é determinante para garantir um bom estande de plantas, uma distribuição uniforme ao longo das linhas e, conseqüentemente, o sucesso da lavoura. Pequenas falhas nesse processo, como a ocorrência de espaçamentos falhos ou duplos, podem impactar diretamente o desenvolvimento das plantas e refletir negativamente na produtividade final.

Ao longo dos últimos anos, o avanço das tecnologias aplicadas ao campo tem permitido acompanhar o desenvolvimento da lavoura de maneira cada vez mais precisa. Com o uso de imagens de satélite e ferramentas de sensoriamento remoto, é possível monitorar a cultura desde os estádios iniciais até a fase de maturação, observando o vigor vegetativo por meio de índices como o NDVI, NDRE e EVI. Esses índices fornecem informações relevantes sobre a saúde das plantas e auxiliam na identificação de áreas com possíveis limitações.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da semeadura e o desenvolvimento da cultura da soja na safra 2024/2025, em uma propriedade localizada no município de Pedro Juan Caballero, Paraguai. Para isso, foram analisados o estande de plantas, a distribuição longitudinal e os índices espectrais obtidos por imagens do satélite Sentinel-2A ao longo do ciclo da cultura, com o intuito de compreender como esses fatores se relacionam e influenciam o desempenho da lavoura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CULTURA DA SOJA

Há registros de que a introdução da soja no Paraguai ocorreu na década de 1920, mais precisamente em 1921, conforme relato de De Bosio (2014) *apud* Ciancio (1974) : “*El cultivo de la soja en el Paraguay comenzó en 1921, el año en el que yo introduje la planta al país*”¹.

¹ Em português: “O cultivo da soja no Paraguai começou em 1921, o ano em que eu introduzi a planta no país”.

No entanto, de acordo com reportagem do Instituto de Biotecnologia Agrícola – INBIO (2021), o cultivo da soja só passou a ser valorizado cerca de vinte anos depois, quando o então presidente José Félix Estigarribia determinou sua inclusão na alimentação do exército, momento em que o governo passou a estabelecer um preço de referência para o grão, destacando sua relevância econômica.

A *Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas* – CAPECO (2025) realizou um levantamento sobre a evolução da área plantada, produção e produtividade da soja a partir da safra 1996/1997, quando a área cultivada era de 1.050.000 hectares. Já na safra 2023/2024, essa área atingiu 3.650.000 hectares, representando um crescimento de 247,62%. Quanto à produção, o volume passou de 2.771.000 toneladas em 1996/1997 para 11.074.900 toneladas em 2023/2024, um aumento de 299,64%. Em relação à produtividade, o rendimento médio foi de 2.639 kg/ha na safra 1996/1997 e subiu para 3.034 kg/ha em 2023/2024, crescimento de 14,97%. Segundo Assunção (2020), O Paraguai pode ser considerado um país de base agrícola, visto que de 20% a 30% de seu PIB é proveniente da agricultura.

De acordo com Wesz Junior (2017), o expressivo avanço da soja no Paraguai posicionou o País como o sexto maior produtor mundial e o quarto maior exportador do grão, que se consolidou como a principal atividade agropecuária nacional, representando mais de 70% da área cultivada e 40% das exportações totais em 2014. O autor ressalta ainda que, em 2008, a produção de soja estava concentrada em menos de 3% dos produtores rurais, responsáveis por metade da área cultivada e da produção, sendo a maioria desses produtores de origem estrangeira.

Entre 1971 e 1979, o Paraguai apresentou um crescimento contínuo na área destinada ao cultivo de soja, impulsionado pela política de incentivo promovida pelo governo paraguaio por meio do Programa Nacional de Soja, criado em 1972 durante a gestão de Stroessner (Klauck, 2011).

O Paraguai iniciou suas exportações de soja em 1989, com crescimento contínuo entre os anos de 1990 e 2000. Em 2011, o país atingiu seu maior volume exportado até então, com cerca de 5 138 364 toneladas. No ano seguinte, as exportações diminuíram, porém, em 2013, a produção se recuperou e voltou a crescer. Os principais destinos da soja paraguaia são a União Europeia (39% do total), a Rússia (17%) e o México (10%) (CAPECO, 2014).

A partir dos anos 2000, o Paraguai passou a investir no aprimoramento técnico de sua produção agrícola, incorporando novas tecnologias e promovendo melhorias no processo produtivo. Além disso, flexibilizou as leis relacionadas à aquisição de terras por estrangeiros.

Houve ainda investimentos em infraestrutura para reduzir o intervalo entre a colheita e a comercialização, bem como na adoção de cultivares mais adequadas às condições de solo, clima e relevo do país (Assunção, 2020).

Conforme informações do *Ministerio de Agricultura y Ganadería* – MAG, a safra 2016/17, considerada recorde em produção, permitiu a capitalização dos produtores, resultando em um aumento de 150 mil hectares na safra seguinte (2017/18). O MAG ressalta que aproximadamente 90% dos produtores de soja no Paraguai são brasileiros, que buscam alternativas aos encargos e à carga tributária aplicados à produção no Mato Grosso do Sul.

Em estudo conduzido por Assunção (2020) é observado que, em relação ao Brasil, o Paraguai apresenta maior eficiência e competitividade ao alcançar menores custos de produção e promover a preservação dos recursos naturais. Por meio da Lei Sianagua, produtores rurais que implementam projetos de recuperação ambiental ou práticas conservacionistas recebem um incentivo de até U\$ 0,70 por saca de soja produzida, funcionando como um subsídio governamental voltado às políticas públicas das cadeias produtivas.

A região oriental do Paraguai, que faz fronteira com o Brasil e a Argentina, é o principal polo de produção de soja do país. As áreas com maior produção são justamente aquelas onde houve a chegada de estrangeiros, impulsionada por políticas de incentivo adotadas pelo governo da época (CAPECO, 2016).

De acordo com a CAPECO (2018), o departamento de Amambay, onde foi realizado o estudo, possui aproximadamente 169 mil hectares de área cultivada com soja, apresentando alto grau de mecanização em todas as fases, desde o preparo do solo até a colheita.

Conforme informações da CONAB (2018) citadas por Hirakuri et al. (2019), a soja destaca-se como o principal grão cultivado no Brasil e representa a principal atividade do agronegócio no país, com 61,7 milhões de hectares cultivados na safra 2017/18, considerando também outros grãos que compõem essa produção. No ano de 2017, o agronegócio brasileiro alcançou um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 1,450 trilhões (CEPEA, 2018 *apud* Hirakuri et al., 2019), o que correspondeu a mais de 22% do PIB nacional, segundo dados do IBGE apresentados pelos autores, reforçando o papel da soja como vetor de desenvolvimento, impulsionado por sua expressiva expansão territorial.

Entre a década de 1970 e o ano de 2011, a cultura da soja apresentou um aumento significativo em sua área plantada, produção e produtividade, com elevações aproximadas de 1.762%, 4.907% e 271%, respectivamente (Dall’Agnol, 2011), configurando-se como a lavoura de maior crescimento entre as principais culturas agrícolas do Brasil.

O Brasil ocupa a segunda posição mundial em área cultivada de soja, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, mas tende a superá-lo em cenários de clima favorável, podendo se tornar o maior produtor global. Hirakuri et al. (2019) destacam a ampla comercialização e distribuição da soja, tanto no mercado interno quanto externo, favorecida pela consolidação dos mercados de seus derivados, como óleo e farelo, no país. Além disso, o Brasil é o principal exportador mundial de soja em grão e utiliza parte significativa da produção no abastecimento da cadeia de carnes, evidenciando a expressiva presença da cultura no território nacional.

De acordo com o boletim da safra de grãos da CONAB (2025), a safra 2024/25 está se consolidando como a maior já registrada na história do Brasil. Observa-se um crescimento na área destinada ao cultivo de soja, totalizando 47.612,7 mil hectares (+3,2%), além de um aumento na produtividade, que atingiu 3.536 kg/ha (+10,5%), resultando em uma produção total de 168.341,8 mil toneladas (+14%).

A introdução da soja em Mato Grosso do Sul ocorreu na década de 1970, impulsionada por agricultores sulistas pioneiros, que se beneficiaram de programas governamentais e incentivos públicos, dando início ao processo de agroindustrialização da região, então pertencente ao antigo Sul de Mato Grosso (Faccin, 2017). Conforme estudo da Famasul (2021), a área cultivada no Estado aumentou de 494 mil hectares na safra 1977/78 para 3,5 milhões de hectares em 2020/21, representando um crescimento de 614,3%. No mesmo intervalo, a produção saltou de 472 mil para 13,3 milhões de toneladas, um avanço de 2.719%.

Segundo dados do Censo Agro do IBGE (2017), os 11 municípios de Mato Grosso do Sul que mais se destacam na geração do valor total da produção de soja são: Maracaju, Ponta Porã, Sidrolândia, Dourados, São Gabriel do Oeste, Aral Moreira, Laguna Carapã, Rio Brillante, Chapadão do Sul e Naviraí. Juntos, esses dez municípios somaram um valor total de R\$ 4,5 bilhões, o que corresponde a 58% do valor gerado pela produção da soja em todo o Estado (Jeronimo, 2021).

Segundo o Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos realizado na safra 2024/25 pela CONAB (2025), a estimativa no mês de maio de área plantada no estado do Mato Grosso do Sul na safra 24/25 é de 4.253,4 mil hectares (aumento de 3,1%), a produtividade deve atingir 3.180 kg/ha (aumento de 12,6%) e produção total de 13.525,8 mil toneladas (aumento de 6,1%). Apesar do aumento em produção, houve problemas de estresse hídrico e cenários de temperaturas extremas relatados em regiões do estado que impactaram diretamente o peso e volume de grãos, reduzindo assim a produção final.

2.2 QUALIDADE DE SEMEADURA

Devido à sua importância para o estabelecimento da cultura, a semeadura ocupa um grande espaço dentro das operações realizadas no ciclo produtivo e é preciso sempre se atentar ao grau de qualidade e precisão com que será realizada. A qualidade deste processo está diretamente ligada à escolha da semeadora, tipo de mecanismo dosador utilizado e distribuição longitudinal das sementes.

Segundo Damasceno (2017), o desempenho operacional dos conjuntos mecanizados tem despertado crescente atenção, especialmente diante da redução do intervalo disponível para a realização da semeadura nas últimas safras. Nesse contexto, a velocidade de operação surge como um fator estratégico para otimizar o tempo de trabalho. No entanto, é fundamental que esse aspecto seja analisado com cautela, uma vez que elevações excessivas na velocidade podem comprometer tanto a qualidade quanto a eficiência do processo de semeadura. Ainda, pode-se afirmar que o desempenho da semeadora-adubadora utilizada na implantação da lavoura em sistema de plantio direto é determinante para o sucesso dessa etapa, sendo responsável por aspectos cruciais da operação de estabelecimento da cultura (Jasper et al, 2011).

Quando se fala em plantio direto, Casão Junior e Siqueira (2000) dizem que as semeadoras podem ser classificadas em dois tipos principais, de acordo com o sistema de distribuição das sementes: semeadoras de precisão e semeadoras de fluxo contínuo. As semeadoras de precisão realizam a deposição das sementes no sulco de forma uniforme, mantendo espaçamentos regulares entre elas. Esse tipo de equipamento conta com dosadores e componentes que entram em contato com o solo, o que geralmente limita o espaçamento mínimo a cerca de 40 cm. Por outro lado, as semeadoras de fluxo contínuo distribuem um volume maior de sementes no sulco, com menor espaçamento entre elas e menor controle sobre a uniformidade, sendo mais indicadas para culturas com sementes de pequeno porte.

Cada tipo de semeadora conta com um sistema dosador de sementes, cuja função é conduzir as sementes do reservatório até o solo, respeitando a densidade de semeadura previamente estabelecida. Os dosadores mecânicos utilizam discos alveolados dispostos horizontalmente na base do reservatório para captar as sementes e, por meio da ação da gravidade, realizam sua deposição no sulco. Já os dosadores pneumáticos operam com discos verticais perfurados, nos quais as sementes são aderidas por meio da sucção de ar gerada por turbinas, garantindo sua condução até o local de semeadura (Damasceno, 2017). Segundo Alonço et al. (2014) *apud* Damasceno (2017), os dosadores pneumáticos apresentam um melhor desempenho na distribuição de sementes e, também, quanto à produtividade da lavoura.

A velocidade de operação é um fator crucial para assegurar uma semeadura eficiente. Segundo o trabalho realizado por Correia et al. (2020) utilizando dois tipos de dosadores mecânicos, sendo um de disco horizontal convencional e o outro um dosador Titanium, o número de falhas na distribuição de sementes aumentou à medida em que os dosadores foram submetidos a maiores velocidades de semeadura. O experimento demonstrou que velocidades superiores a $4,5 \text{ km h}^{-1}$ na semeadura são responsáveis pelo aumento no índice de espaçamentos duplos e falhos, bem como a redução da precisão dos dosadores de disco horizontal utilizados.

De acordo com Carpes et al. (2017), a obtenção de um estande adequado de plantas é fundamental para alcançar produtividade satisfatória na lavoura, sendo a distribuição longitudinal correta das sementes no solo um fator determinante nesse processo. Nesse contexto, o aumento da velocidade de semeadura tende a comprometer a uniformidade do estande, pois eleva a densidade de sementes depositadas, o que resulta em maior ocorrência de espaçamentos duplos e falhas. Os autores explicam que esse fenômeno está relacionado ao aumento simultâneo da velocidade periférica dos componentes do dosador e da velocidade de deslocamento da máquina, o que intensifica o deslocamento horizontal das sementes dentro do tubo condutor. Esse movimento causa impactos (ou rebotes) das sementes no interior do tubo, reduzindo o tempo disponível para que elas atinjam o solo de forma adequada. Esse efeito torna-se ainda mais significativo em culturas como a soja, que exigem maior densidade de semeadura.

Em estudo voltado à análise da influência da velocidade de semeadura na cultura da soja, Jasper et al. (2011) compararam os desempenhos de dois tipos de sistemas dosadores: o pneumático e o de disco alveolado horizontal. Os resultados indicaram um aumento significativo na ocorrência de espaçamentos múltiplos em ambos os sistemas com o incremento da velocidade. No entanto, o sistema pneumático apresentou maior eficiência na distribuição longitudinal das sementes, mesmo sob maiores velocidades de operação. Além disso, os autores ressaltam que, para ambos os sistemas avaliados, não foram observadas alterações expressivas nos componentes de rendimento da lavoura quando a velocidade foi elevada até 12 km h^{-1} .

2.3 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Sampaio et al. (2021) apontam o desafio de se alcançar uma produção agrícola sustentável, evidenciando a importância do uso de novas tecnologias que possibilitem uma tomada de decisão rápida e assertiva. Nesse cenário, a Agricultura de Precisão (AP) surge como uma ferramenta de manejo relevante, direcionada às reais e específicas necessidades da lavoura, permitindo a aplicação proporcional e consciente de agroquímicos em cada fase do desenvolvimento da cultura.

Formaggio e Sanches (2017) definem o Sensoriamento Remoto como: “[...] conjuntos compostos de plataformas e sensores e que captam a radiação eletromagnética (REM) emitida e/ou refletida pelos objetos da superfície terrestre.”. Essa técnica é amplamente utilizada na Agricultura de Precisão (AP), com a finalidade de obter imagens por meio de sensores instalados em satélites ou em Sistemas de Aeronave Remotamente Pilotada (RPAS). Empregada no monitoramento de áreas cultivadas, essa ferramenta permite a identificação de diversos parâmetros relacionados ao desenvolvimento fenológico das culturas, por meio de imagens geradas em diferentes comprimentos de onda, sendo de grande interesse para a detecção de alterações nas plantas que, por vezes, não são facilmente perceptíveis (Tsouros et al., 2019).

Conforme Santos et al. (2022), as técnicas de Sensoriamento Remoto possuem grande relevância na identificação da variabilidade espacial. Outros métodos utilizados para obter informações da lavoura em relação ao ambiente, por meio de imagens, incluem o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Vegetação Aprimorada (EVI) e a Diferença Normalizada na Banda de Borda Vermelha (NDRE).

Os Índices de Vegetação (IVs), como o EVI e o NDVI, são ferramentas de grande importância para a caracterização do vigor de uma lavoura em determinado período. Esses índices dependem de dados espectrais obtidos por sensores remotos, especialmente nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, possibilitando a avaliação da cobertura de uma área com base em parâmetros como a área fotossintética das plantas, a fitomassa e a cobertura do solo. Para o sensoriamento das regiões espectrais do visível e do infravermelho, realizam-se medições remotas da radiação eletromagnética refletida pelos elementos (alvos) presentes na superfície terrestre, sendo que cada alvo apresenta um comportamento espectral distinto. Assim, torna-se essencial conhecer adequadamente as respostas espectrais, os objetos de interesse e os fatores que podem influenciar o comportamento espectral de cada elemento (Formaggio e Sanches, 2017). Os autores também apontam fatores que devem ser considerados na interpretação visual das imagens, como a composição colorida baseada na reflectância dos elementos, o formato dos alvos (regulares ou irregulares), a presença de sombras, a localização geográfica e as características da região analisada, a fim de possibilitar uma melhor familiarização com a imagem a ser interpretada.

Em estudo realizado por Santos et al. (2022) sobre os índices vegetativos NDRE, NDVI e EVI aplicados ao potencial produtivo da cultura da soja, concluiu-se que, no estágio R1, os índices NDRE e NDVI apresentaram o melhor ajuste linear aos mapas de potencial produtivo. Por outro lado, Schaparini et al. (2019) evidenciaram que o EVI, em conjunto com

o NDVI, pode ser utilizado como um indicador eficiente ao longo da safra para acompanhar o desenvolvimento da soja. Períodos de estresse hídrico, assim como outras características ambientais, podem ocasionar variações no perfil temporal dos IVs, que demonstram maior sensibilidade às alterações ambientais devido à utilização das bandas de luz visível (Tsouros et al. *apud* Sampaio et al. 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado em uma fazenda comercial, localizada no município Pedro Juan Caballero, Paraguai. O local situa-se nas coordenadas médias de latitude de -22.634305S, longitude de -55.697341W, com altitude média de 593,28 m e declividade média de 9,80%.

A área estudada possui 74,18 ha, cultivados predominantemente com soja, em sistema de semeadura direta na palha e cultivo em regime de sequeiro (Figura 1).

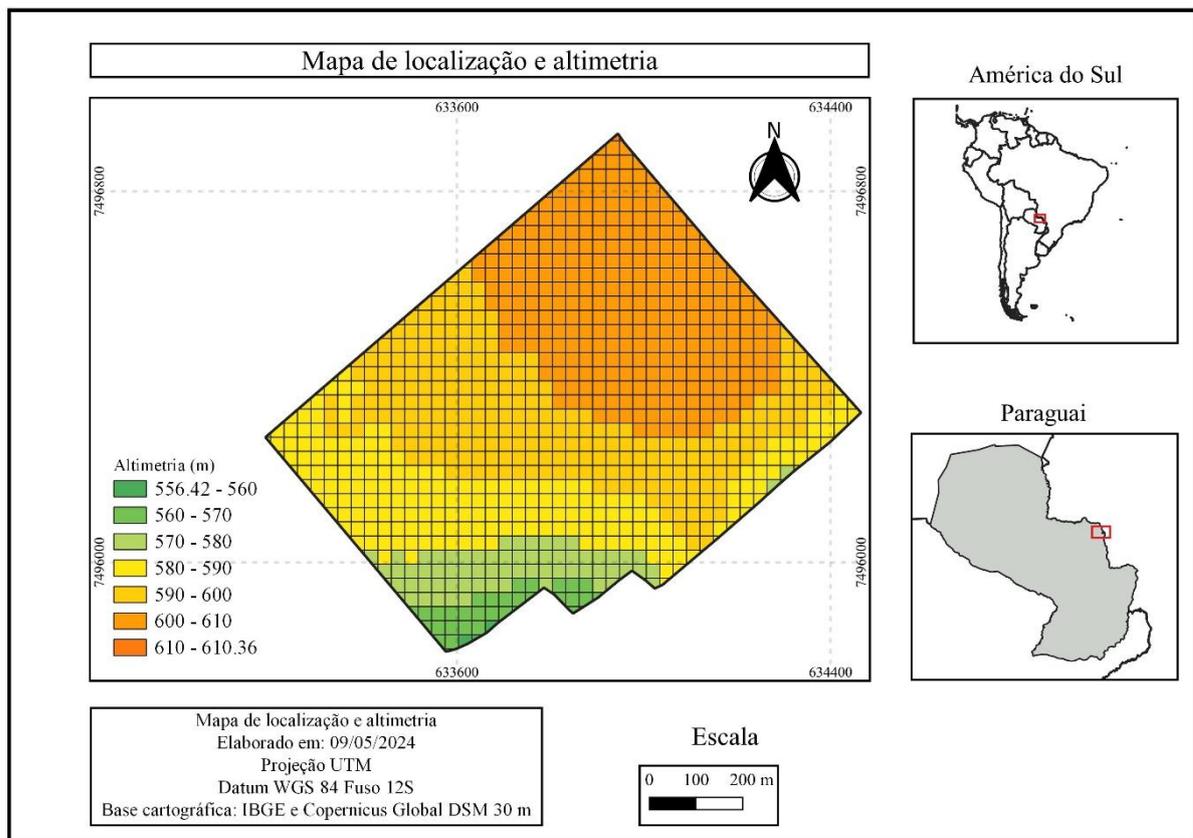


Figura 1. Localização da área de estudo e altimetria.

A cultura da soja foi implantada em 24 de outubro de 2024, utilizando a variedade M 6410 IPRO, com densidade de semeadura de 12 sementes por metro. Foi utilizado o conjunto trator semeadora, o trator da marca John Deere modelo 6135 J ano 2020 com 135 cv e a semeadora de precisão da marca Valtra da linha HiTech, modelo BP 1307 L de 13 linhas, onde a distribuição de sementes é feito por um disco alveolado que gira na horizontal e separa as sementes uma a uma. O acompanhamento da cultura foi realizado desde a semeadura até a colheita. Durante o ciclo da cultura o regime pluviométrico encontra-se apresentado na Figura 2.

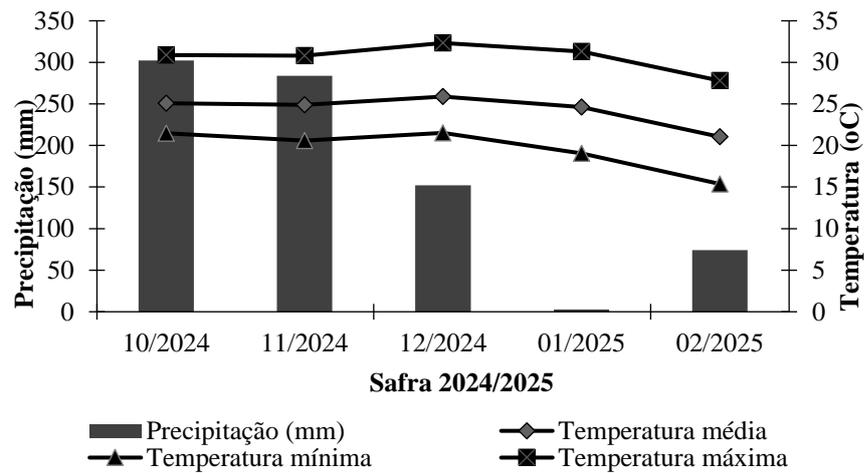


Figura 2. Precipitação mensal acumulada em Ponta Porã (out./2024 – fev./2025). Fonte: INMET (2025).

Na Figura 3, por meio do fluxograma do trabalho, pode-se compreender de maneira esquemática como foram as etapas e processos para a execução do trabalho. O fluxograma foi desenvolvido com auxílio da ferramenta de inteligência artificial ChatGPT 4.5 (OpenAI, 2025).

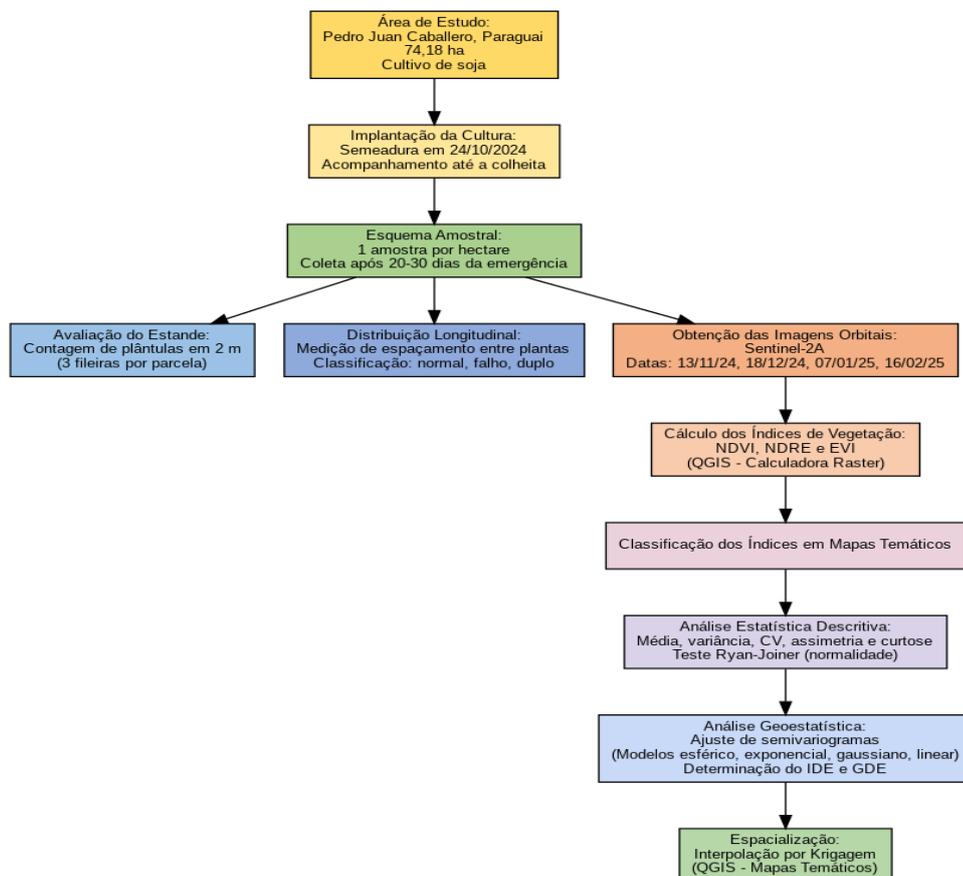


Figura 3. Fluxograma do trabalho. Fonte: OpenAI (2025)

3.2 ESQUEMA AMOSTRAL

A grade amostral utilizada para a coleta dos dados relacionados à distribuição das plantas foi de uma amostra por hectare (Figura 4). A coleta dos dados sobre estande e distribuição longitudinal das plantas ocorreu 15 de novembro de 2024, aproximadamente 20 dias após a emergência da cultura.

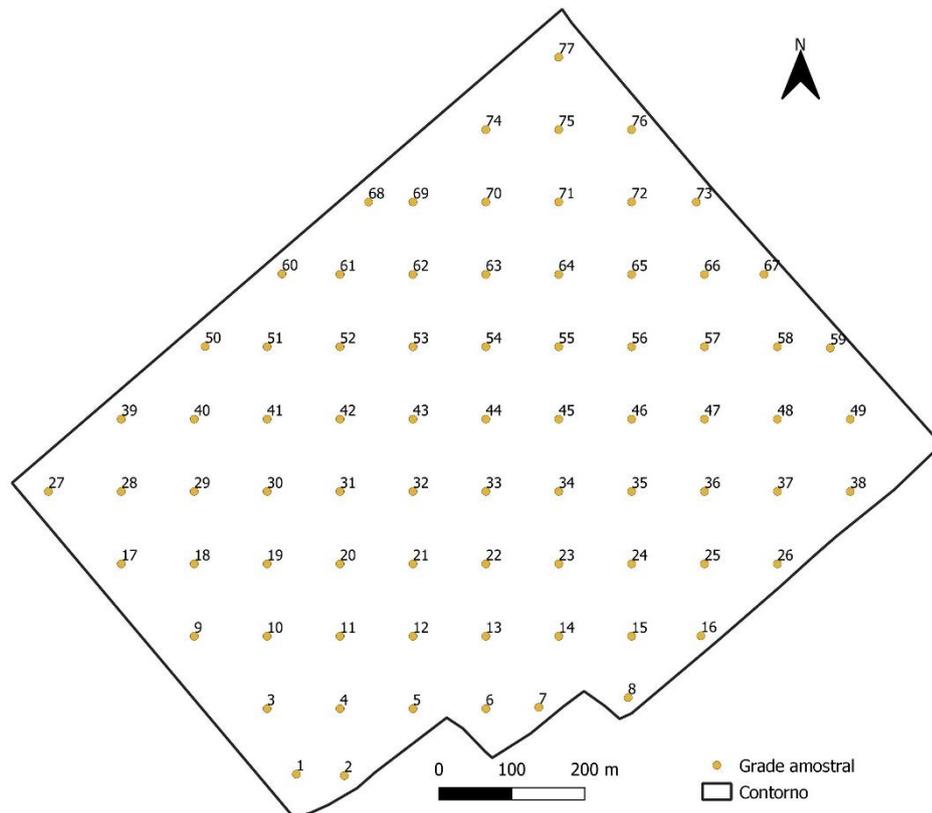


Figura 4. Grade amostral.

3.3 ESTANDE DE PLANTAS

Para determinar o estande de plantas, foi utilizado uma trena para contar o número de plântulas emergidas em dois metros consecutivos em duas fileiras por parcela.

3.4 DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL

Para avaliar a distribuição longitudinal ou uniformidade de espaçamentos entre plântulas, utilizou-se uma trena para medir a distância entre plantas ao longo de dois metros consecutivos na linha de semeadura em cada ponto amostral.

Os espaçamentos foram classificados em porcentagens como normais, falhos ou duplos, conforme estabelecido pela ABNT (1996) e Kurachi et al. (1989), sendo:

- “normais” (N): $0,5 < X_{ref} < 1,5$,
- “duplos” (D): $< 0,5$ vez o X_{ref} ., e
- “falhos” (F): $> 1,5$ o X_{ref} .,

Em que,

X_{ref} - espaçamento esperado.

3.5 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Imagens orbitais para determinação dos índices de vegetação (IV) foram obtidas gratuitamente através da plataforma Copernicus Browser, utilizando o sensor Sentinel-2A (Copernicus, 2025). Para cálculo dos IVs, foram utilizadas as bandas espectrais detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1. Componentes espectrais do sensor Sentinel-2A.

Resolução (m)	Banda	Nome da banda	Comprimento médio da onda (nm)
10	B2	Blue	490
	B4	Vermelho	665
	B8	Infravermelho Próximo	842
20	B5	Red Edge 1	705

As imagens utilizadas foram adquiridas nas seguintes datas: 13/11/2024, 18/12/2024, 07/01/2025 e 16/02/2025. Os cálculos dos índices de vegetação foram realizados com o auxílio do software QGIS (QGIS, 2024), utilizando a ferramenta Calculadora Raster. Foram calculados dois índices de vegetação: o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), e o Índice de Vegetação da Borda do Vermelho por Diferença Normalizada (NDRE) desenvolvido por Barnes et al. (2000), conforme Equações 1 e 2 respectivamente. E também foi utilizado o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) desenvolvido por Huete et al. (1997)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

$$NDRE = \frac{NIR - REDEGE}{NIR + REDEGE} \quad (2)$$

$$EVI = 2,5 * (NIR - RED) / ((NIR + 6,0 * RED - 7,5 * BLUE) + 1,0) \quad (3)$$

Espectros eletromagnéticos:

BLUE - azul

NIR - infravermelho próximo,

RED - vermelho,

REDEGE – borda do vermelho.

Por fim, os índices de vegetação foram classificados e apresentados em forma de mapas temáticos para melhor visualização dos resultados.

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

Inicialmente, os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, conforme descrito por Vieira et al. (2002), obtendo-se média, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo.

Para verificação da normalidade dos dados, utilizou-se o teste de Ryan-Joiner (W , $p < 0,05$). Dados com p -valor superior a 0,05 foram considerados de distribuição normal.

A dispersão relativa dos dados, indicada pelo coeficiente de variação (CV%), foi classificada conforme proposto por Pimentel-Gomes (2022): baixa (alta precisão) quando o CV é inferior a 10%, média (boa precisão) quando o CV está entre 10% e 20%, alta (baixa precisão) entre 20% e 30%, e muito alta (baixíssima precisão) acima de 30%.

A análise geoestatística foi realizada por meio do complemento *Smart-Map* (Pereira et al., 2022) no QGIS para a construção de semivariogramas experimentais (Vieira, 2000), e ajustados para os modelos teóricos (esférico, exponencial, gaussiano e linear). O ajuste dos modelos foi realizado por validação cruzada, com base no melhor coeficiente angular obtido. Foram determinados os seguintes parâmetros geoestatísticos: efeito pepita (C_0), contribuição (C_1), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a).

O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado por meio da equação: $IDE = [C_0 / (C_0 + C_1)] * 100$. Com base no IDE, o grau de dependência espacial (GDE) foi classificado conforme Cambardella et al. (1994) como:

- Forte dependência: $IDE \leq 25\%$
- Moderada dependência: IDE entre 25% e 75%
- Fraca dependência: $IDE > 75\%$

A espacialização dos dados foi realizada por interpolação por Krigagem no software QGIS (QGIS, 2024) para geração dos mapas temáticos correspondentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTANDE E DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL

Os dados descritivos do estande e distribuição longitudinal encontram-se apresentados na Tabela 2. O estande de plantas apresentou um coeficiente de variação (CV) classificado como médio, de acordo com os critérios de Pimentel-Gomes (2022), o que indica uma boa precisão dos dados. Em geral, quanto menor o CV, melhor é a uniformidade da distribuição de plantas na área, o que sugere uma lavoura mais homogênea. Resultado semelhante foi observado para a distribuição longitudinal do espaçamento normal, que apresentaram CV médio. Por outro lado, falhos e duplos apresentaram CV muito alto, o que era esperado, uma vez que não se espera continuidade espacial desses dois atributos. Quanto à normalidade dos dados, o teste de Ryan-Joiner indicou distribuição normal para todos os atributos, com exceção do espaçamento falho, o qual apresentou comportamento não-normal.

Tabela 2. Estatística descritiva do estande (plantas por metro) e distribuição longitudinal (%).

Parâmetros	Atributos			
	Estande	Normal	Falho	Duplo
Média	11,88	53,14	22,55	24,31
DP ¹	1,757	9,66	9,45	9,10
Mínimo	8,25	29,41	3,45	6,25
Máximo	16,75	72,75	58,82	47,72
CV ² (%)	14,79	18,18	41,91	37,45
RJ ³	>0,10	>0,10	<0,01	>0,10

DP¹: desvio padrão; CV²: coeficiente de variação. ³RJ: Ryan-Joiner, p-valor superior a 0,05 foram considerados de distribuição normal

Ao analisar os valores de estande para a cultura da soja, verifica-se que está dentro do que se tem utilizado pelos produtores na região. O espaçamento é considerado normal quando é acima de 60% para as semeadoras mecânicas e acima de 90% para as pneumáticas (Mialhe, 1960). Entretanto, neste estudo os valores para o espaçamento classificado como normal ficou abaixo de 60%, o que indica problemas na semeadura. Os problemas na semeadura resultaram em valores de espaçamentos falhos e duplos elevados, maior que >20%, o que indica regiões com falhas expressivas e sobreposição de sementes. Apesar da cultura da soja ter alta plasticidade, a presença de espaçamentos falhos e duplos, em quantidade excessiva, pode afetar negativamente a produtividade da lavoura.

Segundo Tourino et al. (2002), a ocorrência de falhas durante a semeadura provoca variações negativas, como estandes desuniformes e conseqüente ineficiência no aproveitamento de recursos essenciais pela planta, além de colaborar para o desenvolvimento de plantas

invasoras nas linhas. Apesar da elevada ocorrência de espaçamentos falhos, os testes realizados no estudo demonstraram estande de plantas normal para a lavoura. Outro parâmetro elevado que foi encontrado é a incidência de espaçamentos duplos, podendo este acúmulo de plantas provocar o desenvolvimento de plantas mais altas, menor ramificação, menor produção individual e com tendência ao acamamento.

Neste estudo a qualidade de semeadura foi um fator observado e utilizado como hipótese para a distribuição longitudinal não satisfatória das sementes, uma vez que a velocidade empregada foi desuniforme e não constante e os discos da semeadora não se encontravam em condições ideais, apresentando falhas no momento de lançar as sementes ao solo. Em estudo realizado por Naves et al. (2020), os autores apontam que uma velocidade elevada do conjunto trator-semeadora, levou a uma maior quantidade de espaçamentos falhos, reduziu os espaçamentos aceitáveis e o estande inicial das plantas.

A diminuição dos espaçamentos aceitáveis à medida em que se aumenta a velocidade, se dá pela dificuldade dos raspadores em soltar as sementes duplas fixadas nos alvéolos do disco, levando a espaçamentos múltiplos. Também pode ocorrer, nestes casos, a raspagem de sementes normais, levando a falhas na distribuição longitudinal delas no solo (Alonço et al., 2014). Ambos os cenários, de espaçamentos duplos e falhos, foram observados nos dados deste trabalho, o que pode corroborar a hipótese de uma velocidade de semeadura elevada e inadequada.

A análise geoestatística foi fundamental para identificar a variabilidade espacial dos atributos avaliados. O estande de plantas (Tabela 3 e Figura 5) apresentou dependência espacial forte, enquanto os espaçamentos falhos e duplos dependência moderada. O parâmetro alcance que indica a distância até a qual existe correlação espacial entre os pontos, pode ser utilizado como ferramenta para próximas amostragens. Para o estande, esse valor foi de 341,93 m, já no espaçamento falho apresentou o maior alcance dentre os atributos avaliados, o que pode indicar áreas com falhas contínuas nas linhas, provavelmente causadas por irregularidades no solo ou no sistema de semeadura.

Tabela 3. Estatística geoestatística do estande e distribuição longitudinal.

Atributo	Modelo	Semivariograma			Validação cruzada		Dependência Espacial	
		C_0^1	$C_0+C_1^2$	A^3	a^4	RMSE ⁵	IDE ⁶	GDE ⁷
Estande	Esférico	0,525	3,22	341,93	0,88	1,41	16,31	Forte
Normal	Esférico	57,80	99,28	209,73	0,71	9,29	58,22	Moderado
Falho	Esférico	26,33	92,83	379,83	0,91	7,81	28,36	Moderado
Duplo	Esférico	35,46	83,89	250,17	0,81	8,37	42,27	Moderado

¹C₀: efeito pepita; ²C₀+C₁: patamar; ³A: alcance (m); ⁴a: coeficiente angular; ⁵RMSE: raiz quadrada do erro médio; ⁶IDE: índice de dependência espacial; ⁷GDE: grau de dependência espacial.

Os dados do espaçamento normal, analisados por meio do semivariograma, indicam que o Índice de Dependência Espacial (IDE) está alto, parte da variabilidade é aleatória. Além disso, o alcance foi menor em comparação aos demais atributos, sugere alguma incerteza na avaliação da variabilidade do estande. Tais variações na área podem ser atribuídas a problemas no desempenho da semeadora durante a operação, ou falta de ajuste nos mecanismos de distribuição da semente.

Os dados do semivariograma mostram que há uma estruturação espacial dos dados, ou seja, os mapas são confiáveis (Tabela 3). A distribuição longitudinal dos espaçamentos normal, falho e duplo, indicam que parte da variabilidade é aleatória, devido a dependência moderada. Desse modo os dados sugerem o uso de técnicas de interpolação por Krigagem e geração dos mapas.

Outro ponto a considerar na avaliação geoestatística é a validação cruzada (Tabela 3 e Figura 5). Os dados da validação por meio do coeficiente angular (a), que se refere a inclinação da reta de regressão entre os valores preditos e observados, revelou que os atributos estande, falho e duplo apresentaram valores acima de 0,8, o que significa um ajuste excelente. Esses resultados indicam alta confiabilidade dos mapas obtidos por Krigagem. Por outro lado, o espaçamento normal obteve coeficiente angular de 0,71, abaixo do ideal, o que pode diminuir a precisão e subestimar valores mais elevados.

Os dados interpolados por Krigagem resultaram na distribuição espacial do estande de plantas (Figura 6). Observa-se que as regiões centrais e nordeste da área apresentaram os melhores valores de estandes, o que indica o melhor estabelecimento da cultura. Por outro lado, os menores estandes foram observados nas regiões sudoeste e norte da área de estudo.

É importante destacar que a região norte corresponde à porção mais elevada do terreno (Figura 1), enquanto a região sudoeste está entre as mais baixas. A altimetria pode estar associada aos menores estandes registrados, em função de fatores como drenagem deficiente, compactação do solo, maior exposição ao vento, estresse hídrico, dentre outras. Assim, a topografia parece exercer influência sobre o estande de plantas, reforçando a importância da análise espacial integrada para o manejo da variabilidade dentro da lavoura. Destaca-se na área de estudo, a questão de compactação do solo mais acentuada nas extremidades do talhão, nas regiões norte e sudoeste, além do controle ineficiente de plantas invasoras, que são observadas em pontos aleatórios ao longo do terreno.

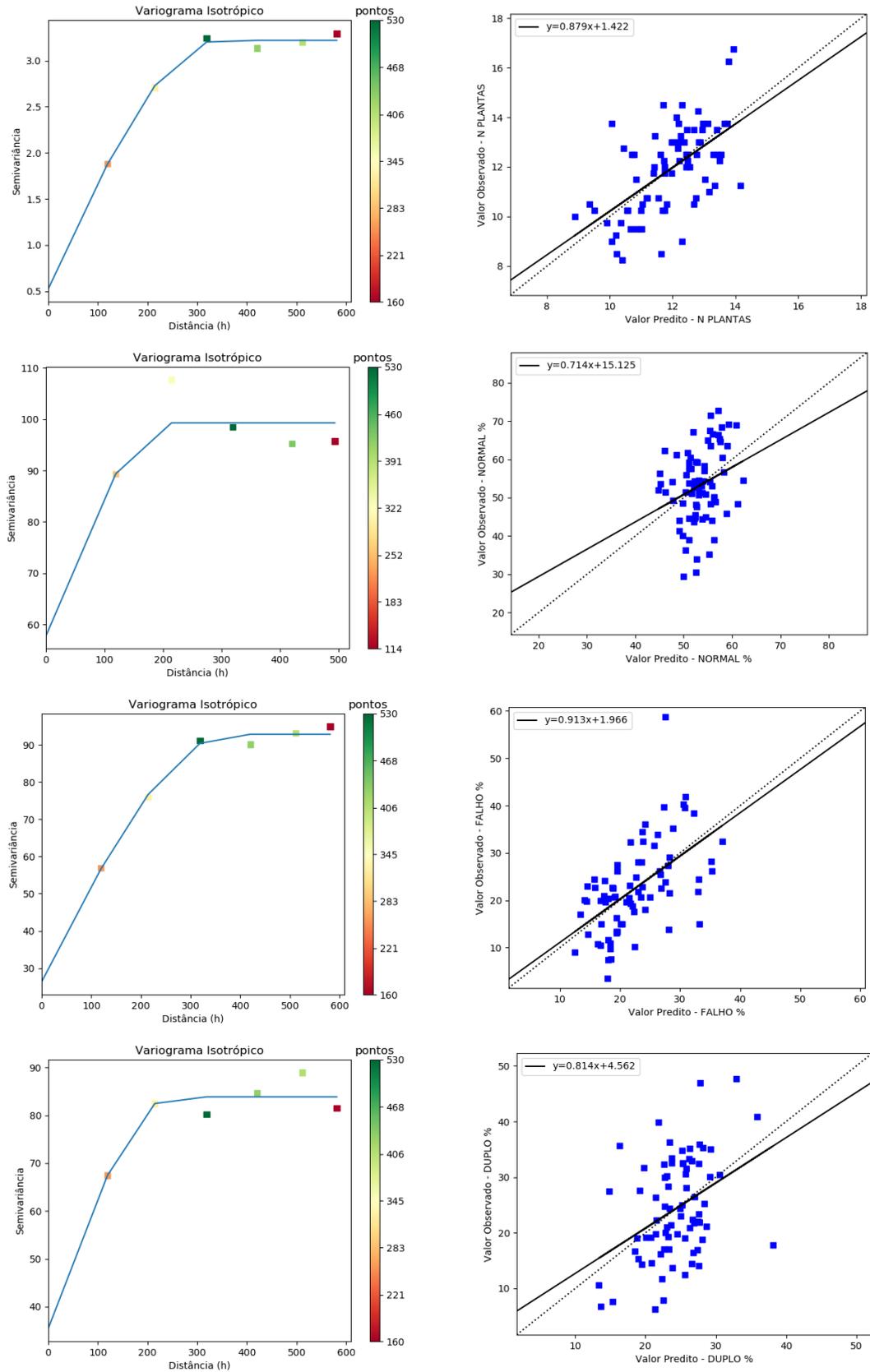


FIGURA 5. Semivariograma e validação cruzada do estande de plantas (N Plantas) e distribuição longitudinal (Normal, Falho e Duplo).

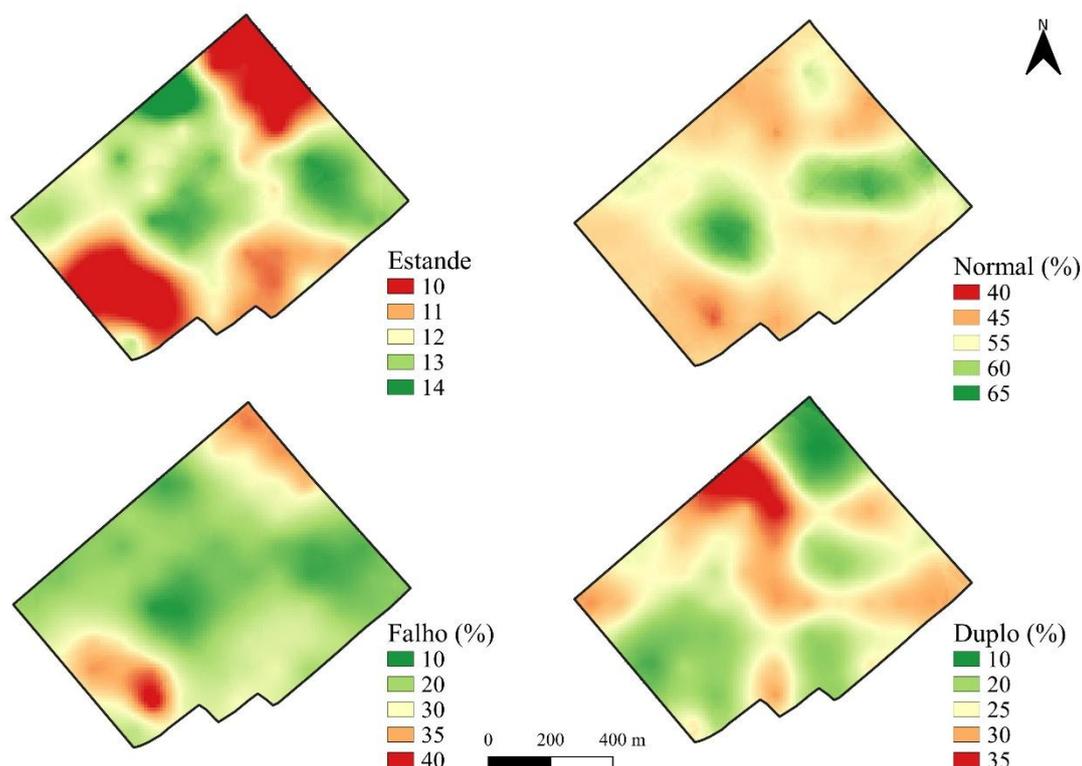


FIGURA 6. Espacialização do estande de plantas (N Plantas) e distribuição longitudinal (Normal, Falho e Duplo).

A distribuição espacial dos espaçamentos normais revelou que, na maior parte da área, os valores foram entre 55 e 60% (Figura 6), o que indica distribuição abaixo da adequada das plantas ao longo das linhas de semeadura. Algumas regiões localizadas a oeste e sudeste apresentaram baixa qualidade de distribuição, ou seja, valores inferiores ao desejável. Observa-se que essas regiões com menores porcentagens de espaçamentos normais coincidem com áreas que apresentaram maior concentração de espaçamentos falhos. Da mesma forma, que há um alinhamento espacial entre as áreas com maior quantidade de duplo e os maiores valores de estande.

Essas falhas na semeadura podem estar associadas a diversos fatores como: erros de calibração, velocidade de operação excessiva, lote de sementes desuniformes, seleção de disco inadequada, dentre outros fatores associados ao ambiente, como umidade do solo ou presença de resíduos vegetais. É importante ressaltar que, dentre estes fatores, os observados no presente estudo foram: velocidade de operação inadequada e não constante, seleção inadequada de disco na semeadora, erros de calibração do conjunto trator-semeadora e presença de plantas invasoras em alguns pontos da área de estudo.

4.2 INDICES DE VEGETAÇÃO

Os dados descritivos dos índices de vegetação encontram-se apresentados na Tabela 4. Na data de 13/11/2024 os valores observados dos índices de vegetação foram baixos, devido ao início do desenvolvimento da cultura. Nessa fase inicial, a cobertura do dossel ainda é reduzida, o que limita a resposta espectral da vegetação. Em relação à variabilidade, o coeficiente de variação (CV) foi classificado como alto para os índices NDRE e EVI, e médio para o NDVI, de acordo com os critérios estabelecidos por Pimentel-Gomes (2022). Esse comportamento está associado ao fato de que, nos estádios iniciais, os índices de vegetação ainda captam interferências do solo exposto e da palhada remanescente, o que contribui para o aumento da variabilidade nos dados espectrais.

Tabela 4. Estatística descritiva dos índices de vegetação.

Parâmetros	13/11/2024			18/12/2024		
	NDVI	NDRE	EVI	NDVI	NDRE	EVI
Média	0,38	0,17	0,23	0,84	0,48	0,73
DP ¹	0,074	0,042	0,055	0,052	0,062	0,092
Mínimo	0,19	0,07	0,09	0,46	0,16	0,028
Máximo	0,72	0,41	0,53	0,92	0,61	0,93
CV ² (%)	19,47	24,71	23,91	6,19	12,92	12,60
Parâmetros	07/01/2025			16/02/2025		
	NDVI	NDRE	EVI	NDVI	NDRE	EVI
Média	0,89	0,48	0,78	0,84	0,55	0,65
DP ¹	0,053	0,063	0,098	0,035	0,043	0,051
Mínimo	0,47	0,12	0,28	0,47	0,21	0,23
Máximo	0,94	0,60	0,97	0,89	0,63	0,77
CV ² (%)	5,96	13,13	12,56	4,17	7,82	7,85

Ao analisar os dados da segunda data de avaliação, em 18/12/2024, observa-se um aumento expressivo nos valores dos índices de vegetação, principalmente NDVI e EVI, o que indica fechamento do dossel da cultura da soja. O NDRE também aumentou o valor, embora em menor magnitude em comparação aos demais índices.

Com o avanço do desenvolvimento da cultura e o consequente aumento da cobertura vegetal, os valores de coeficientes de variação (CV) foram classificados como baixo para o NDVI, e médio para o NDRE e o EVI (Pimentel-Gomes, 2009). Essa redução na variabilidade dos índices está relacionada à maior homogeneidade espectral da área, à medida que o solo deixa de influenciar as leituras.

Na data de 07/01/2024, os índices atingiram o valor máximo observado, sendo a máxima expressão da biomassa da cultura. Os valores de CV mantiveram o mesmo comportamento observado em 18/12/2024, indicando que não houve grandes alterações na cobertura e variabilidade na área.

Na data de 16/02/2025, verifica-se uma redução nos índices, o que era esperado, devido ao fato da cultura estar em início de maturação fisiológica. Nessa fase, os valores de CV foram classificados como baixos para todos os índices (Pimentel-Gomes, 2022), evidenciando uma redução reflectância espectral.

De modo geral, O NDVI, foi o índice que apresentou os maiores valores absolutos ao longo do ciclo. No entanto, o EVI mostrou-se uma alternativa interessante ao NDVI, por ser menos suscetível ao efeito de saturação, especialmente em dosséis densos. Já o NDRE, embora tenha apresentado valores mais baixos, pode ser uma opção para avaliação do estado vegetativo da cultura em final de ciclo, por não aumentar seu valor de maneira significativa ao longo do ciclo.

Caron e Minuzzi. (2022) apontam em seu estudo que os valores de EVI e NDVI foram elevados à medida em que as plantas se desenvolveram e foram ganhando biomassa, este período foi seguido de uma estabilização nos valores e um posterior decréscimo no momento de maturação e senescência das plantas. Ambos os índices de vegetação EVI e NDVI podem ser eficientes indicadores de desenvolvimento da cultura sendo, no entanto, bastante suscetíveis a oscilações no perfil temporal quando em períodos de deficiência hídrica (Schaparini et al., 2019). Os autores também evidenciam que, em estágio reprodutivo das plantas, o NDVI tende a ter maior saturação que o EVI. Segundo Fontana et al. (2019), a saturação do NDVI para a soja ocorre com IAF acima de 5,0 (valor característico da fase reprodutiva da cultura), levando a correlações mais baixas durante este período.

A interpretação dos mapas temáticos do NDVI ao longo do tempo indica que em 13/11/2024 ocorre predominantemente valores entre 0,20 e 0,40, refletindo a baixa cobertura vegetal, o que era esperado no início do ciclo da soja. Mas, em 18/12/2024 ocorre aumento significativo da vegetação, com predominância de valores maior que 0,80, o que indica dossel fechado. Em 07/01/2025 e 16/02/2025 os valores de NDVI se mantiveram acima de 0,80, o que reflete um dossel vegetal fechado e que o índice chegou no ponto de saturação. Observa-se que em 18/12/2024 o NDVI já tinha atingido o que se tem na literatura como ponto de saturação, em que não se consegue mais visualizar as variações de biomassa, tornando-se menos eficiente para diferenciação espacial. Essa limitação é explicada pelo fato de que, em áreas com vegetação muito densa, a luz vermelha é quase totalmente absorvida pela clorofila, reduzindo a capacidade do NDVI de captar novas variações no vigor da cultura.

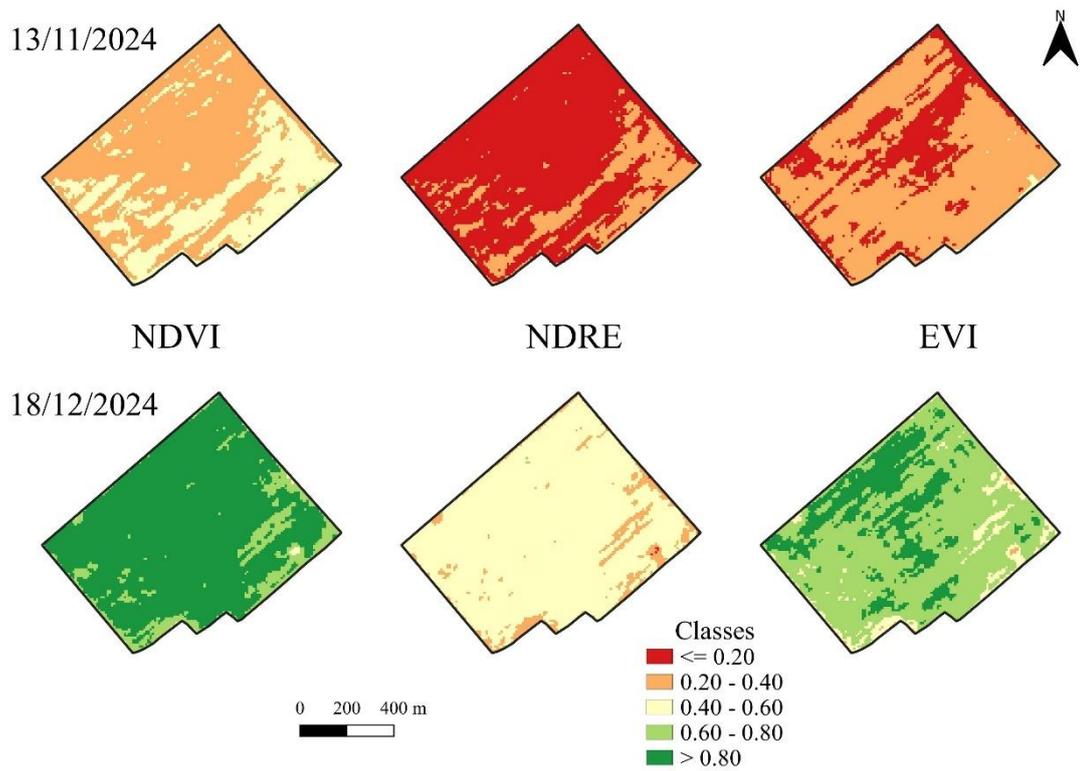


FIGURA 3. Índices de vegetação da cultura da soja na data 13/11/2024 e 18/12/2024.

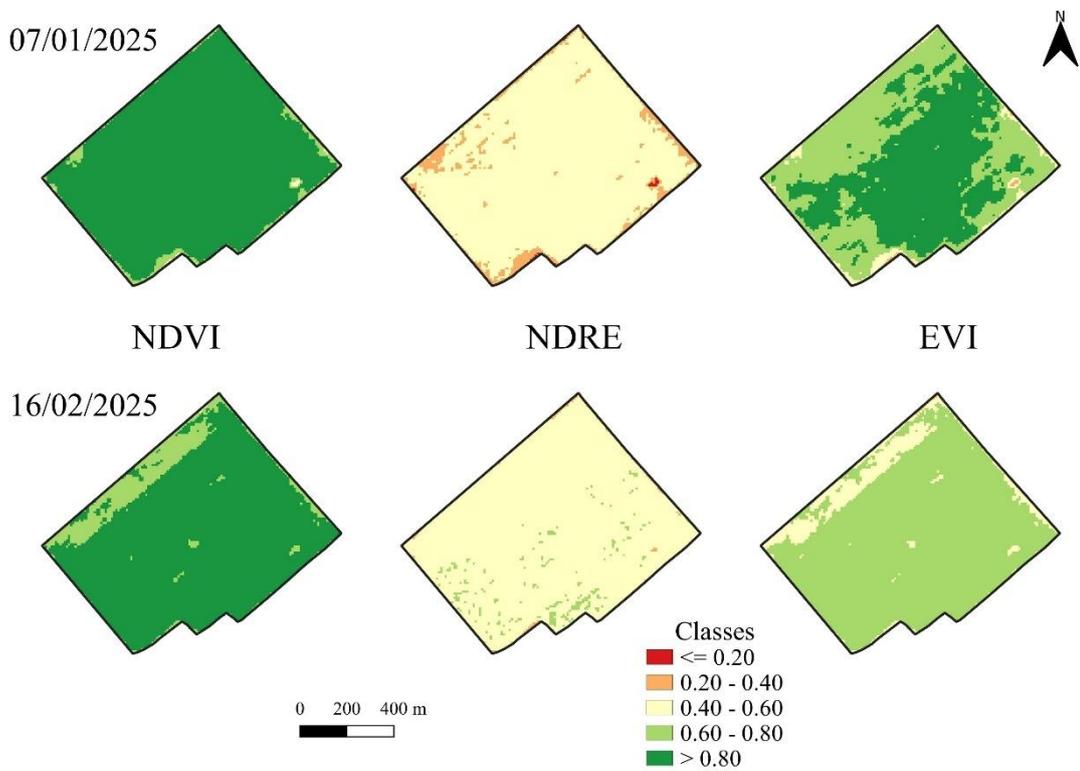


FIGURA 4. Índices de vegetação da cultura da soja na data 07/01/2025 e 16/02/2025.

O índice NDRE apresentou valores baixos em todas as datas, quando comparadas aos dados do NDVI. Além disso, mostrou um padrão espacial uniforme ao longo do ciclo. Essa característica do NDRE de não atingir valores elevados ao longo do ciclo, representa uma vantagem em relação ao NDVI, que tende a saturar precocemente, ainda nos primeiros meses de desenvolvimento da cultura. Assim, em estádios mais avançados, o NDRE pode diferenciar o vigor da vegetação, não observados pelo NDVI.

Em estudo realizado por Eitel et al. (2010), os autores observaram que quando se utiliza a banda RE, a eficiência em estimar as variações de clorofila é maior do que em relação a banda R. Dessa forma, o NDRE é mais sensível ao teor de clorofila localizado abaixo do dossel da cultura, menos sensível a saturação e apresenta melhor capacidade de representar a atividade fotossintética da cultura em estádios fenológicos mais avançados, enquanto o NDVI possui seu ponto de saturação nas fases finais do estágio vegetativo. Sharma et al. (2015) também corroboram este apontamento, onde as diferenças entre os índices NDVI e NDRE são mais significativas nos últimos estádios da cultura.

O EVI, por sua vez, apresentou um padrão semelhante ao NDVI, porém com menor intensidade nos valores. Em 18/12/2024, observou-se aumento da biomassa foliar, embora sem atingir valores máximos. Em 07/01/2025, o EVI se destacou com alta cobertura vegetal (maior que 0,80 em boa parte da área), confirmando o fechamento do dossel. Na avaliação realizada em 16/02/2025, o EVI começou a apresentar leve redução em algumas áreas, sugerindo o início da maturação da cultura da soja, o que não foi percebido no NDVI. Com relação ao ponto de saturação, o EVI é a alternativa em relação ao NDVI. Pois, conforme os resultados, observa-se que demorou mais para chegar no ponto de saturação, mostrando-se sensível a aumento da biomassa em estádios mais avançados do desenvolvimento da cultura.

De forma geral, os índices NDVI e EVI demonstraram a evolução da cultura ao longo do ciclo, refletindo a vegetação densa e saudável, e atingindo valores maior que 0,8 dos índices. Em contrapartida, o NDRE manteve-se em patamares mais baixos, variando entre 0,40 e 0,60, característica que o torna interessante para avaliação de condições de estádios mais tardios.

Considerando a data da semeadura e as imagens avaliadas pode-se aferir que em 13/11/2024 (20 dias após a semeadura) a vegetação em desenvolvimento inicial com pouca cobertura vegetal. Em 18/12/2024 (55 dias após a semeadura) ocorre aumento do desenvolvimento vegetativo com início de fechamento do dossel. Em 07/01/2025 (75 dias após a semeadura) a soja já se encontra em estágio reprodutivo e valores de NDVI e EVI no máximo possível. Em 16/02/2025 (115 dias após a semeadura) a soja começa o início de maturação, observado pela redução do EVI, principalmente.

O NDVI e o EVI captam a dinâmica da vegetação de forma semelhante; no entanto, o EVI, por incorporar a banda do azul, apresenta maior sensibilidade às variações de biomassa e estrutura foliar. Já o NDRE, embora não atinja o ponto de saturação, demonstrou estabilidade ao longo do tempo e menor variação nos estádios mais avançados da cultura.

5 CONCLUSÕES

A cultura da soja teve um desenvolvimento normal e uniforme na área, com crescimento vegetativo intenso.

O estande foi adequado, no entanto, a distribuição longitudinal mostra que pouco mais da metade dos espaçamentos são adequados, devido aos altos valores de falhos e duplos.

Os índices NDVI e EVI foram os mais eficazes para monitorar a evolução da biomassa do dossel. O NDRE manteve valores baixos durante todo o ciclo da cultura ideal para detectar variações em final de ciclo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 04:015.06-004/1995. Semeadora de precisão: ensaio de laboratório/método de ensaio.** São Paulo: ABNT, 1996. 21 p.

ALONÇO, A. dos S.; SILVEIRA, H. A. T.; BELLÉ, M. P.; CARPES, D. P.; MACHADO, O. D. da C. Influência da inclinação transversal e velocidade de operação sobre o desempenho de dosadores pneumáticos com semente da soja. **REVENG – Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 2. p. 119-127, 2014.

BARNES, E.M.; CLARKE, T.R.; RICHARDS, S.E.; COLAIZZI, P.D.; HABERLAND, J.; KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; THOMPSON, T.; LASCANO, R.J.; LI, H.; MORAN, M.S. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, **Proceedings...** Madison: 2000. P.1-16. Disponível em em:https://www.researchgate.net/publication/43256762_Coincident_detection_of_crop_water_stress_nitrogen_status_and_canopy_density_using_ground_based_multispectral_data Acesso em 20 de março de 2025.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

CAPRO. *Estatísticas 2015 (en linea)*. **Cámara Paraguaya de Exportadoras y Comercializadoras de Celerales y Oleaginosas – CAPRO**, 2015.

CARON, M. L.; MINUZZI, R. B. Estimativa de produtividade de soja com uso de perfis temporais de índices de vegetação do sensor MODIS em Sapezal, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3. p. 1660-1675, 2022.

CARPES, D. P.; ALONÇO, A. dos S.; ROSSATO, F. P.; VETT, A. A.; DE SOUZA, L. B.; FRANCETTO, T. R. Effect of different conductor tubes on the longitudinal distribution of corn seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** Campina Grande, v. 21, n. 9. p. 657-662, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n9p657-662>.

CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto. **Sistema Plantio Direto com Qualidade**, Londrina: IAPAR, p. 118-190, 2006.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – safra 2024/25** v. 12, n. 8. p 1-118, 2025.

COPERNICUS. **Copernicus browser**. Disponível em: <https://www.copernicus.eu/> Acesso em 20 de março de 2025.

CORREIA, T. P. S.; LOPES, A. G. C.; FAGGION, F.; SILVA, P. R. A.; SOUSA, S. F. G. Semeadura de soja em função de mecanismos dosadores e velocidade operacional. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 2, p. 190-198, 2020.

DALL'AGNOL. A soja no Brasil: Evolução, impactos e perspectivas. **In: Mercosoja**, Rosario, 5, 2011.

DAMASCENO, A. F. Sistema dosador de sementes e velocidade de operação na semeadura direta de soja. Dissertação, Jaboticabal: **Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp**, 2017.

DE BOSIO, B. G. **Pedro Nicolás Ciacio: El Introdutor de la Soja al Paraguay**. Asunción: El Lector, 2014.

EITEL, J. U. H.; KEEFE, R. F.; LONG, D. S.; DAVIS, A. S.; VIERLING, L. A. Active Ground Optical Remote Sensing for Improved Monitoring of Seedling Stress in Nurseries. **Sensors**, v. 10, n.4. p. 2843-2850, 2010. DOI: [10.3390/s100402843](https://doi.org/10.3390/s100402843).

FACCIN, A. C. T. M. Complexo soja no Mato Grosso do Sul: Competitividade regional e vulnerabilidade territorial. Tese de Doutorado, Dourados: **Faculdade de Ciências Humanas – UFGD**, 2017.

FAMASUL. Agropecuária: A evolução de Mato Grosso do Sul como uma das principais regiões produtoras do país. **FAMASUL – Federação da Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul**, 2021.

FONTANA, D. C.; SANTOS, L. N.; DALMAGRO, G. A.; SCHIRMBECK, J.; SCHIRMBECK, L. NDVI e alguns fatores de variabilidade. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos, 2019.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remotos em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 35-135, 2017.

HIRAKURI, M. H.; LORINI, I.; FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; HENNING, F. A.; MANDARINO, J. M. G.; OLIVEIRA, M. A.; BENASSI, V. T. Análise de aspectos econômicos sobre a qualidade de grãos de soja no Brasil. Circular técnica 145. Londrina: **EMBRAPA**, 2018.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)

IBGE. **Censo Agro/2017**. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017.

INBIO. Dr. Nicolás Ciancio, la historia del pionero e impulsor de la soja em Paraguay. **INBIO – Instituto de Biotecnología Agrícola**, 2021.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p

JASPER, R.; JASPER, M.; ASSUMPÇÃO, P. S. M., ROCIL, J.; GARCIA, L. C. Velocidade de semeadura da soja. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v. 31, n. 1. p. 102-110, 2011.

JERONIMO, A. de S. Os efeitos da lei Kandir e do comércio com a China na exportação do complexo soja no Mato Grosso do Sul. Dissertação, Dourados: **Universidade Federal da Grande Dourados**, 2021.

KLAUCK, R. C. A luta dos brasiguaios pelo acesso à terra no Paraguai (1970-1980). *In: Congresso Internacional de História*. 2001.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J.A.S.; BERNARDI, J.A.; COELHO, J.L.D.; SILVEIRA, G.M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento e dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v.48, n.2, p.249-262, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051989000200011>

MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaios e certificação. Piracicaba: **ESALQ**, 301 p., 1960.

NAVES, R. F.; COMPAGNON, A. M.; FRANCO, F. J. B.; PEREIRA FILHO, W. J. Desempenho agrônomo da soja em diferentes velocidades de semeadura e profundidades de deposição do adubo em plantio direto. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10171>

OPENAI. **ChatGPT: ferramenta de inteligência artificial**. Disponível em: <https://chat.openai.com/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

PARAGUAI. *Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAP. Informe de Producción Agrícola*. Paraguai, 2018.

PARAGUAI. **Ley 3239**: de los recursos hídricos del Paraguay. Asunción, 2007.

PEREIRA, G. W.; VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M. D.; COELHO, A. L. D. F.; COSTA, M. M.; GRIFT, T. Smart-map: an open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging. **Agronomy**, v.12, n.1350, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061350>

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15ª edição. Piracicaba: FEALQ, 2022. 451 p.

PORTAL CAPECO. *Estatísticas 2014 (em linea)*. **CAPECO - Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas**, 2014.

PORTAL CAPECO. *Superficie comparativa de soja zafra 2013-2014 vs 2014-2015*. **CAPECO - Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas**, 2018.

PORTAL CAPECO. Área de Siembra, Producción y Rendimiento. **CAPECO - Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas**, 2025.

QGIS.org. **QGIS Geographic Information System**. QGIS Association. Available: https://qgis.org/pt_BR/site/index.html Accessed Aug 10, 2024.

RISSO, J.; RIZZI, R.; FRIEDRICH B.; RUDORFF, T; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, R. D. V. Índices de vegetação Modis aplicados na

discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9. p. 1317-1326, 2012.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELI, J. A.; DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. **Remote Sensing Center**: Texas, 1974. P.309-317. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614> Acesso em 20 de março de 2025.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **NASA/GSFC**, 1973, 390 p. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19730017588> . Acesso em 20 de março de 2025.

SAMPAIO, M. I. R.; KUNZ, A.; HILLEBRAND, F. L.; ZAMBERLAN, J. F.; IDALINO, F. D. Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) irrigados. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 9, n. 4. p. 350-362, 2021.

SÁNCHEZ, D. D. D.; BARRETO, R. G.; CHUNG, C. K. K. Importancia de la producción de soja em la economía paraguaya em el año 2021. **Revista Científica Estudios y Investigaciones**. p. 146-154, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26885/rcei.11.1.146>.

SANTOS, L. M. G.; PENATTI, N. C.; DELALIBERA, H. C.; GUIMARÃES, M. F. Relação entre os mapas dos índices vegetativos NDRE, NDVI e EVI com um mapa de zonas de potencial produtivo para soja. **In: Congresso de Engenharia Agrícola – CONBEA**, 51, 2022, Pelotas.

SCHAPARINI, L. P.; FONTANA, D. C.; DALMAGO, G. A.; RODIGHIERI, G.; FERNANDES, J. M. C.; SANTI, A.; VARGAS, P. R. Análise comparativa entre índices de vegetação e sua relação com o balanço hídrico em soja. **Agrometeoros: Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 27, n. 1. p. 183-190, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i1.26574>.

SHARMA, L. K.; BU, H.; DENTON, A. FRANZEN, D. W.; Active-optical sensors using red NDVI compared to red edge NDVI for prediction of corn grain yield en North Dakota, USA. **Sensors**, v. 15. p. 27832-27853, 2015. DOI: [10.3390/s151127832](https://doi.org/10.3390/s151127832).

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M. SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8. p. 1071-1077, 2002.

TSOUROS, D. C.; BIBI, S.; SARIGIANNIDIS, P. G. A review on UAV-Based applications for Precision Agriculture. **Information**, v. 10, n. 11. 2019. DOI: [10.3390/info10110349](https://doi.org/10.3390/info10110349).

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, G.R. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

WESZ JUNIOR, V. J. O mercado da soja no Paraguai: Expansão, consolidação e momento atual. **In: Congresso Alas**, Montevideo, 31, 2017.

ANEXOS

ANEXO 1

Como a IA foi utilizada nesse trabalho

Neste estudo, a Inteligência Artificial (IA) foi utilizada como uma ferramenta de apoio na análise e interpretação dos dados. O modelo de IA, baseado em processamento de linguagem natural (ChatGPT, OpenAI), auxiliou na organização das informações, comparação entre os dados ao longo do ciclo da cultura da soja.

Além disso, a IA foi empregada na estruturação e redação preliminar dos textos, garantindo coerência na apresentação. No entanto, todas as interpretações, verificações dos cálculos estatísticos e conclusões foram revisadas e validadas pelos autores, assegurando o rigor metodológico e científico do estudo.

O uso da IA seguiu diretrizes éticas, sem substituição da análise crítica dos pesquisadores, servindo exclusivamente como ferramenta de suporte na interpretação e comunicação dos dados.