

III Feira de Ciências, Tecnologia e Inovação da UFSM-CS

Eficiência do uso da água e desempenho agrônômico da soja em função da suplementação de água e luz

Water use efficiency and agronomic performance of soybean as a function of water and light supplementation

Zanandra Boff Oliveira¹ , Ana Luíza Canto da Silva¹ ,
Paulo César Vargas Luz¹ , Reyel Kiefer Unfer¹ , Eduardo Leonel Bottega¹ ,
Alexander Nagorsny¹ , Bruno Gabriel Mayerhofer¹ , Rafael Rohrs Borges¹ 

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil

RESUMO

A melhoria da eficiência das plantas pode ser um processo utilizado para aumentar de forma sustentável o potencial da produção agrícola. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar parâmetros morfológicos das plantas de soja, os componentes de rendimento, a produtividade e o teor de proteína de grãos e, a eficiência do uso da água, em um cultivo experimental com suplementação luminosa (com diferentes espectros) e hídrica, na safra 2023/24, em Cachoeira do Sul – RS. Um experimento de campo foi conduzido na área experimental da UFSM-CS, para a coleta de todas as informações referentes ao cultivo da soja, necessárias para atingir os objetivos propostos. A suplementação hídrica e luminosa incrementou o índice de área foliar, a altura de plantas e todos os componentes de rendimento da soja, sobretudo, o número de vagens planta⁻¹ e o peso de mil grãos. Com isso, a produtividade da soja foi máxima de 8.475,7 kg ha⁻¹, quando se utilizou a suplementação luminosa nos espectros do vermelho (FarRed) e do violeta (Red+Blue), associado à irrigação de 121 mm (6 irrigações ao longo do ciclo). Estes manejos aumentaram a eficiência do uso da água, que foi de 11 kg mm⁻¹ e o teor de proteína dos grãos da soja, que foi de até 41%. Portanto, a suplementação hídrica e luminosa (espectro do vermelho e do violeta) contribuiu para o aumento da produtividade da soja, para o aumento da eficiência do uso da água e para a melhoria da qualidade (proteína) dos grãos produzidos.

Palavras-chave: Espectro luminoso; Suprimento hídrico; *Glycine max*

ABSTRACT

Improving plant efficiency can be a process used to sustainably increase agricultural production potential. Thus, the present study aims to analyze the morphological parameters of soybean plants, yield components, productivity and grain protein content, and water use efficiency, in an experimental crop with

light (with different spectra) and water supplementation, in the 2023/24 harvest, in Cachoeira do Sul - RS. A field experiment was conducted in the experimental area of UFSM-CS, to collect all information related to soybean cultivation, allowing to achieve the proposed objectives. Water and light supplementation increased the leaf area index, plant height and all soybean yield components, especially the number of pods per plant⁻¹ and the weight of a thousand grains. Thus, soybean productivity reached a maximum of 8,475.7 kg ha⁻¹ when light supplementation in the red (FarRed) and violet (Red+Blue) spectra was used, associated with transparency of 121 mm (6 irrigations throughout the cycle). These managements increased water use efficiency, which was 11 kg mm⁻¹, and the protein content of soybean grains, which was up to 41%. Therefore, water and light supplementation (red and violet spectrum) contributed to increased soybean productivity, increased water use efficiency, and improved quality (protein) of the grains produced.

Keywords: Light spectrum; Water supply; *Glycine max*

1 INTRODUÇÃO

A soja destaca-se como um dos grãos mais importantes na agricultura, pois proporcionou uma grande revolução alimentar, visto que, é a proteína de origem vegetal com melhor custo-benefício para a produção de uma gama de alimentos. Além da versatilidade, já que pode ser utilizada pelas indústrias veterinária, alimentícia, farmacêutica, cosméticos, tintas, adesivos e plásticos, entre outras (APROSOJA, 2025; EMBRAPA 2021). Assim, buscar estratégias para aumentar a produtividade dessa cultura, é fundamental para a segurança alimentar.

O aumento da demanda por alimentos para suprir o constante crescimento da população humana, aliado a um contexto global de mudanças climáticas (aquecimento global) representaram um grande desafio para a produção agrícola (IPCC, 2014; Tamiru; Fekadu, 2019). No mesmo tempo em que há uma necessidade real de intensificação da produção agrícola, há também, a necessidade do uso de abordagens tecnológicas cada vez mais sustentáveis. Nesse contexto, a melhoria da eficiência das plantas pode ser um processo utilizado para aumentar de forma sustentável o potencial da produção agrícola (Kaiser *et al.*, 2019; Singer *et al.*, 2020). Isso pode ser feito usando diferentes estratégias, envolvendo o material genético e o manejo eficiente dos fatores de produção (Zanon *et al.*, 2018). Mas, também, pode ser adicionado a esse conjunto fatores de rendimento como luz (Gupta, 2017; Lemes *et al.*, 2021) e água, por meio da utilização da irrigação

(Sentelhas *et al.*, 2015, Silva *et al.*, 2020, Oliveira; Baranzelli; Knies, 2023). A água e a luz são essenciais para a produção de fotoassimilados pelas plantas. A água transporta nutrientes e é utilizada na fotossíntese, enquanto a luz fornece a energia para converter dióxido de carbono e água em açúcares (Taiz; Zeiger, 2013).

A utilização da irrigação pode ampliar a produtividade da soja em duas ou até três vezes quando comparada ao cultivo em condições de sequeiro (Oliveira; Knies; Gomes, 2020, Oliveira *et al.* 2021; Pigatto *et al.* 2023; Oliveira; Baranzelli; Knies, 2023). Nesse mesmo sentido, Gomez; Izzo (2018) apontam os impactos positivos da suplementação de luz usando diodo emissor de luz (LED) no metabolismo da planta. Lemes *et al.* (2021), em seu estudo de MG-Brasil utilizando suplementação luminosa e hídrica (pivô central), constataram que a suplementação de luz aumentou a produtividade de grãos de soja em 57,3% e sua lucratividade em 180% em comparação com processos de cultivo sem suplementação de luz artificial.

Além disso, a suplementação luminosa pode melhorar a eficiência do uso da água em culturas, principalmente ao aumentar a fotossíntese e, conseqüentemente, a produção de biomassa. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), é a faixa da radiação solar entre 400 e 700 nm que os organismos fotossintéticos, como as plantas, podem utilizar para realizar a fotossíntese. Assim, a suplementação luminosa com diferentes espectros de luz, é uma técnica que visa otimizar o crescimento e desenvolvimento de plantas, fornecendo luz artificial com comprimentos de onda que as plantas absorvem e utilizam mais eficientemente para a fotossíntese, como o vermelho e o azul. Na literatura estão disponíveis resultados positivos obtidos para diversas culturas sob diferentes espectros de iluminação de LEDs: azul, vermelho e vermelho distante (Etae *et al.*, 2020; Dörr *et al.*, 2020; Yan *et al.*, 2018).

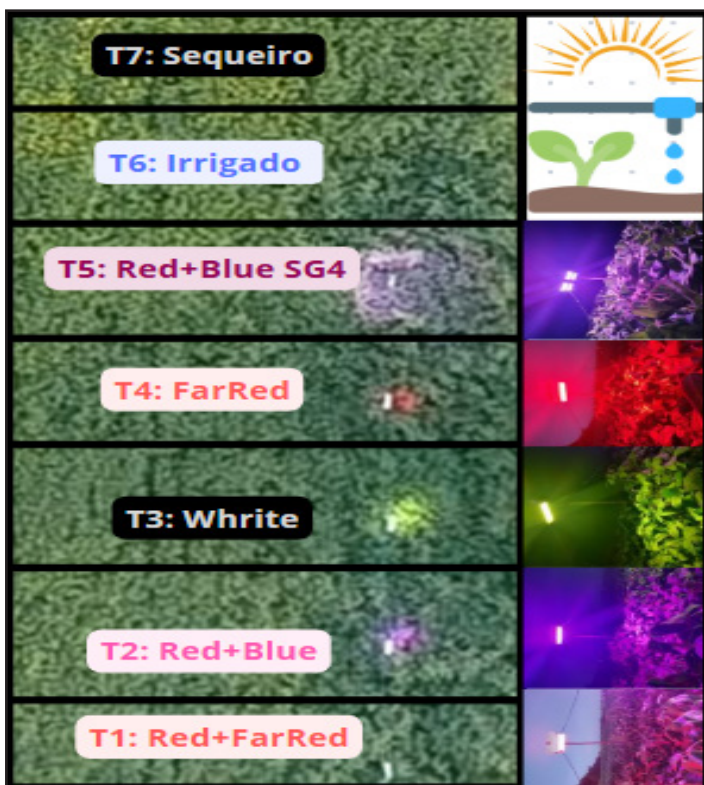
Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar parâmetros morfológicos das plantas de soja, os componentes de rendimento, a produtividade e o teor de proteína de grãos e, a eficiência do uso da água, em um cultivo experimental com suplementação luminosa (com diferentes espectros) e hídrica, na safra 2023/24, em Cachoeira do Sul – RS.

2 METODOLOGIA

O experimento foi instalado na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria Cachoeira do Sul (longitude de -52,96, latitude de -30,01 e altitude de 79,2 m), cujo o solo é um Argissolo Vermelho (EMBRAPA, 2013). O clima, segundo a classificação de Köppen, se enquadra no tipo Cfb.

Em função da disponibilidade de apenas uma lâmpada de cada espectro, os tratamentos de iluminação foram aplicados em faixas de 3,15 m (7 linhas) x 2,0 m. Utilizou-se 5 luminárias LED s, sendo estas: Red+FarRed (L1), Red+Blue (2), White (3), FarRed (L4), Red+Blue SG4 (L5). A irrigação foi por um sistema de gotejamento superficial instalado na entrelinha de cultivo, com espaçamento entre emissores de 0,2 m. Assim, os tratamentos avaliados foram: T1 (L1+irrigação), T2 (L2+irrigação), T3 (L3+irrigação), T4 (L4+irrigação), T5 (L5+irrigação), T6 (apenas com irrigação) e T7 (testemunha), conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Localização e layout da condução do experimento



Fonte: Autores, 2025

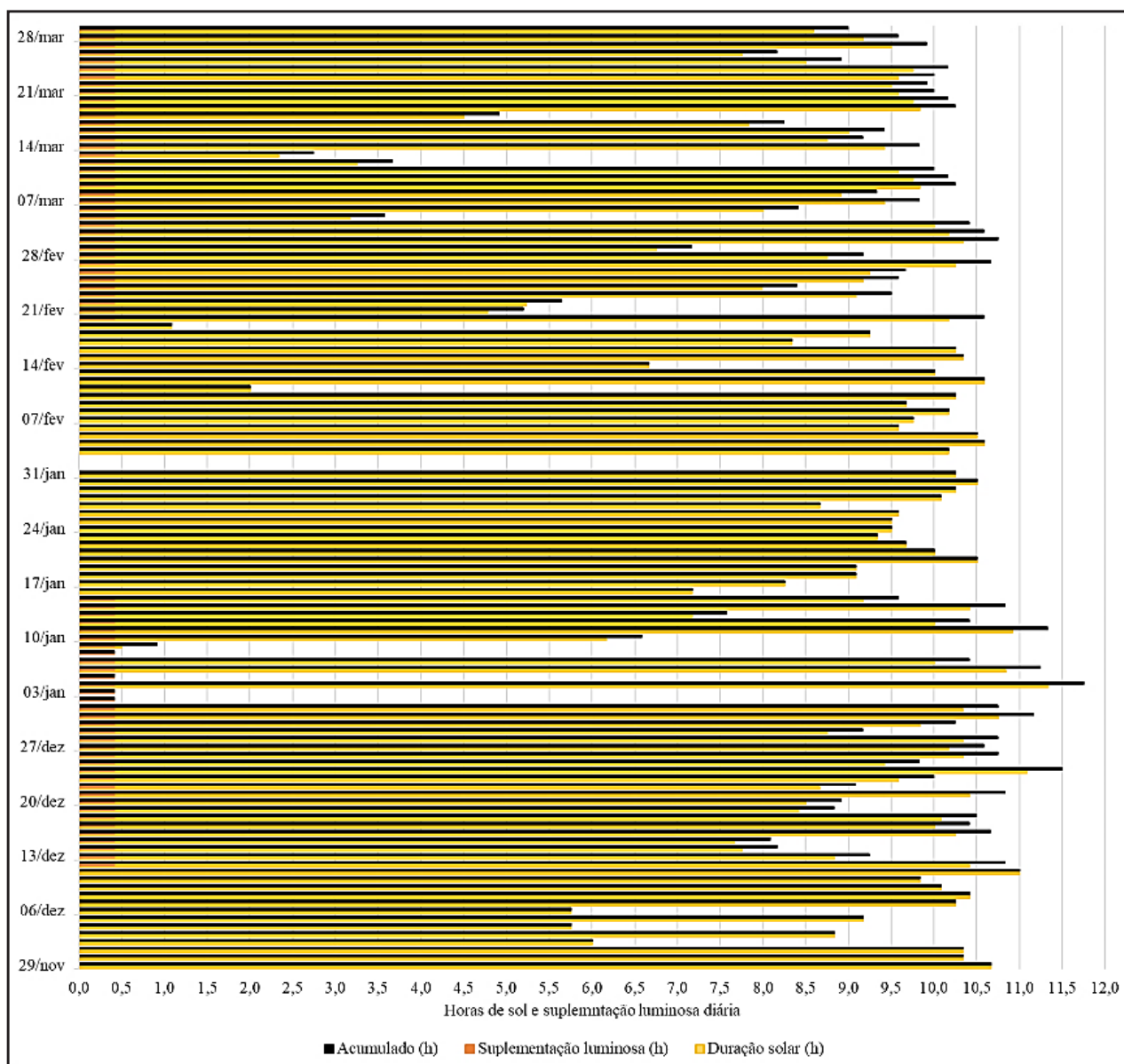
A cultivar BMX Zeus (GMR 5.5) foi semeada no dia 28/11/2023 com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e 14 semente m linear⁻¹, perfazendo uma densidade de semeadura de 3111.111,1 sementes ha⁻¹. As sementes foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* e a adubação de base foi de 300 kg ha⁻¹ da fórmula comercial 4-28-28 (N-P-K). Os demais manejos seguiram as recomendações agronômicas para a cultura.

O manejo da irrigação foi igual em todos os tratamentos que receberam irrigação e baseou-se no balanço hídrico do solo, conforme Allen *et al.* (1998), para manter a capacidade de água disponível (CAD) com a fração de esgotamento de 40%. Os dados meteorológicos apresentados (Figura 2) e os necessários para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), foram obtidos de uma estação automática (Metos-Brasil), instalada a cerca de 50 m do local do experimento. A evapotranspiração da cultura (ET_c), foi obtida pela multiplicação da ET_o pelo coeficiente de cultivo (K_c). O cálculo do K_c levou em consideração a fração de cobertura do dossel (F_c), que indica o ponto de inflexão e deflexão na curva do K_c.

Durante o ciclo de desenvolvimento da cultura realizou-se a determinação da área foliar de duas plantas por tratamento, nos dias 09/01/2024 (V 14- R1), 31/01/2024 (R2-R3) e 22/02/2024 (R5). Para isso mediu-se o comprimento e a maior largura do folíolo central do trifólio e utilizou-se a equação de Richter *et al* (2014) para a obtenção da área foliar por planta (cm²). Após, calculou-se o índice de área foliar (IAF), pela razão entre a área foliar (cm²) e a área ocupada pela planta (cm²), médio para cada tratamento. Na última avaliação, mediu-se a altura de plantas (da superfície do solo até o último nó produtivo).

O manejo da suplementação luminosa foi de 25 min de fotoperíodo extra no período compreendido entre v3 a v12/13 (12/12/23 a 15/01/24), uma pausa para soja entrar em floração (R1), após o retorno em 20/02/24 (R5) que perdurou até 01/04/24 (R8), totalizando 32 h de suplementação luminosa no ciclo. Utilizou-se um timer digital temporizador para ligar as lâmpadas diariamente no horário pré-estabelecido em função do fotoperíodo. A Figura 2 apresenta os valores diários de horas de sol e os valores totais com a suplementação luminosa.

Figura 2 – Número de horas de luz (solar e artificial) para os dias do ciclo de cultivo



Fonte: Autores, 2025

No final do ciclo de desenvolvimento da cultura (18/04/2024), procedeu-se à colheita. Para isso foram colhidas três repetições de 1,5 m linear de duas linhas por tratamento (1,35 m² por repetição), após realizou-se debulha de todas as plantas, a limpeza, a determinação de umidade dos grãos e a pesagem. O peso obtido foi corrigido para uma umidade de 13% e extrapolado para hectare (kg ha⁻¹), desta mesma amostra realizou-se a contagem e pesagem de 1000 grãos (PMG) e, de três plantas por parcela realizou-se a contagem de vagens (vagem planta⁻¹) e de grãos (grãos

vagem⁻¹). A eficiência do uso da água (EUA) em kg mm⁻¹ foi obtida pela razão entre a produtividade da cultura média por tratamento (kg ha⁻¹) e o total de água utilizado pela cultura (irrigada: chuva + irrigação e sequeiro: chuva).

Utilizou-se três amostras de aproximadamente 100 g de grãos de cada tratamento para a determinação da proteína dos grãos, pelo o Kjeldahl. Na determinação da proteína bruta, multiplica-se o valor do nitrogênio total encontrado pelo método de Kjeldahl por um fator (6,25), que converte o nitrogênio em proteína (Galvani; Gaertner, 2006). As variáveis respostas obtidas nos tratamentos (T1 a T6) foram comparadas com o T7 (T1 x T7; T2 X T7; T3 X T7; T4 X T7; T5 X T7; T6 X T7), pelo teste “Teste t” para amostras pareadas (p-valor <0,05).

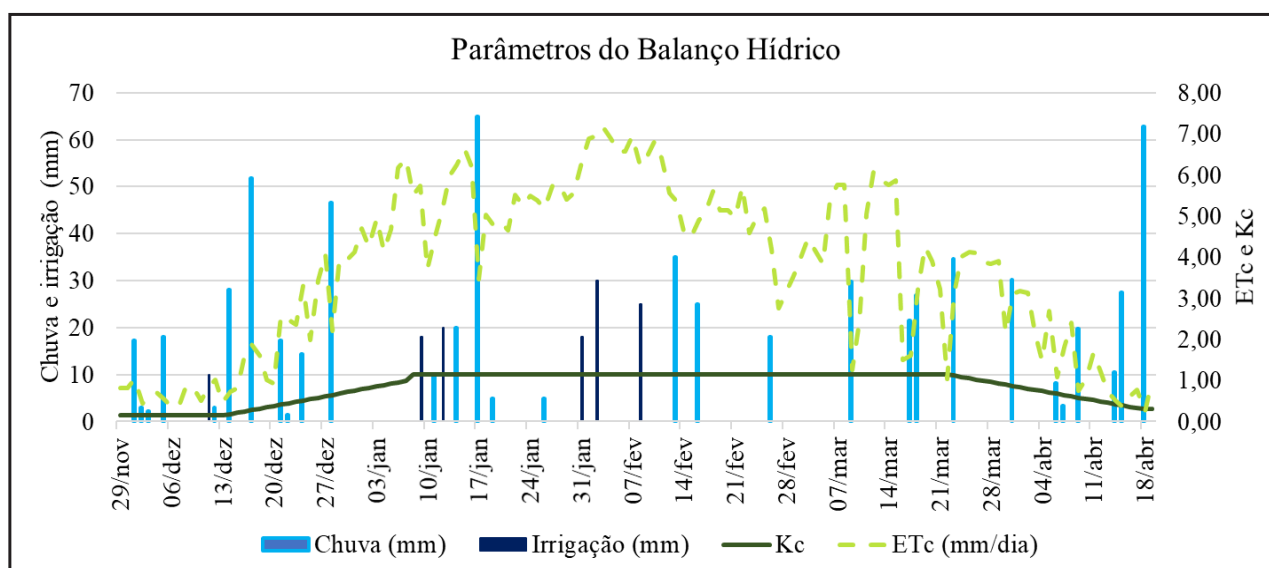
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A duração do ciclo de cultivo foi de 142 dias para todos os tratamentos (Figura 3). Embora, os tratamentos sem suplementação luminosa tenham entrado antes em fase reprodutiva (R1-floração), no dia 7 de janeiro. Enquanto, os tratamentos com suplementação luminosa, o R1 foi por volta de 27 de janeiro. A cultivar utilizada compensou esse atraso para floração (20 dias aproximadamente) que houve com a suplementação luminosa, com a redução do subperíodo reprodutivo. O desenvolvimento e a floração da soja são influenciados principalmente por fatores ambientais, como fotoperíodo e temperatura (WU *et al.*, 2015; Kantolic; Slafer, 2005). A soja é considerada uma planta de dia curto, ou seja, ela floresce quando o período de luz diária é menor do que um certo valor crítico, razão pela qual houve a suspensão da suplementação luminosa entre 15/01 e 20/02.

As condições meteorológicas da safra 2023-24 estavam sobre a influência do ENOS em sua fase quente, chamada de El Niño, que se caracteriza por apresentar chuvas acima da média climatológica para a região sul do Brasil (Fontana; Berlato, 1996; Puchalski, 2000). Dessa forma, as chuvas acumuladas no ciclo somaram 661,2 mm (Figura 3), que se fossem bem distribuídas, teriam suprido a demanda hídrica da cultura, visto que a ETc acumulada foi de 518,9 mm.

Todavia, houveram períodos específicos sem eventos de chuvas por vários dias consecutivos, um deles entre 12/12 e 08/01, quando a cultura estava em fase de rápido crescimento vegetativo - início de período reprodutivo e, outro, na fase de floração e formação do legume (final de janeiro a meados de fevereiro), quando a cultura apresentava alta demanda evapotranspiratória (Figura 3). Assim, foram necessários 121 mm de irrigação suplementar (Figura 3), para suprir a demanda hídrica da cultura nesses períodos. Thomas; Costa (2010) afirmam que, a fase inicial de estabelecimento das plantas, juntamente com a fase reprodutiva, representa os momentos mais críticos ao déficit hídrico da soja.

Figura 3 – Parâmetros do balanço hídrico observados ao longo do ciclo de cultivo da soja

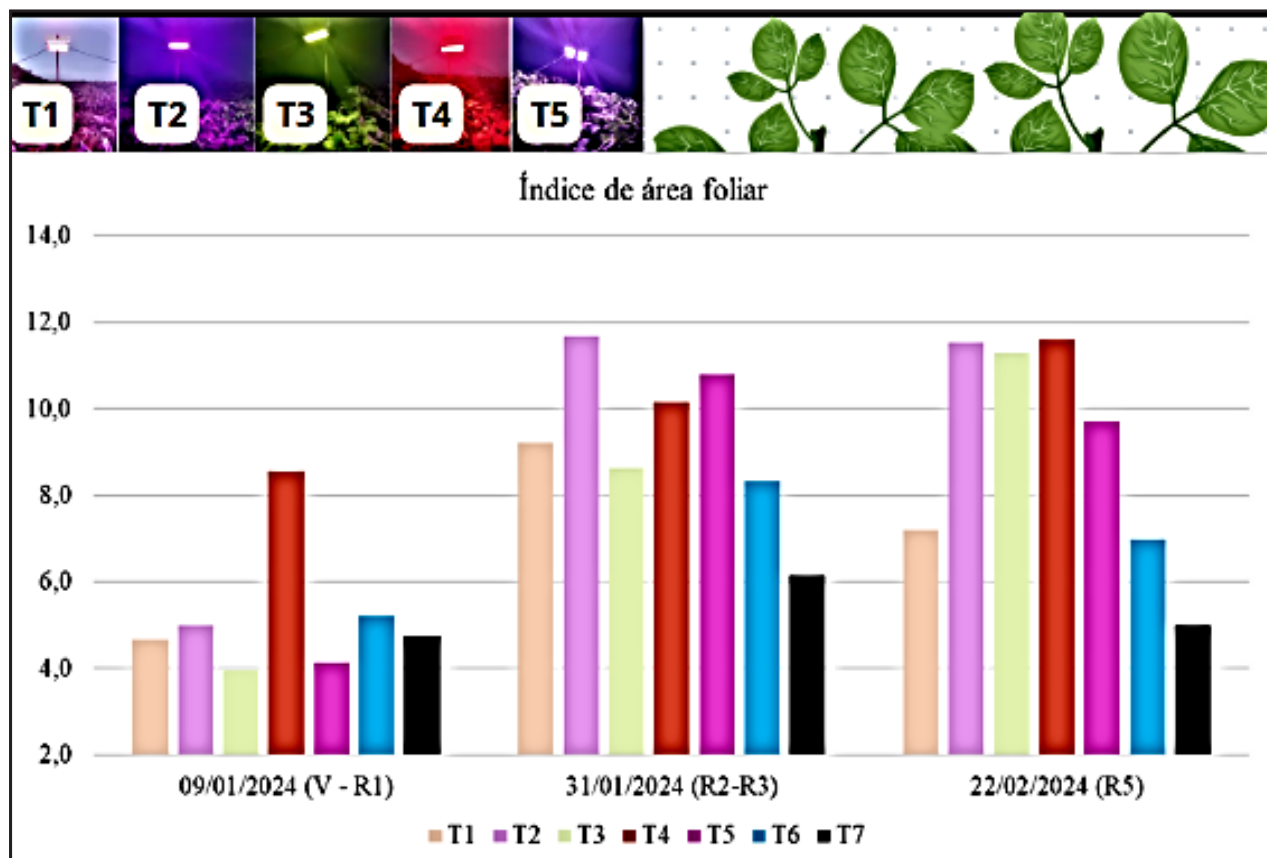


Fonte: Autores, 2025

Na Figura 4, é possível observar que mesmo com a boa disponibilidade hídrica nesse ano agrícola (Figura 3), as irrigações suplementares contribuíram para um maior IAF, que também, foi mais elevado nos tratamentos com suplementação luminosa, o que já era esperado. De acordo com Taiz; Zeige (2013) uma das primeiras respostas ao estresse hídrico é a redução do crescimento, explicando os menores valores de IAF na testemunha (sequeiro). Zhu *et al.* (2019), verificaram que a área foliar da soja aumentou significativamente com irrigação de até 400

mm. Para Zanon *et al.* (2018), a soja atinge altas produtividades com IAF maior que 6,3, condições estas atingidas para todos os tratamentos (Figura 4).

Figura 4 – Índice de área foliar (IAF) para os diferentes tratamentos avaliados

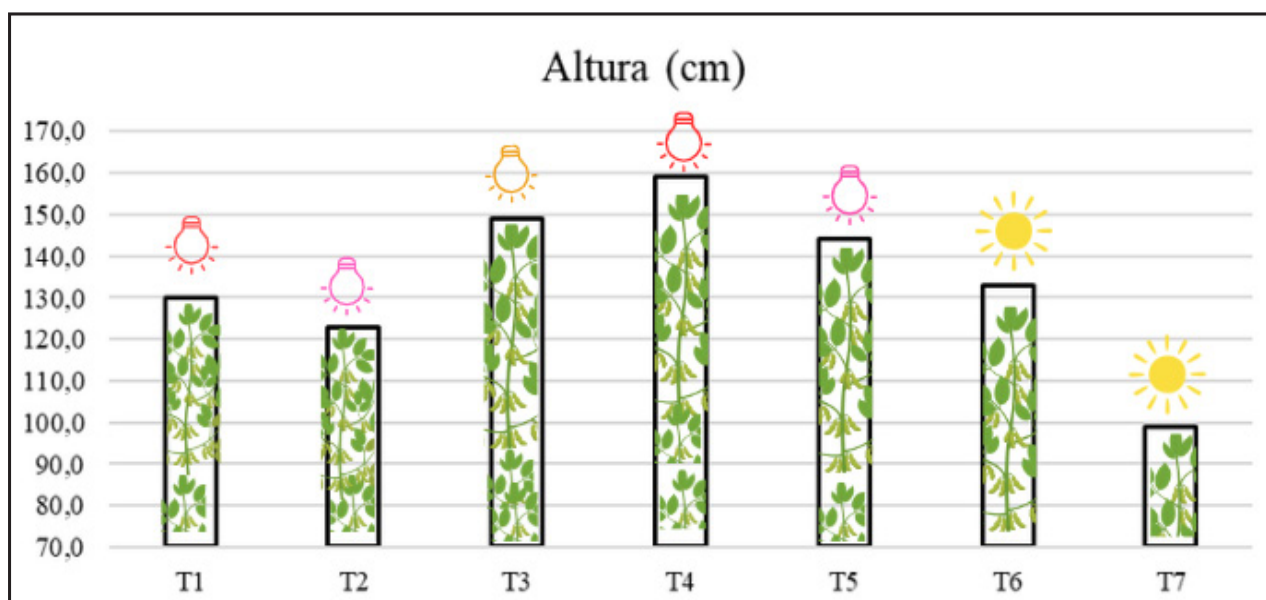


Fonte: Autores, 2025

A altura de plantas (Figura 5) foi mais elevada nos tratamentos (T1 a T6) em relação ao T7 ($p < 0,05$). Dentre os tratamentos com suplementação luminosa, os valores mais altos foram no T3, T4 e T5, demonstrando fotomorfogênese distinta em função do espectro luminoso, ou seja, o desenvolvimento da morfologia da planta mediado pela luz, apresentou diferentes comportamentos (Beyi, 2018; Tripathi et al., 2019). Uma das questões importantes nesse estudo, era determinar um manejo da suplementação luminosa que não causasse o estiolamento das plantas de soja. O estiolamento em soja é um problema que ocorre quando as plantas, em busca de luz, alongam seus caules e ramos em excesso, resultando em um crescimento frágil

e com pouca ramificação. Nota-se (Figura 5), que o manejo proposto não causou esta problemática, pois as plantas com suplementação luminosa apresentaram alturas bem similares às plantas do T6 (apenas irrigação).

Figura 5 – Altura de plantas (cm) para os diferentes tratamentos avaliados



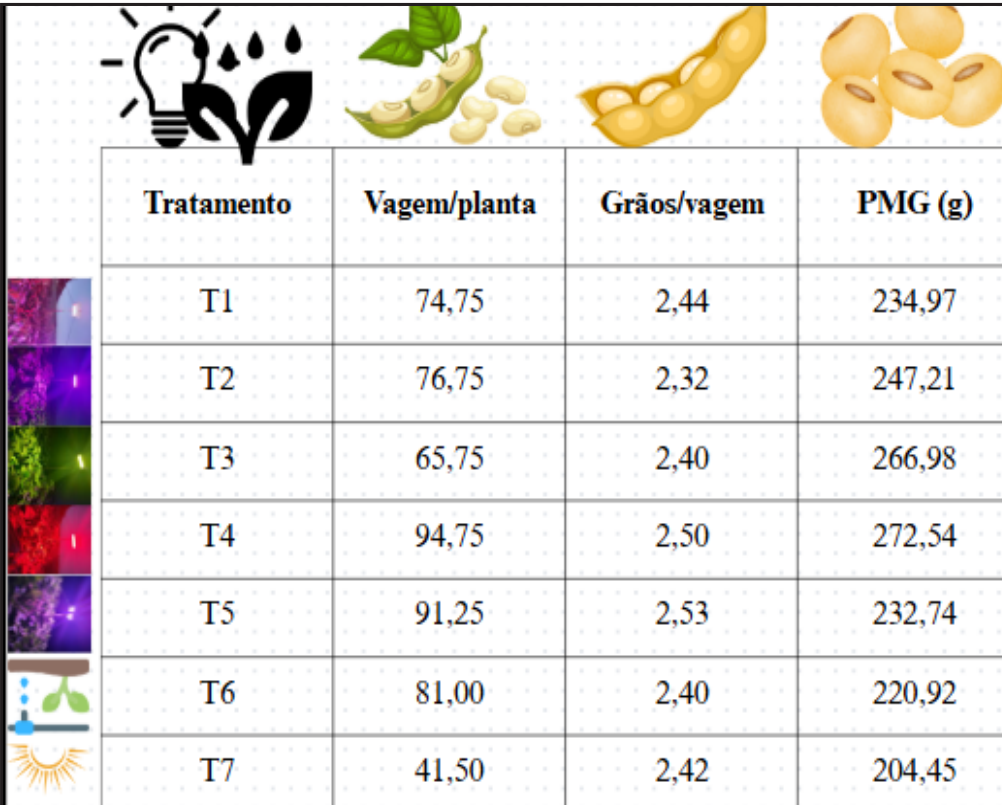
Fonte: Autores, 2025

A suplementação hídrica e luminosa incrementou todos os componentes de rendimento da soja (Figura 6). O número de vagens planta⁻¹ foi maior que a testemunha ($p < 0,05$) em todos os tratamentos (T1 a T6). O maior incremento foi no T5 e T4, sendo este 1,2 e 1,3 vezes superior ao T7, respectivamente. O número de grãos vagem⁻¹, só não diferiu estatisticamente entre o T3 x T7 ($p > 0,05$). Porém, o incremento máximo foi de 5% no T6 e de 3% no T5. O PMG, teve um incremento entre 15 e 33% nos tratamentos em relação à testemunha ($p < 0,05$), sendo maior no T3 e T4.

Dessa forma, em comparação a testemunha (T7), a produtividade da soja (Figura 7 A), teve um incremento de 26% com o uso de irrigação e, de 53 e 57% com a irrigação e suplementação luminosa no T4 (vermelho distante) e T5 (violeta), respectivamente. Esse incremento de produtividade (Figura 7 A) de 55% (média do T4 e T5) com a suplementação luminosa, corrobora com Lemes *et al.* (2021), que obtiveram o aumento na produtividade de grãos de soja de 57,3% (espectro violeta), utilizando o sistema de

iluminação em um pivô central. A suplementação luminosa pode manter o fluxo de luz constante e aumentar a produtividade de plantas (Bantis *et al.*, 2018).

Figura 6 – Componentes de rendimento da soja para os diferentes tratamentos avaliados



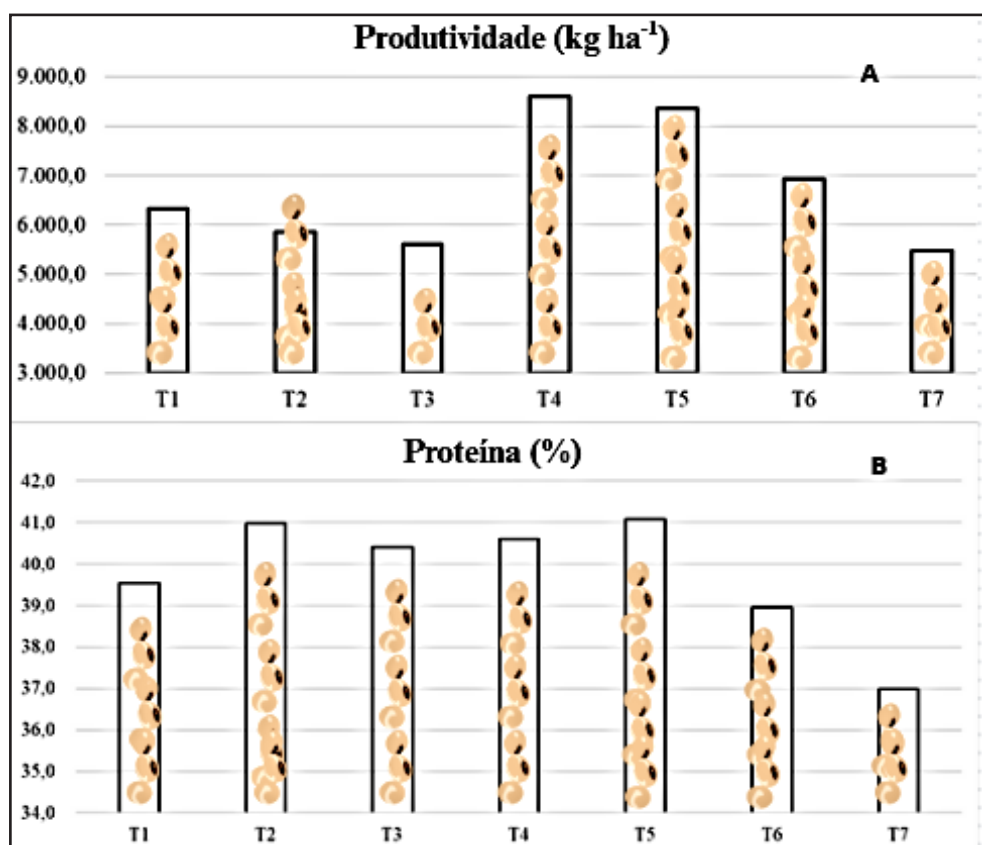
Tratamento	Vagem/planta	Grãos/vagem	PMG (g)
T1	74,75	2,44	234,97
T2	76,75	2,32	247,21
T3	65,75	2,40	266,98
T4	94,75	2,50	272,54
T5	91,25	2,53	232,74
T6	81,00	2,40	220,92
T7	41,50	2,42	204,45

Fonte: Autores, 2025

O ganho médio em produtividade com a adição da suplementação luminosa (T4 e T5) em comparação ao T6 (irrigado), foi de 22% (Figura 7 A), aumentando assim a EUA (Figura 8), ou seja, maior massa de grãos produzida por mm de água. Portanto, é possível a redução da pegada hídrica da soja através da suplementação luminosa, otimizando o uso da água na cultura, tornando-a mais eficiente. Além disso, aumento na biomassa da parte aérea (Figuras 4 e 5) com a suplementação de luminosa e hídrica, possivelmente causou um aumento proporcional na biomassa da raiz, aumentando a eficiência da absorção de nutrientes pela raiz, e, assim a eficiência da fertilização, em especial a nitrogenada (Fageria; Moreira, 2011), razão pela qual houve incremento no teor de proteína dos grãos (Figura 7 B). Para maximizar tanto

a produtividade quanto os teores de proteína no grão, é necessário maximizar a aquisição de N pelos dois mecanismos, N-mineral e fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Barker; Sawyer, 2005; Hungria *et al.*, 2007).

Figura 7 – Produtividade e teor de proteína dos grãos de soja em função dos diferentes tratamentos avaliados

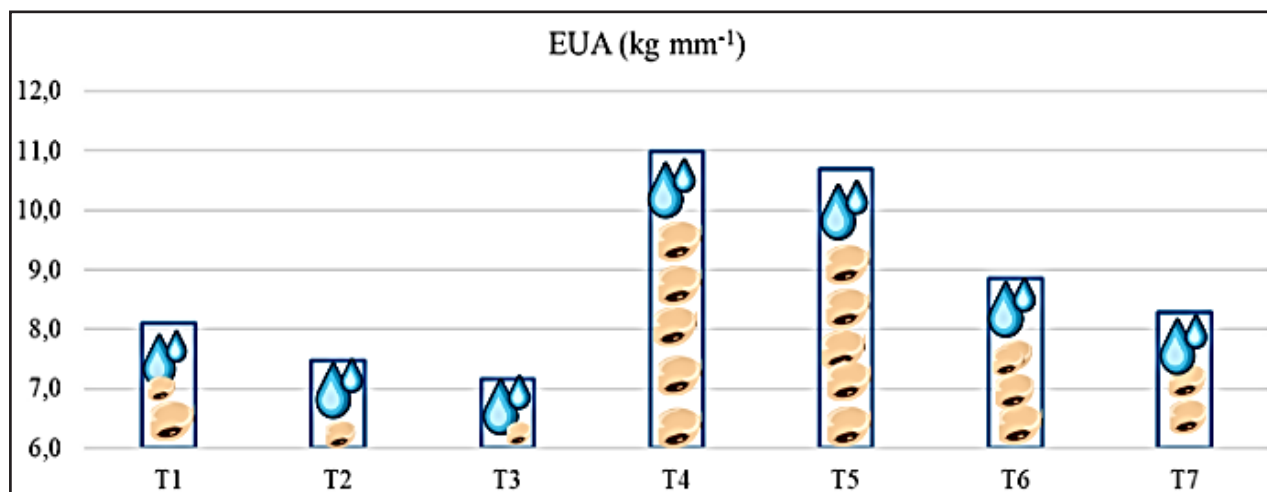


Fonte: Autores, 2025

Os valores do teor de proteína de grãos (37 a 41%) obtidos nesse estudo, vão de acordo com os relatados por Pípolo *et al.* (2015), os quais afirmam que a concentração de proteína em grãos de soja varia de 31,7 a 57,9%, sendo bastante influenciadas por fatores ambientais e de manejo, como as características e o manejo do solo, a altitude e as condições de clima, sobretudo, chuvas e radiação solar. O incremento médio no teor de proteína foi de 9,5% nos tratamentos com suplementação hídrica e luminosa (T1 a T5) e de 5,3% no T6, em relação ao T7

($p < 0,05$). Maehler *et al.* (2003), observaram que os rendimentos de proteína e óleo são mais elevados nos tratamentos com irrigação, para a cultivar de soja BRS 137.

Figura 8 – Valores de armazenamento de água no solo (mm) para a CAD atual (observada, calculada, simulada)



Fonte: Autores, 2025

Portanto, a suplementação hídrica e luminosa, além de aumentar a produtividade da cultura e a qualidade dos grãos produzidos com o incremento da proteína (Figura 7), aumentou a EUA (Figura 8), demonstrando ser uma prática de manejo que contribui para uma maior sustentabilidade na produção agrícola. A EUA foi de 7 a 11 kg mm⁻¹, ou seja, de 0,7 a 1,1 kg m⁻³ (Figura 8), similar ao obtido por Almeida (2021), que obtiveram valores de EUA de 0,6 a 1,2 kg m⁻¹ para níveis de reposição hídrica entre 40 e 120%. Porém, para esses autores, a EUA da soja aumentou à medida que a disponibilidade hídrica no solo foi reduzida. Enquanto, no caso, do presente estudo a EUA foi maior no tratamento com suplementação hídrica e luminosa (T4 e T5), em comparação ao T6 (suplementação hídrica) e T7 (testemunha). Desmontando que, a luz artificial, além de estimular a fotossíntese, pode melhorar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, permitindo que elas absorvam mais água e nutrientes do solo, contribuindo para um menor consumo de água por unidade de produção.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições em que o trabalho de campo foi realizado, a suplementação hídrica e luminosa incrementou a altura de plantas e todos os componentes de rendimento da soja, sobretudo, o número de vagens planta⁻¹ e o peso de mil grãos. Com isso, a produtividade da soja foi máxima de 8.475,7 kg ha⁻¹, quando se utilizou a suplementação luminosa nos espectros do vermelho (FarRed) e do violeta (Red+Blue), associado à irrigação de 121 mm, dividida em seis eventos ao longo do ciclo. Estes manejos aumentaram a eficiência do uso da água, que foi de 11 kg mm⁻¹ e o teor de proteína dos grãos da soja, que foi de até 41%. Portanto, a suplementação hídrica e luminosa contribuiu para o aumento da produtividade da soja, para o aumento da eficiência do uso da água e para a melhoria da qualidade (proteína) dos grãos produzidos.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300 p. (**Irrigation and Drainage Paper, 56**). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>. Acesso em: 06 set. 2024.
- ALMEIDA, A. M.de. Eficiência do uso da água e resposta termal da cultura da soja submetida a diferentes níveis de reposição hídrica. 2021. **Tese (Doutorado)** – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-11022022-150829/>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- APROSOJA BRASIL ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE SOJA. **A Soja**. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>. Acesso em: 29 abr. 2025.
- BANTIS, F.; SMIRNAKOU, S.; OUZOUNIS, T.; KOUKOUNARAS, A.; NTAGKAS, N.; RADOGLIOU, K. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia Horticulture**, v. 235, p. 437-451, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058>.
- BARKER, D.W., SAWYER, J.E. Nitrogen Application to Soybean at Early Reproductive Development. **Agronomy Journal**. v. 97, n. 2, p. 615-619, 2005.
- BEYI, M. W. Plant photo morphogenesis. **International Journal of Biology, Physics & Mathematics**, v.1(1), p.104-118, 2018.
- DÖRR, O. S.; BREZINA, S.; RAUHUT, D.; MIBUS, H. Plant architecture and phytochemical composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under the influence of light from microwave plasma and high-pressure sodium lamps. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 202, n. 111678, 2020.

EMBRAPA. **Soja na Alimentação**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pos-producao/soja-na-alimentacao>. Acesso em 08 ago. 2025.

ETAE, N.; WAMAE, Y.; KHUMMUENG, W.; UTAIPAN, T.; RUANGRAK, E. Effects of artificial light sources on growth and phytochemicals content in green oak lettuce. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 2, 2020.

FAGERIA, N. K; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 110, n. 1, p. 251-331, 2011.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.127-132, 1997.

GALVANI, F.; GAERTNER, E. Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta. **Circular Técnica, Nº63**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. p9.

GÓMEZ,C.; IZZO, L.G. Increasing efficiency of crop production with LEDs. **AIMS Agriculture and Food**, Volume 3, Issue 2 , p. 135-153, 2018.

GUPTA, S. D. **Light emitting diodes for agriculture - smart lighting**. Springer Nature Singapore. p. 353, 2017. GUPTA, S. D. Light emitting diodes for agriculture - smart lighting. Springer Nature Singapore. p. 334, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3>. Acesso em 03 mai. 2025.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados, 2007. 80p. (Documentos/Embrapa Soja, n.283).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). . **Climate Change 2014**. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Core Writing Team, Pachauri R.K., & Meyer, L.A. (eds.). IPCC, Geneva, S, 2014.

KAISER, E., GALVIS, V. C., & ARMBRUSTER, U. Efficient photosynthesis in dynamic light environments: a chloroplast's perspective. **Biochemical Journal**, v. 476, n. 19, p. 2725-2741, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1042/BCJ20190134>. Acesso em 03 mai. 2025.

KANTOLIC, A. G., & SLAFER, G. A. Reproductive development and yield components in indeterminate soybean as affected by post-flowering photoperiod. **Field Crops Research**, v. 93, p.212-222, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.10.001>. Acesso em 03 mai. 2025.

LEMES, E. A., BRENO, D. M.; ANDRADE, S. Improving Soybean Production Using Light Supplementation at Field-Scale: A Case Study. **Journal of Agricultural Studies**.v. 9,p. 259, 2021. Disponível em: [10.5296/jas.v9i3.18890](https://doi.org/10.5296/jas.v9i3.18890). Acesso em 03 mai. 2025.

MAEHLER, A.R.; PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; FERREIRA, F.G. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.225-231, 2003.

OLIVEIRA, Z. B.; BARANZELLI, L. F.; KNIES, A. E. Análise da produtividade da soja em cinco anos agrícolas com a utilização da irrigação suplementar na região central do RS. **Irriga**, [S. l.], v. 28, n. 4, p. 745-755, 2023.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; GOMES, J. I. T. Produtividade de cultivares de soja com e sem irrigação suplementar para a safra e safrinha de 2019/20 na região central do RS. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.6, n.10, p. 81268-81284, oct. 2020.

OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A.E.; RODRIHUES, L.R.; SCHIMIDT, D.; KURY, A.G. Produtividade da soja em função da época da semeadura e da irrigação suplementar na região central do RS. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 4, p. 774-786, outubro-dezembro, 2021.

PIGATTO, G.; OLIVEIRA Z.B.; KNIES, A.E.K. Desempenho agronômico de cultivares de soja com a utilização da irrigação suplementar na safra 2022-2023. **Revista Plantio Direto Digital** 2023. Disponível em< <https://plantiodireto.com.br/artigos/1552>>. Acesso em 08/09/2023.

PIPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Embrapa Soja. Comunicado técnico, 86. 15 p. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

PUCHALSKI, L. A. Efeitos associados ao El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 83 p. **Dissertação** (mestrado em Fitotecnia, Área de concentração em Agrometeorologia), Porto Alegre, 2000.

RICHTER, G. L., ZANON, A. J., STRECK, N. A., GUEDES, J. V. C., KRÄULICH, B., ROCHA, T. S. M., WINCK, J. E. M., & CERA, J. C. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 73, p. 416-425, 2014.

SENTELHAS, P. C et al. 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, L.P.; BATTISTI, R.; KNAPP, F. M.; SANTOS, T. G.; ALVES JUNIOR, J. Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.28, e.026702, 2020.

SINGER, S. D., SOOLANAYAKANAHALLY, R. Y., FOROUD, N. A., & KROEBEL, R. Biotechnological strategies for improved photosynthesis in a future of elevated atmospheric. **Journal of Agricultural Studies**.V. 9, No. 3, p. 275, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, p. 954, 2013.

TAMIRU, L., & FEKADU, H. Effects of climate change variability on agricultural productivity. International. **Journal of Environmental Sciences & Natural Resources**, v.17, n.1, 2019.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos**. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. (Ed.) Soja: manejo para alta produtividade de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010, p.13-33, 248p.

TRIPATHI, S., HOANG, Q. T. N., HAN, Y. J., & KIM, J. I. Regulation of photomorphogenic development by plant phytochromes. **International Journal of Molecular Sciences**. V.20, p.6165, 2019.

WU, T. T., LI, J. Y., WU, C. X., SUN, S., MAO, T. T., JIANG, B. J., HOU, W. S., & HAN, T. F. Analysis of the independent- and interactive-photo-thermal effects on soybean flowering. **Journal of Integrative Plant Biology**. v.14, n.4,p. 622-632, 2015.

YAN, W.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; CHENG, R.; ZHANG, Y.; YANG, Q.; LI, T. Effects of Supplementary Artificial Light on Growth of the Tomato (*Solanum lycopersicum*) in a Solar Greenhouse. **The Horticulture Journal**, v. 87, n. 4, n. 516-523, 2018. <https://doi.org/10.2503/hortj.OKD-165>

ZANON, A. J. et al. **Ecofisiologia da soja: visando altas produtividades**. 1º ed. Santa Maria: [n.s.], ISBN: 978-85-54856-14-4, p.136, 2018.

ZHU, B.; ZHENG, C.g; JIA, H.; MENG, Q.; WANG, N.; KUANG, E.; ZHANG, L.; SHEN, X.GAO, X.. Effects of drip irrigation on spring soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth and soil physical indexes of Heilongjiang province of China. Bangladesh **Journal of Botany**, [S. l.], v. 48, n. 1, p. 95–103, 2019. DOI: 10.3329/bjb.v48i1.47420. Disponível em: <https://www.banglajol.info/index.php/BJB/article/view/47420>. Acesso em: 5 mai. 2025.

Contribuição de Autoria

1 – Zanandra Boff Oliveira

Professora adjunta da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul.
<https://orcid.org/0000-0003-3422-8452> • zanandraboff@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Metodologia, Software, Análise formal, Investigação, Recursos, Escrita – Primeira redação, Administração do projeto, Obtenção de financiamento

2 – Ana Luíza Canto da Silva

Estudante do Curso de Engenharia Agrícola da UFSM.

<https://orcid.org/0009-0006-6308-1188> • ana.canto@acad.ufsm.br

Contribuição: Curadoria de dados, Investigação

3 – Paulo César Vargas Luz

Professor do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM Cachoeira do Sul.

<https://orcid.org/0000-0001-5130-2437> • paulo.c.luz@ufsm.br

Contribuição: Conceituação, Metodologia, Investigação, Recursos, Supervisão, Administração do projeto, Obtenção de financiamento

4 – Reyel Kiefer Unfer

Estudante do Curso de Engenharia Agrícola da UFSM.

<https://orcid.org/0009-0006-5911-7774> • reyelg2@gmail.com

Contribuição: Curadoria de dados, Investigação

5 – Eduardo Leonel Bottega

Professor do Curso de Engenharia Agrícola da UFSM.

<https://orcid.org/0000-0003-4035-6880> • eduardo.bottega@ufsm.br

Contribuição: Software, Escrita – Revisão e edição

6 – Alexander Nagorsny

Formado no Curso de Engenharia Elétrica na UFSM Cachoeira do Sul.

<https://orcid.org/0009-0007-3417-8375> • nagorsnyzini@hotmail.com

Contribuição: Metodologia, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação

7 – Bruno Gabriel Mayerhofer

Estudante do Curso de Engenharia Agrícola da UFSM.

<https://orcid.org/0009-0005-0414-3636> • bruno.mayerhofer@acad.ufsm.br

Contribuição: Curadoria de dados, Investigação

8 – Rafael Rohrs Borges

Estudante do Curso de Engenharia Agrícola da UFSM.

<https://orcid.org/0009-0006-6306-9445> • rohr.s.pppp@gmail.com

Contribuição: Curadoria de dados, Investigação

Como citar este artigo

Oliveira, Z. B., Silva, A. L. C. da, Luz, P. C. V., Unfer, R. K., Bottega, E. L., Nagorsny, A., Mayerhofer, B. G., & Borges, R. R. Eficiência do uso da água e desempenho agronômico da soja em função da suplementação de água e luz. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 47, esp 4, e91937, 2025. DOI 10.5902/2179460X91937. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X91937>.