

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL  
CAMPUS IBIRUBÁ**

**IMPACTO DE NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO A PARTIR DA FORMAÇÃO DAS  
VAGENS NA CULTURA DA SOJA CULTIVAR BRASMAX ZEUS IPRO**

**MAISA VERÔNICA HOPPEN**

**IBIRUBÁ  
2025**

**MAISA VERÔNICA HOPPEN**

**IMPACTO DE NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO A PARTIR DA FORMAÇÃO DAS  
VAGENS NA CULTURA DA SOJA CULTIVAR BRASMAX ZEUS IPRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Jardel Henrique Kirchner

**IBIRUBÁ**

**2025**

MAISA VERÔNICA HOPPEN

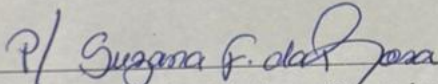
IMPACTO DE NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO A PARTIR DA FORMAÇÃO DAS  
VAGENS NA CULTURA DA SOJA CULTIVAR BRASMAX ZEUS IPRO

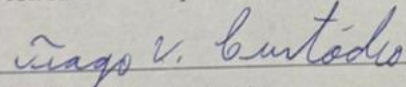
Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

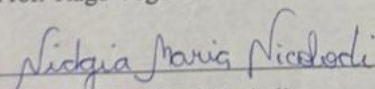
Orientador: Jardel Henrique Kirchner

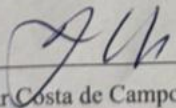
Coorientadora: Suzana Ferreira da Rosa

Aprovado em 27 de Novembro de 2025.

  
Prof. Jardel Henrique Kirchner – Orientador

  
Prof. Tiago Vega Custodio

  
Prof. Nidgia Maria Nicolodi

  
Prof. Ben-Hur Costa de Campos – Coordenador do  
Curso de Agronomia do IFRS – Campus Ibirubá

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecer a Deus pela vida, pela saúde, pela proteção e pela força para enfrentar obstáculos e dificuldades.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá por me conceder a oportunidade de estudar em uma escola com ensino público, gratuito e de qualidade.

Ao meu pai, Rudinei André Scapini Hoppen e minha mãe, Ivani Tiemann Hoppen, meu mais profundo agradecimento por todo o amor, dedicação e ensinamentos que moldaram quem sou. Por cada palavra de incentivo, cada gesto de carinho e por nunca deixarem de acreditar no meu potencial, mesmo nos momentos mais desafiadores. A força, a fé e o exemplo de vocês são a base de todas as minhas conquistas.

Ao meu esposo Lucas Henrique Henrichsen, meu eterno agradecimento pelo amor, paciência e companheirismo em todos os momentos. Por estar ao meu lado nas alegrias e nos desafios, acreditando em mim mesmo quando eu duvidava. Sua presença, apoio e confiança foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Este sonho também é seu.

Ao meu sogro Izalo Henrichsen e minha sogra Nedir Behnen Henrichsen, meu sincero agradecimento por todo o carinho, acolhimento e apoio em cada etapa da minha caminhada. Agradeço por me receberem com tanto afeto e por sempre acreditarem em meus sonhos, compartilhando palavras de incentivo e gestos de generosidade que tornam essa jornada mais leve e especial.

Aos meus avós Hilda Scapini Hoppen, Ademar Hoppen, Neli Tiemann e a estrela mais brilhante que me brilha lá no céu, Verno Tiemann (em memória), meu carinho e gratidão eternos por todo o amor, sabedoria e exemplo de vida que sempre me inspiraram. Cada conselho, cada gesto de cuidado e cada lembrança ao lado de vocês guardo com ternura e orgulho. A força e os valores que me ensinaram são parte essencial de quem me tornei.

Meu agradecimento especial aos demais familiares, em especial, Simoni, Ricardo, João Vitor, Giovana Beatriz e Luana que de uma maneira ou outra me ajudaram atingir meus objetivos e conquistas. Minha gratidão ao amigo e colega Luis Felipe Ferrari pela parceria e amizade, seu esforço, trabalho e principalmente por ter concordado em conduzir essa pesquisa em conjunto.

Ao professor e orientador, Jardel Henrique Kirchner, pela amizade e conhecimento compartilhado, que não mediu esforços para prestar auxílio na escrita e correção deste trabalho,

e por sempre estar passando confiança e incentivo ao longo da construção do experimento. A professora Suzana Ferreira da Rosa, pela ajuda no trabalho e especialmente pelas trocas de ideias e conhecimentos durante a condução e escrita até aqui finalizado.

Aos demais professores da instituição por todos os conteúdos trabalhados que com toda a certeza foram importantes para o meu crescimento profissional, além de sempre me passarem confiança e demonstraram o caminho correto para atingir o meu potencial.

## RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Agronomia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá

### IMPACTO DE NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO NOS COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA A PARTIR DO INÍCIO DA FORMAÇÃO DAS VAGENS

MAISA VERÔNICA HOPPEN:

JARDEL HENRIQUE KIRCHNER:

Ibirubá/RS, 07 de novembro de 2025

A cultura da soja representa a principal atividade agrícola de interesse econômico no estado, sendo conduzida sob ampla variabilidade edafoclimática e distintos regimes pluviométricos. O ciclo produtivo estende-se, predominantemente, de outubro/novembro a março/abril. Nesse intervalo, a incidência de veranicos tem se intensificado, especialmente em fases fenológicas críticas, como o período reprodutivo, ocasionando expressivas perdas de produtividade. Nesse contexto, a irrigação configura-se como uma prática agrônômica estratégica, visando à suplementação hídrica e à atenuação dos efeitos adversos decorrentes da irregularidade na distribuição das precipitações. O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto de diferentes níveis de déficit hídrico após o florescimento da cultura nos componentes de rendimento da cultura da soja. A pesquisa foi conduzida dentro de uma estufa da área agrícola do Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá. O trabalho foi constituído de um experimento com quatro lâminas de irrigação (25%, 50%, 75% e 100% da capacidade de vaso) aplicadas a partir do estádio do início da frutificação R3, tendo assim, portanto, 4 tratamentos com 9 repetições cada. Foram utilizados vasos de 20 litros, com uma planta por vaso, usando uma mistura de solo e substrato comercial, para aportar as plantas, sendo a cultivar utilizada Brasmax Zeus. Para a determinação da evapotranspiração de referência foi utilizado a equação de Penman-Monteith-FAO e para a determinação da evapotranspiração da cultura foram utilizados os coeficientes de cultura de acordo com a FAO. Foram avaliados componentes morfológicos e componentes de rendimento da cultura. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ), através do site SAIS e quando significativos, à análise de regressão. As variáveis altura de plantas, comprimento de raiz, número de nós e número de nós produtivos não foram significativos de acordo com o teste. Quanto as variáveis número de ramos, número de ramos produtivos, número de grãos, número médio de grãos/vagem, massa seca de grãos, rendimento biológico e índice de colheita, estes apresentaram significância e foram ajustadas equações de primeiro grau, em função do valor do R-quadrado ( $R^2$ ). Já para as variáveis número de vagens, número médio vagens/nó, massa de mil grãos e massa seca de palha, estes também apresentaram significância e foram ajustadas equações de segundo grau, pela mesma análise do  $R^2$ . O déficit hídrico a partir do estádio R3 impacta significativamente na maior parte dos componentes produtivos e morfológicos da cultura da soja, acarretando em menores produtividades e menores quantidades de matéria seca.

**Palavras-chave:** *Glycine max*; lâminas de irrigação; evapotranspiração de referência; evapotranspiração da cultura; coeficiente da cultura.

## ABSTRACT

Completion of course work

Agronomy Course

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Ibirubá

### INFLUENCE OF THE USE OF GROWTH PROMOTING BACTERIA ON THE PHENOLOGICAL STAGES OF WHEAT

AUTHOR: MAISA VERÔNICA HOPPEN

ADVISOR: JARDEL HENRIQUE KIRCHNER

Ibirubá/RS, November 07, 2025

Soybean cultivation represents the main agricultural activity of economic interest in the state, being conducted under wide soil-climatic variability and distinct rainfall patterns. The production cycle extends predominantly from October/November to March/April. During this period, the incidence of dry spells has intensified, especially during critical phenological phases, such as the reproductive period, causing significant productivity losses. In this context, irrigation is a strategic agronomic practice, aiming to supplement water and mitigate the adverse effects of irregular rainfall distribution. The objective of this study was to evaluate the impact of different levels of water deficit after flowering on soybean yield components. The research was conducted in a greenhouse in the agricultural area of the Federal Institute of Rio Grande do Sul – Ibirubá Campus. The experiment consisted of four irrigation levels (25%, 50%, 75%, and 100% of pot capacity) applied from the R3 stage of early fruiting, resulting in four treatments with nine replicates each. Twenty-liter pots were used, with one plant per pot, and a commercial soil and substrate mixture (Brasmax Zeus) was used to support the plants. The Penman-Monteith-FAO equation was used to determine reference evapotranspiration, and crop coefficients according to the FAO were used to determine crop evapotranspiration. Morphological components and yield components were evaluated. The results were subjected to analysis of variance (F-test) ( $p < 0.05$ ) using the SAIS website, and when significant, to regression analysis. The variables plant height, root length, number of nodes, and number of productive nodes were not significant according to the test. The variables number of branches, number of productive branches, number of grains, average number of grains/pod, grain dry mass, biological yield, and harvest index were significant, and first-degree equations were adjusted based on the R-squared ( $R^2$ ) value. The variables number of pods, average number of pods/node, thousand-grain mass, and straw dry mass were also significant, and second-degree equations were adjusted using the same  $R^2$  analysis. Water deficit from the R3 stage onwards significantly impacts most productive and morphological components of the soybean crop, resulting in lower yields and smaller amounts of dry matter.

**Key Words:** *Glycine max.* Irrigation Depths. Reference Evapotranspiration. Crop Evapotranspiration. Crop Coefficient.

## Lista de figuras

<b>Figura 1: Estufa de condução do experimento.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 2: Croqui do experimento.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3: Vaso utilizado para cada unidade experimental.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 4: Vasos dispostos na estufa.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 5: Adubação pré-semeadura (A) e Sementes depositados no solo do vaso (B).....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6: Exemplificação da irrigação por aspersores em funcionamento.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 7: Copo medidor para irrigação manual.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 8: Pesagem para irrigação manual.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 9: Amarrações das plantas com as estacas de taquara.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 10: Pulverizador manual para aplicações de produtos químicos.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 11: Primeiras plantas próximas da maturidade fisiológica.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 12: Armazenamento da Matéria Seca.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 13: Pesagem de amostras.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 14: Análise de Regressão para número de ramos (A), número de ramos produtivos (B), número de grãos (C) e número médio de grãos por vagem (D).....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 15: Análise de Regressão para massa seca de grãos (A), massa seca total – rendimento biológico (B) e índice de colheita (C).....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 16: Análise de Regressão para número de vagens (A), número médio de vagens por nó (B), massa de mil grãos (C) e massa seca de palha (D).....</b>	<b>38</b>

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1: Descrição sumária dos estádios reprodutivos da soja (Farias et al., 2007).....</b>	<b>12</b>
<b>Tabela 2: Descrição da subdivisão do estágio R5 (adaptado de Ritchie et al., 1985).....</b>	<b>13</b>
<b>Tabela 3: Altura de plantas, número de nós, número de nós produtivos e comprimento de raízes nas diferentes lâminas de irrigação. Ibirubá/RS, 2025.....</b>	<b>32</b>

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b> .....	12
2.1 REVISÃO DE LITERATURA .....	12
2.1.1 Importância e Desafios da Soja no Agronegócio Brasileiro .....	12
2.1.2 Aspectos Morfológicos, Fisiológicos e Ambientais da Cultura da Soja .....	12
2.1.3 Estádios Fenológicos da Cultura da Soja .....	13
2.1.4 Exigências Climáticas e Necessidade Hídrica.....	14
2.1.5 Déficit Hídrico e Efeitos na Produtividade.....	15
2.1.6 Irrigação e Manejo Hídrico Sustentável.....	18
2.1.7 Perda Hídrica e Manejo da Irrigação .....	20
2.1.8 Déficit hídrico na formação das vagens .....	20
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
2.2.1 Local de realização do experimento e características .....	21
2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	22
2.2.3 Condução do experimento .....	23
2.2.3.1 Fase inicial do experimento .....	23
2.2.3.2 Irrigação do experimento .....	25
2.2.3.3 Fase final do experimento .....	28
2.2.4 Avaliações .....	30
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
<b>3 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja consolidou-se como a principal atividade agrícola de interesse econômico no estado, sendo responsável por parcela substancial da renda agrícola, do uso da terra e das exportações de grãos; essa condição confere à cultura papel central nas estratégias de desenvolvimento rural e nas políticas públicas setoriais (Sentelhas *et al.*, 2015).

O papel central da soja na economia brasileira decorre não apenas de sua elevada demanda, mas também da plasticidade fenotípica das cultivares e dos constantes progressos em melhoramento genético e técnicas de manejo, fatores que ampliam o desempenho produtivo em distintos ambientes edafoclimáticos (Mais Soja, 2025).

Apesar da plasticidade fenotípica, a expressão do potencial produtivo da soja depende criticamente da interação genótipo  $\times$  ambiente  $\times$  manejo; estresses abióticos, em especial o déficit hídrico, limitam a realização do potencial genético, especialmente em cultivares de alto rendimento (Silva *et al.*, 2020).

No plano regional, a heterogeneidade edafoclimática, refletida em solos com diferentes texturas, teores de matéria orgânica e capacidades de retenção de água, demanda estratégias de manejo diferenciadas, uma vez que tais atributos do solo influenciam diretamente a disponibilidade hídrica disponível às plantas (Costa *et al.*, 2013).

O ciclo produtivo da soja, que geralmente se estende de outubro/novembro a março/abril nas principais regiões produtoras, ocorre predominantemente durante a estação chuvosa. No entanto, a irregularidade na distribuição das precipitações tem se tornado mais acentuada nas últimas safras, resultando em períodos de veranico que coincidem com fases fenológicas sensíveis, como a floração e o enchimento de grãos. Essa descontinuidade hídrica impõe limitações fisiológicas à cultura, reduzindo o potencial produtivo e comprometendo a estabilidade dos rendimentos ao longo das safras (Campagnaro *et al.*, 2025).

A ocorrência de veranicos, ou seja, intervalos secos podendo ser prolongados ou não, vem se intensificando em diversas regiões produtoras, e estudos regionais mostram associação estatística entre veranicos e reduções de produtividade da soja quando os eventos coincidem com fases críticas do desenvolvimento (Roldão, 2015).

A fase reprodutiva, especialmente o florescimento e o enchimento de grãos, é reconhecida como a etapa de maior sensibilidade ao estresse hídrico; déficits prolongados nesse intervalo aumentam a probabilidade de aborto floral, redução do número de vagens e de massa de sementes, impactando diretamente o rendimento final (Andrade, 2024).

Diante desse cenário, a irrigação surge como prática agrônômica estratégica para suplementar a oferta hídrica, garantindo suprimento nos períodos de déficit e reduzindo a incerteza produtiva associada à irregularidade pluviométrica (Alves et al., 2021).

Além de suprir água naqueles trechos críticos do ciclo, regimes de irrigação ajustados, incluindo abordagens de irrigação deficitária, podem otimizar o uso do recurso, aumentando a eficiência hídrica e mitigando custos operacionais quando articulados com o conhecimento fenológico da cultura (Morbidini et al., 2024).

O planejamento eficiente da irrigação requer um diagnóstico integrado, que envolva a caracterização física do solo, a estimativa do armazenamento útil de água no perfil, a identificação dos limiares fenológicos sensíveis e o uso de ferramentas de monitoramento, como sensores de umidade e modelos de balanço hídrico, para orientar decisões (Zapata-Garcia et al., 2023).

No âmbito regional, observa-se difusão gradual das tecnologias de irrigação, motivada pela busca de segurança produtiva e por incentivos a práticas mais eficientes; todavia, essa adoção é heterogênea e condicionada por fatores socioeconômicos, disponibilidade de água e infraestrutura (Cunha et al., 2013).

Os entraves à adoção em maior escala incluem custos de implantação, acesso a crédito, variabilidade na disponibilidade hídrica e necessidade de capacitação técnica dos produtores; políticas públicas e programas de extensão são, portanto, essenciais para promover a difusão sustentável dessas tecnologias (Sentelhas et al., 2015).

Em termos de pesquisa aplicada, há demanda por estudos que avaliem o custo-benefício de regimes de irrigação adaptados à soja em diferentes ambientes, bem como investigações sobre eficiência no uso da água, impactos na qualidade do grão e interações com práticas de manejo do solo, tendo em vista recomendações localmente calibradas (Almeida et al., 2024).

Assim, a integração entre manejo de solo, escolha de cultivares, planejamento de semeadura e regimes de irrigação constitui estratégia necessária para aumentar a resiliência e a eficiência produtiva da soja no estado, equilibrando produtividade, rentabilidade e conservação dos recursos hídricos (Morbidini et al., 2024).

A adoção de práticas de irrigação suplementar na cultura da soja aumenta significativamente a eficiência produtiva e reduz as perdas associadas aos veranicos durante o ciclo reprodutivo, em comparação ao cultivo de sequeiro.

O objetivo geral do trabalho é avaliar o impacto de diferentes níveis de déficit hídrico nos componentes de rendimento e produtividade da cultura da soja a partir do início da formação das vagens.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **2.1.1 Importância e Desafios da Soja no Agronegócio Brasileiro**

A soja desempenha um papel fundamental no agronegócio brasileiro e na safra 2023/2024, a área semeada alcançou 45,23 milhões de hectares, com produtividade de 3.239 kg.ha<sup>-1</sup> resultando em uma produção total de 146,52 milhões de toneladas, conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento do mês de abril (Conab, 2024). De acordo com a mesma companhia, o Brasil se destaca como o maior produtor mundial de soja e o estado de Mato Grosso lidera a produção, seguido dos estados do Rio Grande do Sul e também do Paraná.

Essa cultura é de extrema importância econômica, pois o aumento da demanda mundial por alimentos, mantém a soja como principal fonte de proteína vegetal. É um dos componentes básicos para fabricar rações de animais e outros vastos alimentos que servem para o consumo humano (Souza, 2019). Apesar disso, o avanço científico da inovação em termos de cultivares de soja, o desenvolvimento e a produtividade da cultura, ainda são fortemente limitados por déficit hídrico durante o ciclo da cultura (Petter et al., 2013; Zadoná et al., 2015).

#### **2.1.2 Aspectos Morfológicos, Fisiológicos e Ambientais da Cultura da Soja**

A soja é uma planta com ampla adaptação aos climas subtropicais e tropicais, mas seu clima originário é o temperado, sendo seu centro de origem na China (Almeida et al., 1999). É uma planta herbácea e possui folhas trifolioladas (exceto o primeiro par de folhas simples, no nó acima do nó cotiledonar). Desenvolvem vagens que podem contar de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas.

A estatura ideal da cultura está entre 60 – 110 cm, o que, pode facilitar a colheita e evitar o acamamento das plantas. O ambiente também influencia sua floração, pois o período de florescimento da soja é respondente ao nictoperíodo, ou seja, a duração da noite. Para se entender essa colocação, fala-se com mais frequência em fotoperíodo, que é a duração do dia, e diz-se que a soja é uma planta de dias curto, uma vez que, sob dias longos, ela atrasa seu florescimento e alonga seu ciclo (Neumaier et al., 2000).

Com o uso da característica do florescimento tardio em dias curtos, ou do chamado “período juvenil longo”, não há mais restrição fotoperiódica a sementeira comercial de soja, mesmo quando sob a linha do equador e como parte do Brasil está disposto próximo a esta linha, rendeu ao Brasil o título de país que “tropicalizou” a soja. As cultivares brasileiras de soja são classificadas em grupos de maturação (GM), com base na duração de seu ciclo (Nepomuceno et al., 2019), assim o ciclo é um fator variável de cultivar para cultivar, dependendo também do período juvenil de cada genótipo, que é o período mínimo de desenvolvimento vegetativo da cultura, anterior ao florescimento.

### 2.1.3 Estádios Fenológicos da Cultura da Soja

A classificação de estádios fenológicos da soja tem ampla utilização no mundo. Ela identifica precisamente o estágio em que uma lavoura se encontra e tem uma grande importância para técnicos, pesquisadores e agricultores por permitir uma melhor comunicação e descrição do estado da lavoura, excluindo-se possíveis situações duvidosas (Neumaier et al., 2000).

A escala fenológica da cultura da soja utilizada atualmente é a de Fehr e Caviness (1977), que divide a cultura em dois grandes períodos: o vegetativo e o reprodutivo. Com exceção dos estádios VE (emergência) e VC (cotiledonar), as letras serão acompanhadas por números, indicando qual estágio específico a cultura está passando.

Os estádios reprodutivos vão de 1 até 8, onde os estádios R1 e R2 dizem respeito ao florescimento, R3 e R4 a formação das vagens, R5 e R6 ao desenvolvimento dos grãos e R7 e R8 a maturação da planta (Fehr e Caviness, 1977). Abaixo consta a Tabela 1, mostrando maior detalhamento dos estádios reprodutivos da cultura da soja.

**Tabela 1** - Descrição sumária dos estádios reprodutivos da soja

<b>Estádio</b>	<b>Denominação</b>	<b>Descrição</b>
R1	Início de florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal da planta
R2	Florescimento pleno	Uma flor aberta nos últimos dois nós do caule com a folha completamente desenvolvida
R3	Início de formação da vagem	Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós com folha completamente desenvolvida
R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós com folha completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento de grãos	Grão com 3 mm de comprimento em vagem dos 4 últimos nós com folha completamente desenvolvida

R6	Grão cheio ou completo	Vagem contendo grão verde preenchendo as cavidades da vagem de um dos 4 últimos nós com folhas completamente desenvolvidas
R7	Início da maturação	Uma vagem com coloração madura
R8	Maturação plena	95% das vagens com coloração madura

Fonte: Farias *et al.*, 2007.

A proposta original de Fehr e Caviness (1977), conforme pode ser vista acima, não apresenta subdivisões dos estádios de desenvolvimento da soja. Entretanto, para melhor detalhamento do estágio R5, responsável pelo enchimento de grãos, Ritchie et al. (1985) propuseram uma divisão em cinco sub-estádios, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2: Descrição da subdivisão do estágio R5 (adaptado de Ritchie et al., 1985).**

<b>Estádio</b>	<b>Denominação</b>	<b>Descrição</b>
R5.1	Grãos perceptíveis ao tato	O equivalente a 10% da granação
R5.2	Grãos miúdos	O equivalente a 11 a 25% da granação
R5.3	Grãos pequenos	O equivalente a 26 a 50% da granação
R5.4	Grãos médios	O equivalente a 51 a 75% da granação
R5.5	Grãos cheios	O equivalente a 76 a 100% da granação

#### 2.1.4 Exigências Climáticas e Necessidade Hídrica

Quanto às exigências climáticas da cultura, ela tem preferência por temperaturas entre 20 e 30°C, sendo a ideal mais próximo aos 30°C. A necessidade total de água ao longo do ciclo da cultura varia de 450 a 800 mm, sendo que o período de maior exigência é o enchimento de grãos, quando pode carecer de 7 a 8 mm diários para a cultura, lembrando que esses valores são muito variáveis em função de características do solo, da planta e do clima, principalmente (Farias et al., 2007).

Sentelhas et al. (2015) citam que a cultura da soja demanda cerca de 650 mm de água durante o seu ciclo para atingir produtividade semelhante ao seu potencial, sendo altamente dependente de fatores ambientais, sendo o déficit hídrico um dos principais fatores. Além disso, manejo do solo e também das plantas, época da semeadura e a gestão da irrigação são outras razões imprescindíveis para serem considerados no sucesso de uma cultura (Battisti et al., 2017).

### 2.1.5 Déficit Hídrico e Efeitos na Produtividade

O conhecimento do comportamento fisiológico e morfológico de cada grupo de maturidade relativa (GMR) frente às condições e adversidades climáticas, como por exemplo, altas temperaturas e escassez hídrica são fundamentais para diminuirmos os espaços entre os rendimentos atuais dos produtores e os rendimentos potenciais (Boote et al., 2011). Somado a isso, os autores Rossatto et al. (2022) citam que o conhecimento do GMR da cultivar de soja a ser implantada também deveria ser considerado no planejamento de uma lavoura de soja, pois permite prever o número de dias para atingir a maturidade, desde a semeadura até o ponto de colheita.

O ciclo das cultivares de soja em tempo (dias) é determinado conforme o fotoperíodo e também as condições de temperatura, aspectos esses, que exercem influência na necessidade hídrica e na variação de resposta produtiva, em lavouras irrigadas e sequeiras (Zanon et al., 2015). Acrescentando a este ponto, Rossatto et al. (2022) explica que a cultura da soja é altamente responsiva ao manejo da água, entretanto, para se atingir a máxima produtividade, é necessário um suprimento hídrico suficiente durante todo o ciclo.

Outras autorias como Montoya et al. (2017) mencionam que um curto período de estresse durante a fase vegetativa pode não refletir em significativa redução da produtividade. No entanto, Lenssen et al. (2013), acrescentam que períodos de duração relativamente moderados a de longas duração no período de reprodução da soja, podem acarretar em drásticas reduções do rendimento.

Porém, ainda existem algumas dúvidas quanto às diferentes disponibilidades hídricas nas condições subtropicais do Brasil quanto a falta de conhecimento da evapotranspiração da cultura nas diferentes etapas do ciclo de desenvolvimento da soja. O conhecimento do consumo hídrico nas diferentes fases do ciclo, permite o manejo de uma irrigação de forma mais racional, de acordo com as possibilidades da cultura e também da disponibilidade da água para a própria irrigação (Rossatto et al., 2022).

Fernandes e Turco (2003) em seu trabalho comentam que a agricultura de sequeiro deve se preocupar com o conhecimento da demanda hídrica, pois isso permitiria ajustar as épocas de semeadura, de acordo com a disponibilidade de água na região, melhorando o aproveitamento das chuvas.

De acordo com a literatura de Vivan et al. (2010), fatores como data de semeadura (entre outubro e janeiro) e também o ciclo da cultivar (de acordo com os grupos de maturação, precoce

a tardio) são elementos que alteram de forma significativa as necessidades hídricas da cultura e também, na sua produtividade. Desta forma, as incertezas das condições climáticas inerentes as culturas e também a possibilidade de fatores adversos, tem sido tema de preocupação de produtores e técnicos, interferindo em decisões técnicas, econômicas e administrativas, além do cenário político com as possíveis intervenções a serem tomadas e executadas (Silva et al., 2011).

O conhecimento do retorno das culturas e das cultivares a esses distintos cenários de disponibilidade hídrica, seja da precipitação ou da irrigação, e de retorno financeiro pode ser alcançado com a aplicação da técnica da modelagem de desenvolvimento e crescimento das culturas, possibilitando simular cenários com diferentes condições edafoclimáticas e, estimar a provável lâmina de água e um provável número de irrigações para quaisquer épocas de semeadura e/ou duração de ciclo (Silva et al., 2011).

O cultivo protegido possibilita alterações de variáveis micrometeorológicas no interior dos ambientes (Cardoso et al., 2008), em períodos de disponibilidade energética elevada ocorre uma amenização da temperatura vegetal, quando comparada ao ambiente externo (Araújo et al., 2016), o que acarreta uma redução da evapotranspiração no interior do ambiente protegido em comparação ao não protegido (Andrade Júnior et al., 2011). As modificações micrometeorológicas em ambiente protegido ocorrem em função do material de cobertura favorecer os processos de reflexão e absorção da radiação solar, e dessa forma, reduzir a radiação solar e alterações meteorológicas no interior do ambiente (Holcman et al., 2015). Atribui-se também ao ambiente protegido, a função de proteção contra intempéries e modificações micrometeorológicas abruptas (Araújo et al., 2016).

De acordo com Schmidt (2007), para o planejamento das operações de irrigação é fundamental dispor de elementos básicos como: a quantidade de água disponível, a necessidade hídrica da cultura e a área irrigável, o que permite decidir os planos de cultivos e ocupação de terrenos em função da água disponível.

Segundo Nepomuceno et al. (2007), a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade de água são os fatores climáticos mais importantes para a soja, pois afetam diretamente o desenvolvimento da cultura e também a produtividade. Nesse sentido, da demanda hídrica, Taiz e Zeiger (2006) citam que a primeira reação ao déficit hídrico é a perda do turgor, que acaba por promover diminuição de área foliar, que por sua vez, em decorrência disso, compromete a fotossíntese e o menor acúmulo de fotoassimilados, influenciando os componentes de rendimento e a produtividade.

Entretanto, como toda cultura estabelecida a uma lavoura a céu aberto, existem alguns momentos em que podem haver déficits hídricos, períodos estes que se muito longos, podem reduzir de forma acentuada a produtividade de culturas agrícolas, especialmente como os casos que ocorreram no estado do Rio Grande do Sul durante as safras 2019/20, 2021/22 e 2022/23, conforme Elias e Ferraz (2023).

No estado do Rio Grande do Sul, a quantidade relativa de precipitação pluvial, sua distribuição ao longo do tempo e as intensidades individuais das chuvas são fatores que afetam diretamente ou indiretamente a população e a economia. Essas características têm uma influência significativa, principalmente, na atividade agrícola e no rendimento das colheitas (Britto et al., 2008).

Para minimizar os efeitos da falta de precipitação, a prática da irrigação se torna imprescindível em campos de produção para manutenção do potencial produtivo, sem comprometer a renda agrícola dos produtores rurais.

Nesse sentido, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) prevê um aumento de 20% na utilização da irrigação nos países em desenvolvimento até 2030, e destaca a importância da promoção de sistemas de produção mais eficientes que conservem a umidade do solo e melhorem a infiltração da água (FAO, 2010).

Diante disso, a irrigação é amplamente reconhecida como uma das formas mais eficazes de aumentar a produtividade e a qualidade dos grãos e uma das principais vantagens de áreas irrigadas é a eliminação da necessidade de competição entre as plantas pelo suprimento de água (Kuss, 2006).

De acordo com dados divulgados em 2010, o Brasil direciona 63% de seus recursos hídricos para a irrigação, enquanto 18% são destinados ao consumo humano, 14% para uso animal e 5% para uso industrial. Com a projeção de um crescimento populacional para mais de nove bilhões de pessoas até 2025, espera-se um aumento de 50% na demanda por alimentos, e grande parte dessa produção ocorrerá em áreas irrigadas (FAO, 2010).

Segundo Rosa et al. (2018), uma abordagem promissora para aumentar a produção sustentável é focar na melhoria do rendimento das colheitas em terras já utilizadas para cultivo, garantindo o uso eficiente de todos os insumos adicionados e evitando a expansão agrícola para áreas de ecossistemas com alta biodiversidade. Em outras palavras, trata-se de reduzir a lacuna entre o potencial produtivo e a produção atualmente alcançada.

A busca por produção agrícola de qualidade e em maior quantidade, ao mesmo tempo em que se busca reduzir os impactos ambientais negativos sobre o recurso natural da água, demanda novos conhecimentos por parte da comunidade científica sobre as reais necessidades

hídricas das culturas (Reis et al., 2007; Morais et al., 2008; Santana et al., 2009). Essa compreensão mais aprofundada das demandas de água das plantas permite uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e contribui para uma agricultura mais sustentável.

O estresse hídrico traz consigo alguns efeitos negativos se ocorridos em dois períodos específicos do ciclo da soja: germinação/emergência e floração/enchimento de grãos. Nesta primeira fase, os dois extremos são prejudiciais para o estabelecimento da cultura, tanto o excesso, quanto a falta de água, sendo ainda o excesso mais nocivo que o déficit. Já na segunda fase, a necessidade de água da soja atinge seu pico, decrescendo com o passar do enchimento dos grãos, desta forma, sendo o déficit mais nocivo do que o excesso (Embrapa, 2007).

Quando a soja sofre um período de déficit hídrico, seja em qualquer estágio, geralmente ocorre a senescência e a queda de folhas, ou seja, estagnação da área foliar, pois é uma reação natural das plantas numa tentativa de sobrevivência em épocas de limitação de água. Já quando o período de falta hídrica, ocorre no período de floração/enchimento de grãos, este causa redução do tamanho e também do peso dos grãos, muitas vezes dificultando o amadurecimento dos grãos, pois a enzima responsável pela decomposição da clorofila é afetada pela diminuição do teor de água na planta, causando os chamados grãos verdes (Borrmann, 2009).

Lavouras de soja atingidas pela ausência hídrica geralmente apresentam porte de plantas mais baixo, diâmetro de caule menor, folhas murchas e pequenas, entrenós mais curtos, índice de área foliar menor, além de impactos na fixação de nitrogênio no solo (Souza, 2019). Há também a diminuição do rendimento devido ao abortamento de flores e legumes, menor número de grãos por vagem, além da diminuição da qualidade de grãos (Gava et al., 2015).

O índice de área foliar (IAF) é uma ferramenta importante para acompanhar o crescimento da planta, já que se caracteriza por ser a área de folhas em metros quadrados em proporção a área de solo coberta, entretanto, as folhas próximas ao solo geralmente ficam sombreadas pelas folhas superiores e acabam por senescer e cair (Board e Harville, 1992). Com a ausência de água na planta durante o período vegetativo, ocorre a diminuição do IAF, e menor translocação dos fotoassimilados na planta devido a menor taxa de fotossíntese, o que por consequência, diminui o tamanho da planta e resulta em folhas pequenas (Sedyama et al., 2015).

### **2.1.6 Irrigação e Manejo Hídrico Sustentável**

A distribuição irregular de chuvas durante o ciclo da cultura afeta a disponibilidade do recurso hídrico as plantas, portanto, a irrigação suplementar é uma das alternativas para evitar

perdas na produtividade. Ademais, o manejo da irrigação, responsável e de acordo com características do solo, da cultura e a demanda atmosférica se torna ainda mais importante nesse tipo de situação (Allen et al., 1998).

Segundo Oliveira et al. (2002), a cultura da soja enfrenta dois períodos críticos de estresse hídrico durante seu crescimento e desenvolvimento: a germinação-emergência das plântulas e a fase de floração-enchimento de grãos. A disponibilidade de água nessas etapas pode desempenhar um papel significativo na produtividade da lavoura, tanto de forma positiva quanto negativa. Além disso, a presença de água está intimamente relacionada à temperatura, tanto da água quanto do solo ao redor das plantas.

Os efeitos desse estresse hídrico se manifestam por meio do abortamento de flores, óvulos e legumes, e posteriormente podem afetar o tamanho dos grãos (Mundstock & Thomas, 2005). Esses efeitos negativos podem resultar em uma redução significativa na produtividade da cultura da soja. Portanto, é crucial garantir uma adequada disponibilidade de água durante o período crítico do florescimento e formação dos legumes para obter uma colheita satisfatória.

De acordo com Mundstock & Thomas (2005), a falta de água no início do ciclo da soja resulta em uma redução significativa na emissão de novos ramos, o que pode afetar potencialmente o número de nós que produziriam vagens. No entanto, de acordo com o mesmo autor, a planta tem a capacidade de se recuperar parcialmente se houver uma melhoria na disponibilidade de água após a fase de florescimento, permitindo a emissão e fixação de um maior número de flores nos novos nós para a produção de vagens.

Guimarães et al. (2008) afirmam que a produtividade de qualquer cultura é definida pela interação entre os fatores do genótipo da planta, o manejo aplicado sobre essa cultura e também o ambiente em que ela está inserida, sendo desta forma, a falta de um desses fatores, substancialmente importante nos resultados obtidos. Além disso, Vivan et al. (2010), os reduzidos níveis de produtividade do Rio Grande do Sul em alguns anos, expressam a necessidade de incorporar técnicas com maior eficiência para a atividade agrícola, dentre elas, a irrigação.

Radin et al. (2018) apontam que as oscilações do regime pluviométrico — fortemente influenciadas por eventos climáticos como El Niño, Neutralidade e La Niña — podem explicar grande parte das alterações anuais da produtividade da soja na região Sul do Brasil, em função da menor frequência e quantidade de chuva nos estádios reprodutivos. Em concordância com essa afirmação, Franke e Dorfman (2000), baseado em trabalhos de pesquisa consultados, dizem que a irrigação na cultura da soja, nas condições em que o estado Sul-rio-grandense está

inserido, justifica-se tecnicamente e economicamente na maioria dos casos, principalmente nas regiões do Planalto Médio e das Missões.

A disponibilidade de água no solo e a demanda evaporativa da atmosfera condicionam a o estado hídrico das plantas, com esses fatores afetando o acúmulo de matéria seca na planta e crescimento vegetativo das maiorias das culturas (Sinclair, 2018).

Desta forma, a utilização da complementação hídrica para a cultura da soja se apresenta como alternativa para aumentar a produtividade, quando a precipitação natural não é suficiente para atender as demandas hídricas totais da cultura (Vivan et al., 2013).

### **2.1.7 Perda Hídrica e Manejo da Irrigação**

A evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ) significa à quantidade de água consumida pela cultura sem restrições hídricas durante o seu ciclo. A evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) é o modelo referente a condição climática e também demonstra o poder de evaporação da atmosfera (Allen, 2005). Essa  $E_{Tc}$  é resultado do produto da  $E_{To}$  pelo coeficiente de cultura ( $K_c$ ) que é um modelo numérico variável para cada cultura e também diferente durante os estádios fenológicos e IAF para cada cultura (Doorenbos e Kassam, 1994).

De acordo com Turcato e Minuzzi (2024) a taxa de evapotranspiração depende da espécie, da fase de desenvolvimento da planta, do tipo de solo ou substrato utilizado, e das condições climáticas do local onde é estimada. Com isso, o conhecimento da evapotranspiração para cada espécie e local de cultivo, é de grande importância visando o correto manejo da irrigação.

### **2.1.8 Déficit hídrico na formação das vagens**

A fase de formação das vagens (estádio R3) é um dos períodos mais sensíveis da cultura da soja ao déficit hídrico, pois marca o início do acúmulo de matéria seca nos órgãos reprodutivos e o início da definição do potencial produtivo final. Nessa fase, a deficiência de água compromete diretamente a fixação das flores e a formação das vagens, resultando em elevado abortamento floral e redução no número de legumes por planta.

Segundo Farias et al. (2007), a soja necessita de uma disponibilidade hídrica adequada, variando de 7 a 8 mm diários durante o enchimento de grãos, sendo o início dessa demanda já perceptível a partir do estágio R3. A insuficiência hídrica nesse momento leva à redução da

taxa fotossintética e da translocação de fotoassimilados, comprometendo a estrutura dos tecidos em desenvolvimento e o número de grãos formados por vagem (Taiz e Zeiger, 2006).

O déficit hídrico a partir do estágio R3 afeta não apenas a formação de vagens, mas também a expansão dos grãos e o enchimento subsequente. A carência de água reduz a turgescência celular, inibe a divisão e expansão das células nos grãos recém-formados e antecipa a senescência foliar, reduzindo o índice de área foliar (IAF) ativo.

Como consequência, ocorre menor interceptação de radiação solar e queda na assimilação de carbono, o que reduz a massa seca total e, portanto, o rendimento final da cultura (Board e Harville, 1992; Sedyama *et al.*, 2015). Além disso, o fechamento estomático induzido pelo déficit hídrico diminui a condutância gasosa e a eficiência no uso da água, agravando as perdas de produtividade, especialmente quando o estresse ocorre de forma prolongada (Borrmann, 2009; Zanon *et al.*, 2015).

Estudos conduzidos por Lenssen *et al.* (2013) e Battisti *et al.* (2017) demonstram que o déficit hídrico moderado a severo durante os estágios reprodutivos, especialmente entre R3 e R5, pode reduzir a produtividade em mais de 40%, dependendo da cultivar e das condições de solo. Essa sensibilidade elevada deve-se ao fato de que a demanda evaporativa da atmosfera é alta nesse período e coincide com o pico de necessidade hídrica da cultura.

Montoya *et al.* (2017) acrescentam que, enquanto curtos períodos de estresse durante a fase vegetativa podem ser compensados, o déficit na fase de formação e enchimento de vagens é cumulativo e irreversível. Assim, o manejo adequado da irrigação e o monitoramento da umidade do solo são fundamentais a partir do estágio R3, garantindo o suprimento hídrico necessário para maximizar a fixação de vagens e o desenvolvimento dos grãos, mantendo o potencial produtivo da soja em níveis próximos ao seu limite genético.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Local de realização do experimento e características

O trabalho foi realizado no intervalo de tempo compreendido entre os meses de setembro de 2024 e agosto de 2025, na estufa (Figura 1) da área agrícola do Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Ibirubá, localizado no município de Ibirubá – RS, com latitude 28°39'16.50"S e 53° 6'46.49"O, em uma altitude de 458 metros.

**Figura 1** – Estufa de condução do experimento



Fonte: elaborado pela autora (ano).

A estufa utilizada no experimento não possuía controle automatizado de temperatura e umidade, estando sujeita às variações climáticas externas. Sua orientação disposta foi Norte-Sul, sendo adotada para maximizar a incidência solar ao longo do dia, favorecendo a fotossíntese. Com dimensões de 30 metros de comprimento por 10 metros de largura e cobertura total em filme plástico transparente, a estrutura permitia a passagem de radiação suficiente para o desenvolvimento das plantas.

O clima do local, segundo Koppen-Geiger (1936), se classifica como temperado úmido com verão quente (tipo Cfa). Já o solo utilizado, foi coletado de uma área agrícola da instituição, sendo classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006) e utilizado nos vasos plásticos com em mistura com substrato comercial.

### 2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O trabalho foi constituído de um experimento com quatro diferentes lâminas de irrigação (25%, 50%, 75% e 100% da capacidade de vaso) aplicadas a partir do estágio do início da formação das vagens (R3), segundo a classificação de Ritchie et al. (1985) e também Fehr e Caviness (1977). Portanto, tendo assim, 4 tratamentos com 9 repetições cada, com um total de 36 unidades experimentais. Até chegarem nos momentos específicos de aplicação do tratamento, foi aplicado de maneira uniforme irrigação total com 100% da ETc.

Abaixo há uma imagem do croqui com a disposição dos tratamentos e orientação do local de aplicação do experimento (Figura 2).

MATO										
PORTA FUNDO	Z T75 R2	Z T100 R6	Z T25 R2	Z T100 R3	Z T100 R4	Z T25 R6	Z T75 R6	Z T100 R5	Z T50 R6	PORTA FRENTE
	Z T25 R3	Z T50 R2	Z T100 R9	Z T25 R1	Z T25 R4	Z T75 R7	Z T50 R3	Z T50 R8	Z T75 R4	
	Z T50 R1	Z T75 R9	Z T25 R9	Z T75 R8	Z T100 R7	Z T100 R1	Z T75 R1	Z T100 R2	Z T100 R8	
	Z T50 R5	Z T25 R8	Z T50 R9	Z T25 R5	Z T50 R7	Z T50 R4	Z T25 R7	Z T75 R5	Z T75 R3	
HORTA										

ZEUS	T25	25% ETc
	T50	50% ETc
	T75	75% ETc
	T100	100% ETc



**Figura 2: Croqui do experimento**

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso (Figura 3), utilizado como recipiente individual para o cultivo das plantas. Em cada vaso foram depositadas sementes de soja previamente selecionadas quanto à uniformidade, sanidade e viabilidade fisiológica, garantindo a homogeneidade do material experimental. Dessa forma, cada vaso passou a representar uma unidade experimental independente, permitindo a avaliação dos efeitos dos tratamentos sobre o desenvolvimento e a produtividade das plantas.



**Figura 3: Vaso utilizado para cada unidade experimental**

### 2.2.3 Condução do experimento

#### 2.2.3.1 Fase inicial do experimento

Para a condução do experimento, foram utilizados vasos plásticos com capacidade de 18 litros, os quais foram preenchidos com aproximadamente 15 kg de solo (Latossolo Vermelho camada 0-10 cm) e 3 kg substrato comercial para plantas da marca Carolina Soil Pindstrup, e dispostos na estufa (Figura 4) de forma manual conforme a disposição do croqui.



**Figura 4: Vasos dispostos na estufa**

Para a realização da sementeira, foi feita a fertilização com NPK 05-20-20 (Figura 5A), para após ser semeado três sementes por vaso (Figura 5B) da cultivar BMX Zeus IPRO, para garantir a germinação de ao menos uma plântula por unidade experimental. Estas sementes, depois de germinarem e emergirem, com as plântulas estando no estágio fenológico V1, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por unidade experimental para a sequência do projeto.



**Figura 5: Adubação pré-semeadura (A) e Sementes depositados no solo do vaso (B)**

#### 2.2.3.2 Irrigação do experimento

Enquanto as plantas estavam nos estádios vegetativos e também nos estádios reprodutivos até a diferenciação dos tratamentos (estádio R3), foi utilizado uma lâmina de irrigação fixa via microaspersores, a qual atendia a demanda da ET<sub>c</sub> da soja, significando em média 6 mm de irrigação diária ao longo desse ciclo.

O sistema de irrigação foi o de microaspersão, com tubulação de Policloreto de vinila (PVC) com 25 mm de diâmetro. O sistema tem uma linha principal e quatro linhas laterais suspensas a 3 metros de altura, espaçadas de um metro entre linhas e com microaspersores espaçados de 0,5 em 0,5 metro, sendo utilizados microaspersores da marca Fabrimar (Figura 6).



**Figura 6: Exemplificação da irrigação por aspersores em funcionamento**

Após as plantas atingirem o estágio fenológico R3, foi alterado as lâminas de irrigação conforme os tratamentos, utilizando o método da pesagem para determinar a capacidade de armazenamento de água dos vasos, para então estimar a lâmina de irrigação a ser utilizada e fornecida às plantas através de irrigação manual com o auxílio de um copo medidor (Figura 7).



**Figura 7: Copo medidor para irrigação manual**

Quando atingido o momento de aplicação do tratamento (estádio fenológico R3) o manejo de irrigação foi realizado de acordo com a capacidade de retenção de água no vaso. Foi

determinada a capacidade do vaso e a verificação da massa em situação de capacidade de campo e foram submetidos os tratamentos de acordo os níveis de disponibilidade hídrica (25, 50, 75 e 100% da capacidade de vaso).

Para a determinação da capacidade de retenção de água no vaso primeiramente foi realizada a secagem do substrato + solo e tomado ao acaso três amostras (vasos), posteriormente os vasos foram preenchidos com mistura suficiente para atingir a borda do vaso. Os vasos plásticos foram submetidos ao somatório entre massa do vaso e massa de substrato + solo seco para posteriormente determinar-se a capacidade de retenção de água (CRV), segundo metodologia descrita por Kampf et al. (2006).

A capacidade de retenção de água do substrato foi obtida, por meio da equação:

$$CRV = M2 - M1$$

Onde: CRV é a capacidade de retenção de água;

M1 é a massa do vaso com o substrato + solo seco

M2 é a massa do vaso em capacidade de retenção máxima de água.

Desta forma, foi realizado a pesagem dos vasos, para determinação da capacidade de campo, ou seja, foi adicionado água até que houvesse drenagem de água pelo vaso na parte inferior. Depois disso, foi pesado novamente os vasos agora saturados de água, observando a diferença de massa, a qual, foi aplicado a fórmula de Kampf, e assim, convertido em volume de água a ser irrigada, conforme os tratamentos (Figura 8).



**Figura 8: Pesagem para irrigação manual.**

Uma vez determinada à capacidade máxima de retenção de água do solo mais substrato utilizado, foram estipulados os tratamentos de 25, 50, 75 e 100 % da CRV. De acordo com os cálculos realizados, os tratamentos ficaram constituídos das seguintes irrigações:

- 25%: 0,57 L/irrigação;
- 50%: 1,15 L/irrigação;
- 75%: 1,72 L/irrigação;
- 100%: 2,30 L/irrigação.

Desta forma, foi aplicado o volume de água necessária para atingir a massa do vaso pré estabelecidas para os distintos tratamentos do experimento. O turno de rega foi fixo, uma vez que as respectivas lâminas foram aplicadas a cada 2 dias. Para a determinação da evapotranspiração de referência foram coletados os dados meteorológicos provenientes de uma estação automática do INMET, instalada cerca de 100 metros do local de condução do experimento.

Posteriormente, foi utilizado a equação de Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1998), estando estas informações inseridas em planilha da Embrapa para a determinação diária da ETo. Para a determinação da evapotranspiração da cultura foram utilizados os coeficientes de cultura de acordo com a FAO, visto que a ETc obtida através da multiplicação da ETo e do coeficiente de cultura (Kc).

#### 2.2.3.3 Fase final do experimento

Durante o mesmo período, foi necessário a realização da condução das plantas, muito em virtude do maior espaçamento entre os vasos e a circulação de vento, quando as estufas estavam abertas. Para tal condução, foi necessário o uso de escoras com taquara e fazer a devida amarração das plantas com barbante para que pudessem permanecer eretas e evitar a quebra das mesmas (Figura 9).



**Figura 9: Amarrações das plantas com as estacas de taquara.**

No decorrer do experimento, mostraram-se essenciais tratamentos culturais como aplicações de inseticidas e fungicidas, sendo que estas foram realizadas por meio de um pulverizador manual (Figura 10). Ao todo, foram efetuados quatro tratamentos envolvendo fungicidas e cinco tratamentos contendo inseticidas, devido principalmente a presença maior de tripes, muito devido ao ambiente da estufa que favorecia o desenvolvimento e multiplicação desta praga.



**Figura 10: Pulverizador manual para aplicações de produtos químicos.**

Conforme aproximou-se os momentos finais do ciclo da cultura da soja, notou-se que em geral as plantas com menor aporte hídrico atingiram a maturação fisiológica antes das que

recebiam lâminas de irrigação maiores. Com isso teve de ser realizada a colheita em duas etapas, com diferença temporal de duas semanas entre as colheitas, para assim colher todas as plantas nos momentos ideais do seu ciclo fisiológico de maturação (Figura 11).



**Figura 11: Primeiras plantas próximas da maturidade fisiológica.**

#### **2.2.4 Avaliações**

A colheita foi realizada de modo manual, com o intuito de ser observada todas as características produtivas e morfológicas das plantas. Para isto, foi arrancado as plantas manualmente dos vasos, realizando as avaliações e a debulha manual dos legumes, e posteriormente, armazenando os grãos e a matéria orgânica em sacos de papel para as análises seguintes (Figura 12).



**Figura 12: Armazenamento da Matéria Seca**

Foi realizado a avaliação em todas as plantas do experimento, tendo em vista que, cada planta representa uma unidade experimental. Os materiais coletados foram conduzidos até a estrutura do Laboratório de Sementes do IFRS Campus Ibirubá, para que pudesse ser realizado as avaliações, tais como medição, contagem e também pesagens na balança analítica de precisão, conforme pode ser observado nas Figura 13.



**Figura 13: Pesagem de amostras**

Essas avaliações realizadas foram divididas em dois grupos: componentes de rendimento da cultura e características morfológicas da cultura. Os componentes de rendimento

se subdividem em: número de vagens, números de grãos por vagem e total, peso de grãos e produtividade da cultura. Já as características morfológicas se subdividem em: altura de plantas, números de nós e nós produtivos, número de ramos, número de ramos produtivos, rendimento biológico (massa seca total) e índice de colheita (massa seca de grãos dividido por massa seca total).

As avaliações em sua totalidade foram realizadas após o término do ciclo da cultura da soja, sendo realizadas da seguinte forma:

- a) Altura de plantas: determinada com auxílio de uma régua graduada em centímetros, sendo medida a altura de plantas em centímetros, do colo da planta rente ao solo do vaso até a extremidade apical da haste principal (Milani et al., 2008);
- b) Número de nós: estimado através da contagem do número de nós totais, depois do nó cotiledonar até extremidade do nó terminal;
- c) Número de nós produtivos: estimado através da contagem do número de nós que possuam ao menos uma vagem contendo grãos, começando a contagem dos nós apenas depois do nó cotiledonar até a extremidade do nó terminal;
- d) Número de ramos: determinado pela contagem do número de ramificações emitidas pela planta através da haste principal;
- e) Número de ramos produtivos: determinado pela contagem do número de ramificações que possuam estruturas reprodutivas com grãos, emitidas pela planta através da haste principal;
- f) Número de vagens: obtido pela separação e contagem do número total de vagens das plantas de cada vaso, expressando-se o resultado médio do número de vagens por planta (Wendt et al., 2014);
- g) Número de grãos: determinado pela contagem dos grãos das plantas de cada vaso, expressando-se o resultado médio de grãos por planta (Wendt et al., 2014);
- h) Número de grãos por vagem: obtida pela divisão do “item g” pelo “item f”, expressando-se o número médio de grãos por vagem;
- i) Massa de mil grãos: determinada pela contagem de oito subamostras de 100 grãos, pela média da massa expressa e extrapolação para mil grãos, em cada unidade experimental (Wendt et al., 2014). Essas amostras serão pesadas em balança de precisão de 0,01 g (Brasil, 2009) e os dados obtidos serão corrigidos para o teor de umidade de 13% e expressos em gramas;
- j) Produtividade: obtida pela colheita das plantas de cada vaso, que após secas, serão colhidas e debulhadas manualmente. Após isso, os grãos serão pesados, corrigindo para

o teor de umidade 13%, convertendo a produtividade para  $\text{g.planta}^{-1}$  (Wendt et al., 2014);

- k) Rendimento biológico (massa seca total): realizada por meio da coleta de toda a estrutura da planta, inclusive as raízes contidas nos vasos de cada unidade experimental. Essa coleta será realizada após a colheita dos grãos e essas amostras serão conduzidas até uma estufa de circulação de ar forçada a  $65^{\circ}\text{C}$ , onde permanecerão até atingirem peso constante. Após a pesagem, os dados serão convertidos para produção de matéria seca em  $\text{g.planta}^{-1}$  (Adaptado de Milani et al., 2008);
- l) Índice de colheita: estimado por meio da divisão do peso total da massa seca de grãos da planta pela massa seca total da mesma planta.

Com os resultados das avaliações, foi realizado a avaliação estatística dos dados, submetidos à análise de regressões, ajustando equações e gráficos para cada uma das variáveis respostas estudadas por essa pesquisa. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ), através do site SAIS e quando significativos, à análise de regressão.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto aos resultados, para as variáveis altura de plantas, número de nós, número de nós produtivos e comprimento de raízes não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos de acordo com o teste F, conforme pode ser observado na tabela 3 abaixo.

**Tabela 3** - Altura de plantas, número de nós, número de nós produtivos e comprimento de raízes nas diferentes lâminas de irrigação. Ibirubá/RS, 2025.

Tratamentos		Variáveis Respostas		
Lâmina de Irrigação	Altura de Plantas (cm)	Número de Nós	Número de Nós Produtivos	Comprimento de Raízes (cm)
25%	68,4 <sup>ns</sup>	14,4 <sup>ns</sup>	14,0 <sup>ns</sup>	20,7 <sup>ns</sup>
50%	80,3	15,8	15,6	20,4
75%	84,7	16,1	15,9	22,2
100%	80,0	17,0	16,3	23,2
Médias	78,4	15,8	15,4	21,6

<sup>ns</sup> Não significativo pelo Teste F.

Gava et al. (2015), estudando o déficit e o excesso hídrico em diferentes estádios do desenvolvimento da soja, verificou diferença estatística significativa para a altura de plantas, em que o excesso hídrico durante o período vegetativo apresentou a maior altura de plantas, porém diferindo apenas do tratamento com restrição hídrica no ciclo total da cultura.

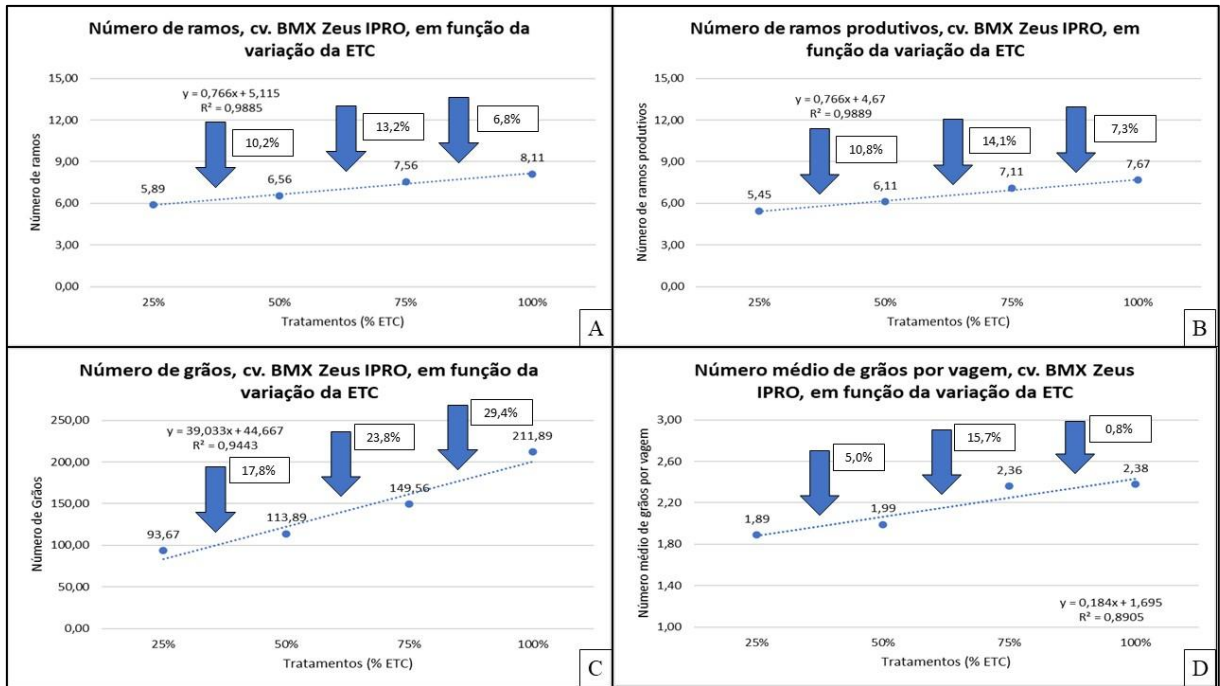
Segundo Báez et al. (2020), em todos os tratamentos avaliados, a soja atingiu sua altura máxima entre 80 e 90 dias após a semeadura (DAS), mas a limitação hídrica severa resultou em plantas mais baixas. Esse estresse causou redução de aproximadamente 40 cm na altura, o que equivale a uma queda de 29,6% em comparação com as plantas sem déficit hídrico. No segundo ano de estudo, essa diferença foi menos pronunciada, chegando a apenas 11,5% de redução de altura. Tais resultados são coniventes com os relatados por Gava et al. (2016) e Simeão (2015).

Apesar de no presente trabalho não terem sido observadas diferenças estatísticas para o número de nós, resultados semelhantes foram relatados por Narayana et al. (2024), que verificaram apenas uma redução moderada sob estresse hídrico, sem significância para a interação genotípica, indicando que essa característica pode apresentar estabilidade mesmo sob condições de limitação hídrica.

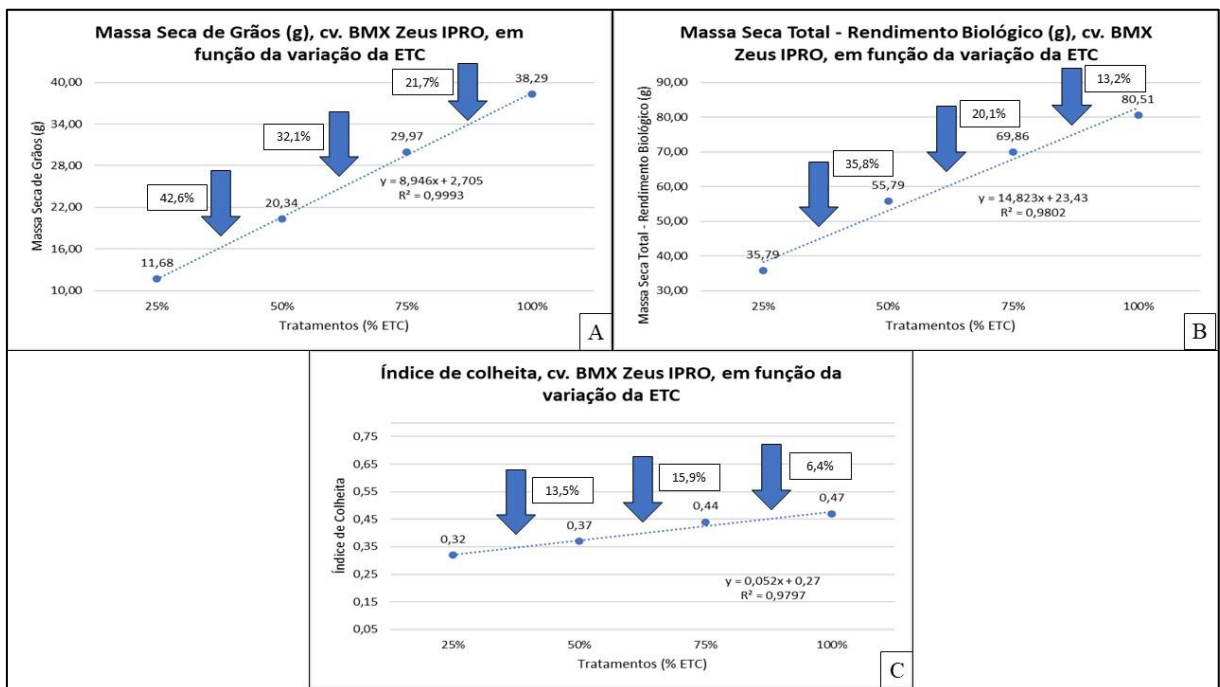
Thenveetil et al. (2025) destacaram que o déficit hídrico reduziu o número de nós produtivos e o número de vagens por planta, evidenciando a sensibilidade dessas variáveis à restrição de água. No presente estudo, este déficit não afetou significativamente o número de nós produtivos, o que pode estar relacionado à capacidade de adaptação das plantas ou à intensidade e duração do estresse aplicado.

Kunert et al. (2016) destacam que a seca tende a restringir o alongamento das raízes finas e reduzir o crescimento em profundidade, embora em determinadas condições possa ocorrer incremento compensatório de raízes mais profundas na tentativa de explorar camadas úmidas do solo. Assim como observado por Narayana et al. (2024), no presente estudo o comprimento de raízes não apresentou diferença estatística expressiva entre os tratamentos, sugerindo que a plasticidade radicular da soja pode ter contribuído para a manutenção do crescimento mesmo sob restrição hídrica.

Em relação as variáveis número de ramos, número de ramos produtivos, número de grãos, número médio de grãos/vagem, massa seca de grãos, rendimento biológico e índice de colheita, todas estas apresentaram significância pelo teste F e apresentaram melhor adequação a equação de primeiro grau pela análise de regressão, em função do valor do R-quadrado ( $R^2$ ), conforme figura 14 e figura 15.



**Figura 14: Análise de Regressão para número de ramos (A), número de ramos produtivos (B), número de grãos (C) e número médio de grãos por vagem (D).**



**Figura 15: Análise de Regressão para massa seca de grãos (A), massa seca total – rendimento biológico (B) e índice de colheita (C).**

Observou-se aumento progressivo no número de ramos totais e produtivos com o incremento da ETC (Figuras 14A e 14B). O número médio de ramos passou de 5,89 (25% da

ETC) para 8,11 (100% da ETC), com alto ajuste linear ( $R^2 = 0,9885$ ). Resultado semelhante foi obtido para os ramos produtivos, variando de 5,45 a 7,67 ( $R^2 = 0,9889$ ). Esses dados indicam que a restrição hídrica limitou a expansão e a diferenciação de ramos, refletindo a sensibilidade da cultivar à redução da disponibilidade de água no solo.

Além disso, o aumento do número de ramos com maiores níveis de ETC está relacionado à melhor disponibilidade hídrica, que favorece o crescimento vegetativo e o desenvolvimento de gemas axilares. Enquanto que, para o número de ramos produtivos a maior disponibilidade de água contribui para o pleno florescimento e frutificação das ramificações.

O número de grãos apresentou comportamento linear crescente ( $R^2 = 0,9443$ ), aumentando de 93,67 para 211,89 grãos conforme o aumento do nível de reposição hídrica (Figura 14C). O incremento linear no número de grãos reflete o efeito positivo da água na manutenção da fotossíntese e no enchimento de vagens.

O número médio de grãos por vagem também aumentou ( $R^2 = 0,7887$ ), ainda que de forma menos expressiva, indicando que a escassez hídrica afetou mais intensamente a formação de vagens do que o enchimento de grãos. A variação foi discreta, indicando que o número de grãos por vagem é uma característica menos sensível ao estresse hídrico. Ainda assim, o leve aumento sob maior ETC sugere melhor fecundação e desenvolvimento de vagens.

A massa seca de grãos e a massa seca total (rendimento biológico) apresentaram elevação linear significativa com o aumento da ETC ( $R^2 = 0,9993$  e  $0,9802$ , respectivamente) (Figura 15A e 15B). A maior disponibilidade hídrica favoreceu tanto o acúmulo de biomassa quanto o rendimento de grãos, corroborando o papel da água na manutenção da atividade fotossintética e translocação de fotoassimilados.

O índice de colheita aumentou de 0,32 (25% ETC) para 0,47 (100% ETC), com ajuste linear ( $R^2 = 0,9797$ ) (Figura 15C). Isso demonstra que, sob condições adequadas de água, há melhor partição de assimilados para estruturas reprodutivas, enquanto o déficit hídrico reduz a eficiência de conversão de biomassa total em grãos.

MacMillan e Gulden (2020) observaram que o número de ramos e sua produtividade podem variar significativamente com a densidade de plantio, indicando que fatores ambientais, como disponibilidade de água, modulam a formação de ramos e sua contribuição para o rendimento. Já Wijewardana et al. (2018) relataram que a falta de recurso hídrico durante fases vegetativas reduz o número de ramos formados por planta, impactando diretamente a produtividade dos ramos.

Mirakhori et al. (2009) observaram uma redução de aproximadamente 36% no número de ramos sob condições de déficit hídrico, evidenciando a sensibilidade desta variável à

disponibilidade de água. Frederick et al. (2001) relataram que tal evento limitante, entre florescimento e enchimento reduz o crescimento vegetativo dos ramos, impactando a formação de ramos produtivos e, conseqüentemente, o rendimento da planta.

Poudel et al. (2023) verificaram que o estresse hídrico reduziu significativamente o número de grãos por planta e por vagem, indicando que a limitação de água durante o enchimento de grãos compromete a eficiência reprodutiva da soja. Li et al. (2024a) observaram que o estresse combinado de calor e seca reduziu o número de grãos por vagem em até 13,7%, reforçando a sensibilidade dessa variável às condições de estresse durante o florescimento. Wang et al. (2025) relataram que o déficit hídrico reduziu tanto o número de grãos por planta quanto por vagem, evidenciando a importância da disponibilidade hídrica durante as fases reprodutivas da soja.

Resultados como os de Li et al. (2024b) reforçam que a limitação hídrica pode comprometer o acúmulo de massa seca nos grãos em função da menor disponibilidade de assimilados nas fases finais de desenvolvimento. Báez et al. (2020) relatou que a redução da disponibilidade hídrica ao longo do ciclo da soja ocasionou diminuição significativa da produtividade e da massa de grãos, demonstrando sensibilidade da cultura ao déficit em diferentes estádios fenológicos.

De acordo com os resultados de Gebre e Earl (2021), a escassez hídrica reduziu significativamente a massa seca total das plantas, afetando tanto a biomassa radicular quanto a parte aérea, o que refletiu em menor eficiência no uso da água e redução do rendimento biológico da soja. Conforme relatado por Wei et al. (2018), a limitação hídrica imposta em diferentes estádios fenológicos resultou em expressiva diminuição da acumulação de massa seca total, com reduções superiores a 60% sob estresse severo, evidenciando a sensibilidade do rendimento biológico da soja a falta de recurso hídrico.

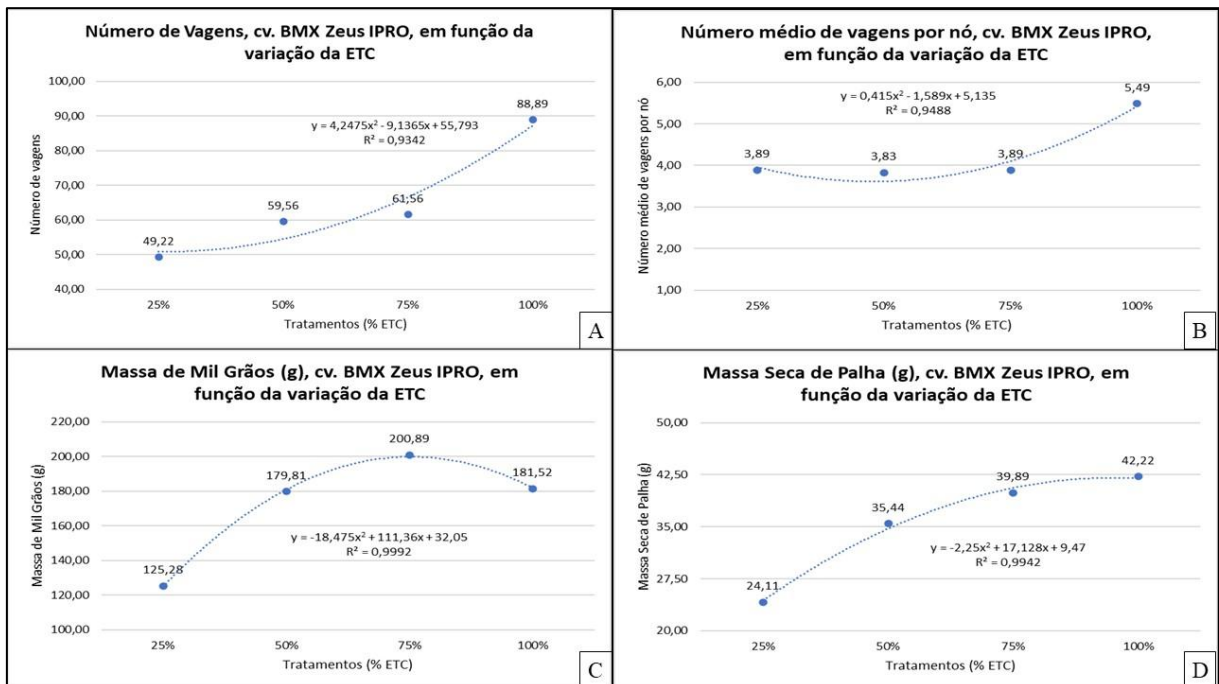
Ambos os estudos evidenciam que o índice de colheita (ICG) é sensivelmente reduzido sob déficit hídrico, sendo que Wijewardana et al. (2018) demonstram declínio linear do ICG com a redução da umidade do solo, enquanto Jumrani e Bhatia (2017) destacam que essa queda é agravada pela interação com o estresse térmico, indicando que a combinação de seca e alta temperatura intensifica as perdas de rendimento.

Os resultados apresentados por Ávila et al. (2010) indicam que as fases de pré-florescimento, formação de vagens e enchimento de grãos são as mais suscetíveis à deficiência hídrica, sendo que a escassez de água nesses estádios ocasionou redução da produtividade e de alguns de seus componentes.

Sob condições de estresse hídrico moderado, a soja tende a aumentar a eficiência no uso da radiação, embora apresente redução na capacidade de interceptar a radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA). Já em situações de restrição hídrica intensa, observa-se queda na eficiência de utilização da radiação. Dessa forma, os efeitos do déficit hídrico sobre o crescimento e a produção de biomassa da cultura variam conforme a fase de desenvolvimento e a intensidade do estresse (GAVA et al., 2015).

Segundo Perini et al. (2012), a produtividade máxima da soja está fortemente associada ao número de grãos produzidos por planta. Achados semelhantes foram relatados por Atti et al. (2005), os quais verificaram que a limitação hídrica no solo comprometeu o desenvolvimento e reduziu a produtividade da soja, independentemente do nível de estresse avaliado (25 % e 50 % de reposição da ETC).

No que diz respeito às variáveis resposta número de vagens, número médio de vagens por nó, massa de mil grãos e massa seca de palha, todas estas apresentaram significância pelo teste F e apresentaram melhor adequação a equação de segundo grau pela análise de regressão, conforme figura 16 abaixo.



**Figura 16: Análise de Regressão para número de vagens (A), número médio de vagens por nó (B), massa de mil grãos (C) e massa seca de palha (D).**

O número de vagens por planta apresentou incremento expressivo conforme o aumento da ETC, ajustando-se a um modelo quadrático ( $R^2 = 0,9342$ ), com ponto de mínima estimado em 26,88% da ETC (50,88 vagens) e valores variando de 49,22 (25% ETC) a 88,89 (100%

ETC) (Figura 16A). O aumento do número de vagens com maiores níveis de água disponível indica que a adequada disponibilidade hídrica favorece o florescimento e a retenção das estruturas reprodutivas. Em condições de déficit, ocorre abortamento floral e menor formação de vagens devido à limitação fotossintética e hormonal.

O número médio de vagens por nó também seguiu tendência quadrática ( $R^2 = 0,9488$ ), apresentando ponto de mínima em 47,83% da ETC (3,62 vagens por nó) e valor máximo de 5,49 vagens por nó na reposição hídrica total (Figura 16B). Esses resultados demonstram que o déficit hídrico comprometeu a formação de estruturas reprodutivas, principalmente nas fases de florescimento e enchimento de grãos, reduzindo a eficiência reprodutiva da cultura.

A massa de mil grãos apresentou comportamento quadrático ( $R^2 = 0,9992$ ), com ponto máximo estimado em 75,34% da ETC (199,86 g), reduzindo levemente sob reposição total (181,52 g) (Figura 16C). Esse comportamento sugere que níveis moderados de estresse hídrico podem ter induzido mecanismos compensatórios na planta, resultando em maior peso de grãos até certo limite, enquanto a limitação severa ou o excesso relativo de água reduziram a massa final.

A massa seca de palha apresentou resposta quadrática ( $R^2 = 0,9942$ ), com ponto de máxima estimado em 95,05% da ETC (41,95 g), indicando tendência de estabilização sob reposição hídrica total (Figura 16D). O aumento da disponibilidade hídrica favoreceu o acúmulo de biomassa vegetativa, refletindo maior crescimento e partição de assimilados para tecidos estruturais.

Com o estudo de Gava et al. (2015), verificou-se que a presença de limitação hídrica comprometeu a altura das plantas, reduziu a quantidade de vagens e grãos por planta, além de diminuir o peso de 100 grãos, refletindo diretamente em menor produtividade. De acordo com Perini et al. (2012), nas cultivares de crescimento indeterminado, características como o número total de vagens e a quantidade de vagens presentes nos ramos não se destacam como fatores decisivos na seleção de materiais mais produtivos. Por outro lado, Barbaro et al. (2006) ressaltam que o número de vagens por planta constitui um dos principais componentes associados à determinação do rendimento de grãos.

Segundo Turc e Tardieu (2018), a queda no rendimento de grãos em decorrência da deficiência hídrica durante a fase reprodutiva está associada ao elevado abortamento de óvulos, o que conseqüentemente diminui a quantidade de grãos por vagem.

Conforme Balbinot Junior et al. (2015), a quantidade de grãos por vagem depende, principalmente, das condições de disponibilidade hídrica durante a fase de enchimento. Báez et al. (2020) verificaram que para a variável peso de mil grãos, não foram observadas diferenças

significativas entre tratamentos. Segundo Claus et al. (2016), a massa de 1.000 grãos é uma característica diretamente relacionada ao rendimento da cultura, sendo utilizada como um dos principais indicadores de produtividade em estudos agronômicos.

O estudo de Nico et al. (2016) evidenciou que a taxa de aborto reprodutivo está associada à disponibilidade de assimilados durante a fase crítica de enchimento, indicando que restrições ambientais como déficit de radiação ou hídrica comprometem a formação e retenção de vagens.

Os resultados mostraram que o déficit hídrico reduziu significativamente a taxa de acúmulo de massa seca da parte aérea, afetando tanto folhas quanto ramos e vagens.

Wang et al. (1995) observaram que a deficiência hídrica reduziu a biomassa total acumulada, principalmente pela queda na taxa de crescimento da parte aérea e pela diminuição da área foliar ativa. Essa redução de matéria seca refletiu-se diretamente no menor rendimento final, demonstrando forte correlação entre produção de biomassa e tolerância ao estresse hídrico.

Conforme pode ser observado nos resultados, o déficit hídrico impacta significativamente nas variáveis respostas dos componentes produtivos e morfológicos da cultura da soja, reduzindo desde quantidade aportada de material vegetal seco e até mesmo componentes que afetam o rendimento da cultura, como vagens e grãos, principalmente.

Estes resultados impactam diretamente na sociedade e no setor produtivo local, através da observação dos impactos que estiagens ou até mesmo veranicos, em estádios mais avançados, como o período reprodutivo pós-florescimento podem fornecer sobre a cultura. Em resumo, pode-se confirmar através desse trabalho que a cultura da soja é drasticamente afetada por tal restrição hídrica no seu período reprodutivo.

Ademais, tendo em vista esses resultados, produtores que possuem a possibilidade de investir ou buscar recursos financeiros para aportar sistemas de irrigação em suas áreas sempre tornaram seu sistema mais resiliente e também mais produtivo

### 3 CONCLUSÃO

O déficit hídrico exerce influência direta sobre a morfologia e a produtividade da cultura da soja, sobretudo quando ocorre em períodos críticos do ciclo, como o pós-florescimento, especialmente no estágio R3, conforme verificado neste estudo.

A restrição hídrica reduziu de forma expressiva os componentes de rendimento da soja, especialmente sob reposições inferiores a 50% do consumo de água. O melhor desempenho produtivo foi obtido entre 75 e 100% da demanda hídrica, indicando que níveis moderados de reposição de água são suficientes para manter o potencial fisiológico e o rendimento da cultura.

Como perspectiva para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos que considerem o déficit hídrico, sobre o crescimento e a produtividade da cultura. A avaliação de diferentes estádios fenológicos — desde o período vegetativo até o reprodutivo — e a inclusão de cultivares com distintos grupos de maturidade também podem ampliar o entendimento das respostas fisiológicas e produtivas da soja frente às variações do regime hídrico.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. **Evaporation modeling: potential**. In: Encyclopedia of Hydrological Sciences, 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/267566410\\_46\\_Evaporation\\_Modeling\\_Potential](https://www.researchgate.net/publication/267566410_46_Evaporation_Modeling_Potential). Acesso em: 20 mai. 2024.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. 1998. Disponível em: <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490E00.htm>. Acesso em: 20 mai. 2024.
- ALMEIDA, A. M. de; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. da S.; QUILOANGO-CHIMARRO, C.; AZEVEDO, A. T.; OLIVEIRA COSTA, J. de. Water use efficiency and canopy temperature response of soybean subjected to deficit irrigation. **Italian Journal of Agrometeorology**, Firenze: Firenze University Press, v. 1, p. 3-16, 2024.
- ALMEIDA, L. A. de; KIIHL, R. A. de S.; MIRANDA, M. A. C. de; CAMPELO, G. J. de A. **Melhoramento da soja para regiões de baixas latitudes**. Edição única. Embrapa soja: 1999. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro. Disponível em: < <http://www.cpatsoa.embrapa.br/catalogo/livrorg/sojamelhoramento.pdf> >. Acesso em: 10 de mai. 2024.
- ALVES, É. da S.; RODRIGUES, L. N.; OLIVEIRA, R. A.; LORENA, D. R. Déficit hídrico no crescimento e produtividade de soja irrigada na região do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 11, p. 750-757, 2021.
- ANDRADE, S. R. M. de. **Impacto do déficit hídrico em diferentes fases do desenvolvimento da soja**. Revista Cultivar – Grandes Culturas, 29 jul. 2024. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/impacto-do-deficit-hidrico-em-diferentes-fases-do-desenvolvimento-da-soja>. Acesso em: 21 out. 2025.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; DAMASCENO, L. M. O.; DIAS, N. S.; GHEYI, H. R.; GUISELINI, C. Climate variations in greenhouse cultivated with gerbera and relationship with external conditions. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 857-867, set./out. 2011.
- ARAÚJO, H. F.; LEAL, P. A. M.; ZORZETO, T. Q.; NUNES, E. F.; BETIN, P. S.; SERVILHA, G. F. P. Alterações micrometeorológicas em ambientes protegidos cultivados com minitomate orgânico. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 226-238, 2016.
- ATTI, S.; BONNELL, R.; PRASHER, S.; SMITH, D. L. Response of soybean {Glycinemax (L.) Merr.} under chronic water deficit to lco application during flowering and pod fillingy. **Irrigation and Drainage**, v.54, p.15-30, 2005.
- ÁVILA, M. R.; BARIZÃO, D. A. O.; GOMES, E. P.; FEDRI, G.; ALBRECHT, L. P. Cultivo de feijoeiro no outono/inverno associado à aplicação de bioestimulante e adubo foliar na presença e ausência de irrigação. **Scientia Agraria**, v.11, p.221-230, 2010.

BÁEZ, M. S. A.; PETRY, M. T.; CARLESSO, R.; BASSO, L. J.; ROCHA, M. R. da; RODRIGUEZ, G. J. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investigación Agraria**, San Lorenzo, v. 22, n. 1, p. 25–34, jun. 2020.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. de O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. **Densidade de plantas na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 38 p. (Documentos, 364). ISSN 2176-2937.

BARBARO, I. M.; CRUZ, M. F. A.; DI MAURO, A. O.; TREVISOLI, S. H. U.; ARIEL, N. H.; OSTA, M. Path analysis and expected response in indirect selection for grain yield in soybean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 6, p. 151-159, 2006.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; BASSO, C. J. Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 83, p. 1-14, 2017.

BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G. Explanations for greater light interception in narrow vs. wide-row soybean. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 1, p. 198-202, 1992.

BOOTE, K. J.; IBRAHIM, A. M. H.; LAFITTE, R.; MCCULLEY, R.; MESSINA, C.; MURRAY, S. C.; SPECHT, J. E.; TAYLOR, S.; WESTGATE, M. E.; GLASENER, K.; BIJL, C. G.; GIESE, J. H. Position Statement on Crop Adaptation to Climate Change. **Crop Science**, Madison, v. 51, p. 2337-2343, 2011.

BORRMANN, D. **Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas a soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabólitos incolores**. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9131/tde-25092009-150741/en.php>. Acesso em: 20 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño–Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 3, p. 37-48, 2008.

CAMPAGNARO, N.; NEVES, E. das; BRUM, E. V. P.; DIPPLE, F. L. A produtividade da soja e seu resultado associado às condições ambientais: revisão de literatura. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 23, n. 1, p. 1-25, 2025.

CARDOSO, L. S.; BERGAMASCHI, H.; COMIRAN, F.; CHAVARRIA, G.; MARODIN, G. A. B.; DALMAGO, G. A.; SANTOS, H. P. dos; MANDELLI, F. Alterações micrometeorológicas em vinhedos pelo uso de coberturas de plástico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 441–447, abr. 2008.

CLAUS, A.; HOEPERS, L. M. L.; HELING, A. L.; BOTTCHEER, A.; MISSIO, V. C. **Características agronômicas da soja cultivada sob três tipos de manejo.** In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA – CONTECC'2016, 2016, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: CONFEA/CREA, 2016.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, DF, v.11 – Safra 2023/24, n.7 - Sétimo levantamento, p. 1-117, abril 2024.

COSTA, A. da; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. da; PÉRTILE, P.; SILVA, F. R. da. Retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina: efeito das classes texturais, classes de solo e litologias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1535-1548, 2013.

CUNHA, D. A. da; COELHO, A. B.; FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J.; SOUZA, E. C. de. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba-SP, v. 51, n. 2, p. 369-386, abr./jun. 2013.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33). Tradução de H. R. Gheyi; A. A. de Sousa; F. A. V. Damasceno; J. F. de Medeiros.

ELIAS, J.; FERRAZ, C. **Rio Grande do Sul tem terceiro ano de seca e “isso não é normal”, diz professor.** 2023. CNN Brasil. Disponível em: < <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/rio-grande-do-sul-tem-terceiro-ano-de-seca-e-isso-nao-e-normal-diz-professor/> >. Acesso em: 11 de mai. 2024.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Ecofisiologia da soja.** Circular técnica. Paraná, 2007. ISSN 1516-7860. 9p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/busca-de-publicacoes/-/publicacao/470308/ecofisiologia-da-soja>. Acesso em: 20 mai. 2024.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** – Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: EMRAPA Solos, 412, 2006.

FAO. **Relatórios.** Disponível em: < <https://www.fao.org.br/ultimosRelatoriosFao.asp> >. Acesso em: 10 out. 2010.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja.** 1º edição. Londrina: 2007. p. 9. Disponível em: < <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/470308> >. Acesso em: 10 de mai. 2024.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development.** Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p.

FERNANDES, J. F.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 2, p. 132-141, 2003.

FRANKE A. E.; DORFMAN R. Necessidades de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do planalto médio e missões, RS. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1675-1683, ago. 2000.

FREDERICK, J. R.; CAMP, C. R.; BAUER, P. J. Drought-stress effects on branch and mainstem seed yield and yield components of determinate soybean. **Crop Science**, v. 41, n. 3, p. 759–763, 2001.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; VIEIRA JOSÉ, J. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.9, nº.6, p. 349 - 359, 2015.

GAVA, R.; FRIZZONE, J.; SNYDER, R.; ALMEIDA, B.; FREITAS, P.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.

GEBRE, M.; EARL, H. Soil water deficit and fertilizer placement effects on root biomass distribution, soil water extraction, water use, yield, and yield components of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) grown in 1-m rooting columns. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, art. 581127, 2021.

GUIMARÃES, F. de S.; REZENDE, P. M. de; CASTRO, E. M. de; CARVALHO, E. de A.; ANDRADE, M. J. B. de; CARVALHO, E. R. Cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para cultivo de verão na região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1099-1106, jul./ago., 2008.

HOLCMAN, E.; SENTELHAS, P. C.; MELLO, S. da C. Microclimatic changes caused by different plastic coverings in greenhouses cultivated with cherry tomato in southern Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 125-133, 2015.

JUMRANI, K.; BHATIA, V. S. Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 23, n. 3, p. 537–548, 2017.

KÄMPF, A. N.; TAKANE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V. **Floricultura: técnicas de preparo de substratos**. Brasília, 2006. 129 p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Das geographischa System der Klimate**. Gebr, Borntraeger, 1936. p.1-44.

KUNERT, K. J.; VORSTER, B. J.; FENTA, B. A.; KIBIDO, T.; DIONISIO, G.; FOYER, C. H. Drought stress responses in soybean roots and nodules. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, art. 1015, 2016.

KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. 2006. 81f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

LI, G.; LONG, H.; ZHANG, R.; XU, A.; NIU, L. Photosynthetic traits, water use and the yield of maize are influenced by soil water stability. **BMC Plant Biology**, v. 24, p. 1235, 2024a.

LI, M.; LIU, Y.; PAN, Y.; ZHANG, X.; XU, K.; QU, Y.; LI, H. Quantifying high-temperature and drought stress effects on soybean growth and yield in the Western Guanzhong Plain. **Atmosphere**, v. 15, n. 4, art. 392, 2024b.

LENSSEN, A.; WRIGHT, D.; LICHT, M. **Soybean response to drought**. Ames: Iowa State University Digital Repository, 2013. Disponível em: <https://dr.lib.iastate.edu/entities/publication/d8c18bf9-3340-4c9e-866c-5e258b7226e4>. Acesso em: 7 oct. 2025.

MACMILLAN, K. P.; GULDEN, R. H. Effect of seeding date, environment and cultivar on soybean seed yield, yield components, and seed quality in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 1-12, 2020.

MAIS SOJA. **Cultivares: adaptabilidade e estabilidade**. Disponível em: <https://maissoja.com.br/cultivares-adaptabilidade-e-estabilidade/>. Acesso em: 21 out. 2025.

MILANI, G. L.; OLIVEIRA, J. A.; CASTRO E SILVA, L. H.; VON PINHO, E. V. de R.; GUIMARÃES, R. M. Nodulação e desenvolvimento de plantas oriundas de sementes de soja com altos teores de molibdênio. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 30, nº 2, p.019-027, 2008.

MIRAKHORI, M.; PAKNEJAD, F.; MORADI, F.; ARDAKANI, M. R.; ZAHEDI, H.; NAZERI, P. Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of soybean Max (L 17). **American Journal of Biochemistry and Biotechnology**, v. 5, n. 4, p. 162–169, 2009.

MONTOYA, F.; GARCIA, C.; PINTOS, F.; OTERO, A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.193, p.30-45, 2017.

MORAIS, N. B.; BEZERRA, F. M. L.; MEDEIROS, J. F.; CHAVES, S. W. P. Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.369-377, 2008.

MORBIDINI, F.; BARRERA Jr., W.; ZANIN, G.; VERDI, L.; CAMAROTTO, C.; GHINASSI, G.; MAUCIERI, C.; DALLA MARTA, A.; BORIN, M. The state of the art on deficit irrigation in soybean. **Irrigation and Drainage**, v. 73, p. 757-769, 2024.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e rendimento de grãos**. Porto Alegre, Evangraf, 2005. 31p.

NARAYANA, N. K.; WIJewardana, C.; ALSAJRI, F. A.; REDDY, K. R.; STETINA, S. R.; BHEEMANAHALLI, R. Resilience of soybean genotypes to drought stress during the early vegetative stage. **Scientific Reports**, v. 14, p. 17365, 2024.

NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. **Características da soja**. Edição única. Brasília: 2019. Disponível em: <  
[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01\\_24\\_271020069131.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_24_271020069131.html)>. Acesso em: 09 de mai. 2024.

NEPOMUCENO, M.; ALVES, P. L. C. A.; DIAS, T. C. S.; PAVANI, M. C. M. D. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da soja nos sistemas de semeadura direta e convencional. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 25, n. 1, p. 43-50, 2007.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. **Estádios de desenvolvimento da cultura de soja**. In: BONATO, Emídio Rizzo. Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 19-44.

NICO, M.; MANTESE, A. I.; MIRALLES, D. J.; KANTOLIC, A. G. Soybean fruit development and set at the node level under combined photoperiod and radiation conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 1, p. 365–377, 2016.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. de S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1079-1087, 2002.

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. da S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, supl. 1, p. 2531-2544, 2012.

PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ZUFFO, A. M.; PIAULINO, A. C.; XAVIER, Z. F.; SANTOS, J. M dos; MIRANDA, J. M. de S. Desempenho de plantas de cobertura submetidas à deficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, suplemento 1, p.3307-3320, 2013.

POUDEL, S.; VENNAM, R. R.; SHRESTHA, A.; REDDY, K. R.; WIJEWARDANE, N. K.; REDDY, K. N.; BHEEMANAHALLI, R. Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. **Scientific Reports**, v. 13, art. 1277, 2023.

RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, 2018.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia**, v.25, p.75-84, 2007.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University Cooperative Extension Service, Special Report 53, 1985. Disponível em:  
<https://publications.iowa.gov/14855/1/1985%20How%20a%20Soybean%20Plant%20Develops.pdf>. Acesso em: 7 oct. 2025.

ROLDÃO, A. de F. **Influência do fenômeno veranico na produtividade da soja na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba - MG**. Uberlândia/MG: Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia,

2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia. 118 f. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/16220/1/InfluenciaFenomenoVeranico.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

ROSA, L.; RULLI, M. C.; DAVIS, K. F.; CHIARELLI, D. D.; PASSERA, C; D'ODORICO, P. Closing the yield gap while ensuring water sustainability. **Environmental Research Letters**, IOP Publishing, v. 13, n. 10, p. 104002, sep 2018.

ROSSATTO, A. A. P.; KIRCHNER, J. H.; MARTINS, J. D.; SANDER, L. S.; AMARAL, W. N. B. do; PETRY, M. T. Partição da evapotranspiração da cultura da soja em diferentes cultivares em cada estágio fenológico. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 3, p. 477-492, julho-setembro, 2022.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; GERVÁSIO, G. G.; BRAGA, J. C.; LEPRI, E. B. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciências e Agrotecnologia**, v.33, p.532-538, 2009.

SCHMIDT, F. V. **Proposição de metodologia de planejamento de sistemas de irrigação em pequenas e médias propriedades agrícolas no Brasil**. 2007. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia – AGRICON, Foz do Iguaçu.

SEDIYAMA, T.; GLASENAPP, J. S.; MATSUO, E. **Estresse abiótico**. In: SEDIYAMA, T. Melhoria Genética da Soja. Londrina: Mecenias, 2015, p. 103- 126.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL C. The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v. 153, p. 1394-1411, 2015.

SILVA, J. C. da; HELDWEIN, A. B.; RADONS, S. Z.; MALDANER, I. C.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Necessidade de irrigação para o feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.10, p.1030–1036, 2011.

SILVA, V. T. da; GAVA, R.; CORIM, M. F.; WASSOLOWSKI, C. R.; TEODORO, P. E.; SNYDER, R. L. Manejo de irrigação na cultura da soja em sistema de semeadura direta, sobre restos culturais de *Brachiaria ruziziensis*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, e64963430, 2020.

SIMEÃO, Marcelo. **Crescimento e produtividade de grãos de soja sob déficit hídrico no solo**. 2015. 76 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Bom Jesus, 2015.

SINCLAIR, T. R. Effective water use required for improving crop growth rather than transpiration efficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, art. 1442, 2018.

SOUZA, I. J. de. **Influência da irrigação suplementar no desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em Cachoeira do Sul**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrícola) — Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul, RS, 2019. Disponível em:

[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19275/Souza\\_Iraj%C3%A1\\_Jantsch.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19275/Souza_Iraj%C3%A1_Jantsch.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 20 mai. 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology** (4th ed.). Sunderland: Sinauer Associates. 764 p. 2006.

TEODORO, P. E.; OLIVEIRA, E. P.; CORRÊA, C. C. G. Acúmulo de massa seca na soja em resposta à aplicação foliar com silício sob condições de déficit hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 1, p. 24–33, jan./fev. 2015.

THENVEETIL, N.; BHEEMANAHALLI, R.; KHAREL, T. P.; REDDY, K. N.; GAO, W.; REDDY, K. R. Drought and high nighttime temperature impact on soybean seed yield and quality under ambient and elevated CO<sub>2</sub> environments. **Scientific Reports**, v. 15, art. 36679, 2025.

TURC, O.; TARDIEU, F. Drought affects abortion of reproductive organs by exacerbating developmentally driven processes via expansive growth and hydraulics. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 69, n. 13, p. 3245-3254, 2018.

TURCATO, T.; MINUZZI, R. B. Avaliação na estimativa da evapotranspiração de referência diária e decenal nas condições climáticas do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 39, e39240046, 2024.

VIVAN, G. A.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; BARBOZA F. da S.; BUSKE, T. C. Rendimento relativo da cultura da soja em função da lâmina de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 282-292, abril-junho, 2013.

VIVAN, G. A.; PEREIRA, R. S.; BORGES, L. F.; MACHADO, M. R. **Avaliação das variáveis referentes à produção de soja no Rio Grande do Sul para o período agrícola 2004-2007**. Geomática (Santa Maria. Online), v. 2, n. 1, p. 45–56, 2010.

WANG, C.; SUN, A.; ZHU, L.; LIU, M.; ZHANG, Q.; WANG, L.; GAO, X. Drought and rewatering effects on soybean photosynthesis, physiology and yield. **PeerJ**, v. 13, e19658, 2025.

WANG, P.; ISODA, A.; WEI, G. Growth and adaptation of soybean cultivars under water stress conditions: III. Yield response and dry matter production. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 64, n. 4, p. 777–783, 1995.

WEI, Y.; JIN, J.; JIANG, S.; NING, S.; LIU, L. Quantitative response of soybean development and yield to drought stress during different growth stages in the Huaibei Plain, China. **Agronomy**, v. 8, n. 7, p. 97, 2018.

WENDT, L.; GOMES JUNIOR, F. G.; ZORATO, M. de F.; MOREIRA, G. C. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja por meio de imagens. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 280-286, jul./set. 2014.

WIJEWARDANA, C.; REDDY, K. R.; ALSAJRI, F. A.; IRBY, J. T.; KRUTZ, J.; GOLDEN, B. Quantifying soil moisture deficit effects on soybean yield and yield component distribution patterns. **Irrigation Science**, v. 36, n. 3, p. 241–255, 2018.

ZANON, A. J.; WINCK, J. E. M.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M. da; CERA, J. C.; RICHTER, G. L.; LAGO, I.; SANTOS, P. M. dos; MACIEL, L. da R.; GUEDES, J. V. C.; MARCHESAN, E. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 4, p.400-411, 2015.

ZAPATA-GARCÍA, S.; TEMNANI, A.; BERRÍOS, P.; ESPINOSA, P. J.; MONLLOR, C.; PÉREZ-PASTOR, A. Using soil water status sensors to optimize water and nutrient use in melon under semi-arid conditions. **Agronomy**, v. 13, n. 10, p. 2652, 2023.