

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Guilherme Cabrera Milanin

**Desempenho agrônômico de cultivares de soja em função
da co-inoculação de biosumos e manejo de irrigação**

Dracena

2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA

Guilherme Cabrera Milanin

**Desempenho agrônômico de cultivares de soja em função
da co-inoculação de biosumos e manejo de irrigação**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas
– Unesp, Câmpus de Dracena como parte das
exigências para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima

Co-orientador: Prof. Dr. Rafael Simões Tomaz

Dracena

2026



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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Desempenho agrônômico de cultivares de soja em função da co-inoculação de bioinsumos e manejo da irrigação.

Modalidade: Trabalho de Conclusão de Curso

Autor: Guilherme Cabrera Milanin

Orientador (a): Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima

Co-orientador(es): Prof. Dr. Rafael Simões Tomaz

Número de Créditos: 12

Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 01/06/2026

 _____ Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima	 _____ Prof. Dr. Evandro Pereira Prado	 _____ Prof. Dr. Vagner do Nascimento
--	---	---

Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas-CCG-EA
Rod. Cmte. João Ribeiro de Barros, km 651- Bairro das Antas – CEP: 17900-000 – Dracena/SP - Brasil
Tel. (18) 3821-8200 – www.dracena.unesp.br – ccgea.dracena@unesp.br

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus; ao meu pai, Sergio Milanin, pelo apoio, ensinamentos e incentivo constante, à minha mãe, Luciana Silva Cabrera Milanin (in memoriam), minha eterna inspiração e força, aos meus avós, pelo carinho e exemplo de vida; e à minha namorada, Livia Souto Silva, pelo companheirismo e apoio em todos os momentos desta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT/UNESP), Câmpus de Dracena, pela excelência no ensino, pela infraestrutura disponibilizada e pelas oportunidades oferecidas durante minha formação acadêmica.

À Pró-Reitoria de Pesquisa (PROPe), pelo incentivo e apoio institucional à pesquisa científica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima, por todo o suporte, orientação, ensinamentos e confiança depositada ao longo desta trajetória acadêmica e também ao GEIA (Grupo de Estudo em Irrigação e Agrometeorologia), pela oportunidade de vivenciar a pesquisa na prática e ampliar meus conhecimentos profissionais e científicos.

Meus amigos e colegas, que estiveram presentes durante o desenvolvimento deste trabalho, contribuindo com auxílio técnico, incentivo, companheirismo e troca de experiências.

Ao meu pai, por todo apoio, incentivo e por nunca medir esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

À memória da minha mãe, que continua sendo inspiração, exemplo e motivação em todos os momentos da minha vida.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação pessoal e profissional.

“Enquanto durar a terra, sementeira e colheita, frio e calor, verão e inverno, dia e noite jamais cessarão.”

— Livro do Gênesis 8:22

RESUMO

A soja (*Glycinemax* (L.) Merrill) destaca-se como uma das principais culturas agrícolas de importância econômica mundial. A adoção de tecnologias agrônômicas, como o uso de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs) e o manejo eficiente da irrigação, pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho agrônômico de cultivares de soja submetidas à inoculação e coinoculação com diferentes MPCPs, cultivadas em sistema de plantio direto sobre cobertura vegetal, sob condições de sequeiro e irrigação manejada por sensor de umidade do solo. O experimento foi conduzido na área experimental da FCAT/UNESP – Câmpus de Dracena, em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, em esquema fatorial 4×2×2, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de microrganismos (*Bradyrhizobium* sp., *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai* e *Trichoderma harzianum*), duas cultivares de soja (Semeali 6804 IPRO e AS 3790 I2X) e dois manejos hídricos (sequeiro e irrigação monitorada por sensor de umidade do solo CropX). Os resultados evidenciaram efeito significativo do manejo hídrico e das cultivares sobre variáveis agrônômicas e produtivas. A cultivar AS 3790 I2X apresentou desempenho superior para características como altura de plantas, número de vagens e massa de mil sementes, indicando maior potencial produtivo nas condições avaliadas. O manejo irrigado promoveu incrementos significativos na altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem e massa de mil sementes, refletindo em maior desempenho produtivo em relação ao cultivo em sequeiro. A inoculação e coinoculação com MPCPs influenciaram positivamente o desenvolvimento vegetativo, especialmente na altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem e estande, com destaque para os tratamentos com *Bacillus aryabhattai* e *Trichoderma harzianum*. Entretanto, os efeitos sobre a produtividade foram dependentes da interação entre cultivar, microrganismo e manejo hídrico, sendo mais expressivos em condições irrigadas. O uso do sensor de umidade do solo CropX mostrou-se eficiente no manejo da irrigação, permitindo maior controle da disponibilidade hídrica e contribuindo para o melhor desempenho da cultura. Conclui-se que a integração entre cultivares adaptadas, uso de MPCPs e manejo hídrico baseado em sensores constitui uma estratégia promissora para sistemas sustentáveis de produção de soja, especialmente em regiões com solos arenosos, altas temperaturas e ocorrência de déficit hídrico, que vem sendo agravado pelas mudanças climáticas.

Palavras-chave: *Glycinemax*. bioestimulante. irrigação. variedades. plantio direto.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) stands out as one of the main agricultural crops of global economic importance. The adoption of agronomic technologies, such as the use of plant growth-promoting microorganisms (PGPMs) and efficient irrigation management, can significantly contribute to increased productivity and sustainability of production systems. In this context, the present study aimed to evaluate the agronomic performance of soybean cultivars subjected to inoculation and co-inoculation with different PGPMs, cultivated in a no-till system under cover crops, under rainfed conditions and irrigation managed by a soil moisture sensor. The experiment was conducted in the experimental area of FCAT/UNESP – Dracena Campus, in a Dystrophic Red-Yellow Argisol, in a randomized block design, in a 4×2×2 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of a combination of microorganisms (*Bradyrhizobium* sp., *Azospirillumbrasilense*, *Bacillus aryabhattai*, and *Trichoderma harzianum*), two soybean cultivars (Semeali 6804 IPRO and AS 3790 I2X), and two water management systems (rainfed and irrigation monitored by a CropX soil moisture sensor). The results showed a significant effect of water management and cultivars on agronomic and productive variables. The AS 3790 I2X cultivar showed superior performance for characteristics such as plant height, number of pods, and thousand-seed weight, indicating greater productive potential under the evaluated conditions. Irrigated management promoted significant increases in plant height, height of insertion of the first pod, and thousand-seed weight, reflecting greater productive performance compared to rainfed cultivation. Inoculation and co-inoculation with microorganism-preventative plants (MCPs) positively influenced vegetative development, especially plant height, height of the first pod insertion, and stand, with treatments using *Bacillus aryabhattai* and *Trichoderma harzianum* standing out. However, the effects on productivity depended on the interaction between cultivar, microorganism, and water management, being more pronounced under irrigated conditions. The use of the CropX soil moisture sensor proved efficient in irrigation management, allowing greater control of water availability and contributing to better crop performance. It is concluded that the integration of adapted cultivars, the use of MCPs, and sensor-based water management constitutes a promising strategy for sustainable soybean production systems, especially in regions with sandy soils, high temperatures, which has been exacerbated by climate change.

Keywords: *Glycinemax*. biostimulant. irrigation. varieties. no-tillfarming.

LISTA DE FIGURAS

Figuras 1 e 2 - Sensor de umidade do solo comercial V151245 da CropX.	22
Figura 3 - Dados das variáveis climáticas	22
Figura 4 - Degrana da soja trilhadora/batedeira de cereais BC30 “Luma”	26
Figura 5 - Teste de CUC, avaliação da uniformidade de distribuição da lâmina de irrigação.....	27
Figura 6 - Médias das características agronômicas da soja submetida à inoculação e coinoculação com diferentes microrganismos promotores de crescimento.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química do solo da camada de 0,00 - 0,20 m realizada por meio de amostragem composta da área experimental, da FCAT-Dracena, SP, Brasil, 2021/2022.	24
Tabela 2 - Curva característica de água no solo com potencial matricial versus umidade gravimétrica e densidade do solo da área experimental para as diferentes camadas, Dracena, SP, Brasil, 2021.....	28
Tabela 3 - Análise de variância (ANOVA) para as variáveis agronômicas da cultura da soja como HP, H1 ^a V, NHL, NTV, Stand, PMS e Prod, submetidas a diferentes manejos de irrigação, inoculações e variedades, conduzida em sistema de plantio direto, Dracena – SP, safra 2024/2025	31
Tabela 4 - Médias das características agronômicas avaliadas em duas variedades de soja.....	32
Tabela 5 - Médias das características agronômicas da soja conduzida sob diferentes manejos hídricos.	33
Tabela 6 - Médias das características agronômicas altura de plantas (HP) e altura da primeira vagem (H1 ^a V) da soja submetida à inoculação e coinoculação com diferentes microrganismos promotores de crescimento.....	34
Tabela 7 - Médias de produtividade das cultivares de soja, sob inoculação com diferentes microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs), nos sistemas irrigado e de sequeiro.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 Soja.....	13
3.2 Sistema de Plantio Direto	14
3.3 Microrganismos promotores de crescimento de planta (MPCP)	14
3.4 Interação planta-microrganismo na rizosfera.....	16
3.5 Coinoculação em soja.....	17
3.6 Irrigação.....	18
3.7 Manejo da irrigação com sensor de umidade do solo.....	19
3.8 Fisiologia da soja sob estresse hídrico	20
3.9 Eficiência do uso da água na soja	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Localização e Características da área experimental.....	21
4.2 Delineamento experimental	22
4.3 Implantação do experimento a campo	24
4.4 Manejo da irrigação	27
4.5 Manejo da irrigação via sensor automatizado de umidade do solo V151245 cropx;	28
4.6 Parâmetros avaliados	30
4.7 Análise estatística dos dados	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) possui papel estratégico no agronegócio mundial, sendo amplamente utilizada como fonte de proteína e óleo vegetal, com aplicações na alimentação humana, animal e em diversos segmentos industriais. Nas últimas décadas, o Brasil consolidou-se como um dos maiores produtores e exportadores mundiais da oleaginosa, resultado da expansão das áreas cultivadas, do melhoramento genético e da adoção de tecnologias que promovem maior eficiência produtiva e sustentabilidade nos sistemas agrícolas (CONAB, 2025; USDA, 2025).

Nesse contexto, o sistema de plantio direto (SPD) destaca-se como uma das principais estratégias de manejo conservacionista adotadas na produção de soja. Fundamentado na mínima perturbação do solo, na manutenção da cobertura vegetal e na rotação de culturas, esse sistema promove melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, reduzindo processos erosivos, aumentando a infiltração e a retenção de água e favorecendo a atividade microbiana. Essas características tornam o SPD especialmente importante em regiões sujeitas à irregularidade na distribuição das chuvas, contribuindo para maior estabilidade produtiva das culturas (FRANCHINI et al., 2012; DERPSCH et al., 2014).

Diante da necessidade de sistemas produtivos mais sustentáveis, o uso de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs) tem ganhado destaque como alternativa para incrementar a produtividade agrícola e reduzir a dependência de insumos sintéticos. Esses microrganismos atuam por diferentes mecanismos, incluindo a fixação biológica de nitrogênio, a produção de fitohormônios, a solubilização de nutrientes e a indução de resistência a estresses bióticos e abióticos. Na cultura da soja, a inoculação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* representa uma das tecnologias biológicas mais consolidadas, sendo capaz de suprir grande parte da demanda de nitrogênio da cultura. Adicionalmente, a coinoculação com espécies como *Azospirillum brasilense* tem demonstrado potencial para estimular o crescimento radicular e ampliar a absorção de água e nutrientes pelas plantas (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2015; FUKAMI; CEREZINI; HUNGRIA, 2018; CASSÁN et al., 2020).

Outro fator determinante para o desempenho da soja é a disponibilidade de água no solo. O déficit hídrico compromete processos fisiológicos essenciais, como fotossíntese, expansão celular, transporte de assimilados e enchimento de grãos, refletindo diretamente na redução da produtividade. Nesse sentido, o manejo adequado da irrigação torna-se fundamental para minimizar perdas produtivas e garantir maior estabilidade de rendimento. O uso de sensores de umidade do solo surge como uma ferramenta promissora para o monitoramento em tempo real das condições hídricas, permitindo maior precisão na aplicação das lâminas de irrigação e contribuindo para o uso mais eficiente dos recursos hídricos (TAIZ et al., 2017; EVANS; SADLER, 2008).

Além dos fatores de manejo, a resposta da cultura da soja está diretamente relacionada à interação entre o genótipo e o ambiente (G×E). Diferentes cultivares podem apresentar respostas distintas frente às variações ambientais, especialmente sob condições contrastantes de disponibilidade hídrica, devido a diferenças genéticas relacionadas à arquitetura radicular, eficiência no uso da água, ciclo de desenvolvimento e capacidade de adaptação. O conhecimento dessas interações é essencial para a recomendação de cultivares mais estáveis e adaptadas às condições locais de cultivo, bem como para a compreensão da magnitude das respostas aos diferentes manejos adotados (ALLIPRANDINI et al., 2009; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Embora existam estudos abordando isoladamente o uso de microrganismos promotores de crescimento, o manejo hídrico e o desempenho de cultivares de soja, ainda são escassas as pesquisas que integrem esses fatores em sistema de plantio direto, especialmente nas condições edafoclimáticas da região da Nova Alta Paulista. Dessa forma, parte-se da hipótese de que a coinoculação com microrganismos promotores de crescimento, associada ao manejo hídrico baseado em sensores de umidade do solo, promove melhorias no desenvolvimento agrônomo e na produtividade da soja em sistema de plantio direto, sendo a magnitude dessas respostas dependente das características genéticas das cultivares avaliadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho agrônômico da cultura da soja, submetida à inoculação e coinoculação com microrganismos promotores de crescimento (*Bacillus aryabhattai*, *Azospirillum brasilense* e *Trichoderma harzianum*), sob diferentes manejos hídricos (irrigação baseada em sensor de umidade do solo CropX e condição de sequeiro), visando analisar seus efeitos sobre o desenvolvimento e a produtividade de duas variedades de soja

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito da inoculação e coinoculação com microrganismos promotores de crescimento no desempenho agrônômico da cultura da soja.
- Comparar o desempenho produtivo de duas variedades de soja cultivadas em sistema de plantio direto sobre plantas de cobertura.
- Avaliar a influência do manejo hídrico (irrigação com sensor de solo CropX e cultivo em sequeiro) no crescimento e produtividade da cultura.
- Analisar a interação entre variedades, microrganismos promotores de crescimento e manejo hídrico sobre os componentes de produção da soja.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Soja

A soja (*Glycinemax* (L.) Merrill) é originária do leste da Ásia, especialmente da China, sendo domesticada há milhares de anos (HYMOWITZ, 1970). Sua expansão global ocorreu a partir do século XVIII, com consolidação no Brasil no século XX (SEDIYAMA et al., 2015). O melhoramento genético foi determinante para sua adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, resultando em cultivares mais produtivas e resistentes (BORÉM; MIRANDA, 2013). Além disso, avanços permitiram incremento no teor de óleo e proteína dos grãos. A biotecnologia, com cultivares transgênicas, contribuiu para maior eficiência produtiva e manejo (JAMES, 2017). No Brasil, a cultura destaca-se como uma das principais commodities agrícolas (CONAB, 2023). A produtividade média nacional da soja na safra 2024/25 atingiu aproximadamente 3.560 kg ha⁻¹, refletindo o elevado nível tecnológico adotado pelos

produtores brasileiros. Em ambientes favoráveis e com adequado manejo agrônomo, cultivares modernas podem ultrapassar 5.000 kg ha⁻¹, evidenciando o expressivo potencial produtivo da cultura. Esse desempenho resulta da interação entre fatores genéticos, ambientais e das práticas de manejo empregadas, os quais determinam a expressão do potencial produtivo das cultivares em diferentes condições de cultivo (EMBRAPA, 2025; CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

3.2 Sistema de Plantio Direto

O sistema de plantio direto (SPD) é uma das principais abordagens de conservação do solo na agricultura contemporânea, especialmente em sistemas de produção de grãos no Brasil. Este sistema baseia-se na ausência de perturbação do solo, na manutenção de resíduos vegetais na superfície e na rotação de culturas, práticas que estão diretamente relacionadas às melhorias das condições físicas, químicas e biológicas do solo (BLANCO-CANQUI; RUIS, 2020). A presença de palha na superfície do solo ajuda a prevenir o impacto direto das gotas de chuva, inibindo processos de erosão e incentivando a infiltração de água no solo (FIORINI et al., 2022). Além disso, o material vegetal ajuda a conservar a umidade, o que é uma necessidade em regiões dependentes de água. Na cultura da soja, o SPD é um dos métodos amplamente utilizado para melhorar as condições para o desenvolvimento das plantas. A degradação progressiva dos resíduos de culturas de cobertura incentiva o ciclo de nutrientes e enriquece a composição da matéria orgânica do solo para a fertilidade e atividade biológica (LEITE et al., 2021). Questão tão importante refere-se a uma maior atividade microbiológica para aumentar o equilíbrio do solo e a formação de raízes das plantas. Além disso, o aumento da retenção de água no solo com o sistema também mantém melhor produtividade da cultura, por exemplo, em épocas de falta de água. Como resultado, o plantio direto com o uso de culturas de cobertura tem sido bem-sucedido em facilitar a melhoria da qualidade do solo e sistemas de produção sustentáveis para melhorar a produtividade agrícola (BLANCO-CANQUI; RUIS, 2020; FIORINI et al., 2022).

3.3 Microrganismos promotores de crescimento de planta (MPCP)

Os microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs) correspondem a um grupo diverso de bactérias e fungos capazes de colonizar a

rizosfera, a superfície ou os tecidos internos das plantas, estabelecendo interações benéficas que favorecem o desenvolvimento vegetal. Esses organismos atuam por diferentes mecanismos, incluindo a síntese de fitormônios, como auxinas, citocininas e giberelinas, a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fósforo e outros nutrientes pouco disponíveis no solo, além da indução de resistência sistêmica nas plantas (Backer et al., 2018; Fahde, 2023).

Na cultura da soja, a inoculação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* constitui uma das biotecnologias mais consolidadas da agricultura brasileira, sendo responsável pelo suprimento da maior parte da demanda de nitrogênio da cultura por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esse processo ocorre pela simbiose entre a bactéria e as raízes da planta, formando nódulos capazes de converter o nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis, reduzindo significativamente ou até eliminando a necessidade de fertilizantes nitrogenados, o que contribui para a sustentabilidade econômica e ambiental dos sistemas produtivos (Hungria; Nogueira; Araujo, 2015; Zahran, 1999).

Além disso, a coinoculação com outras espécies, como *Azospirillum brasilense*, tem demonstrado potencial para promover alterações na arquitetura radicular, aumentando o volume de raízes, a formação de pelos radiculares e, consequentemente, a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas. Da mesma forma, fungos do gênero *Trichoderma* têm sido associados à promoção de crescimento vegetal e à proteção contra patógenos de solo, atuando tanto de forma direta, por meio da produção de metabólitos e estímulo ao crescimento, quanto de forma indireta, pela indução de mecanismos de defesa nas plantas (Hungria et al., 2015; Contreras-Cornejo et al., 2024).

Dessa forma, o uso combinado desses microrganismos tem sido explorado como uma estratégia promissora para aumentar a eficiência produtiva da soja, favorecendo o aproveitamento de recursos e a resiliência das plantas. Entretanto, os resultados obtidos podem variar em função das condições edafoclimáticas, do manejo adotado, das características do solo e do genótipo utilizado, evidenciando a necessidade de estudos regionais que avaliem a resposta da cultura às diferentes associações microbianas (Leite et al., 2024; Cherobim, 2023).

3.4 Interação planta-microrganismo na rizosfera

A rizosfera representa uma zona de intensa atividade biológica, onde ocorre interação dinâmica entre as raízes das plantas, microrganismos e o solo. Essas interações são fundamentais para o desenvolvimento vegetal, uma vez que influenciam diretamente a disponibilidade de nutrientes, a estrutura do solo e a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos. Os microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs) desempenham papel essencial nesse processo, atuando por meio de diferentes mecanismos fisiológicos e bioquímicos capazes de influenciar positiva e diretamente o metabolismo vegetal (Santoyo et al., 2016; Cassán et al., 2020).

Entre os principais mecanismos de ação dos MPCPs destaca-se a produção de fitohormônios, como ácido indol-3-acético (AIA), giberelinas e citocininas. Essas substâncias promovem o alongamento e a divisão celular, estimulam a emissão de raízes laterais e de pelos radiculares e ampliam a superfície de contato entre raízes e solo. Como consequência, há aumento da capacidade de absorção de água e nutrientes, favorecendo o estabelecimento inicial e o crescimento das plantas (Backer et al., 2018; Cassán et al., 2020).

Outro mecanismo importante consiste na solubilização e mineralização de nutrientes. Diversas bactérias e fungos rizosféricos produzem ácidos orgânicos, fosfatases e sideróforos que disponibilizam nutrientes pouco móveis ou insolúveis, especialmente fósforo, ferro e zinco. Esse processo aumenta a eficiência nutricional das plantas e reduz a dependência de fertilizantes minerais, contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis (Richardson et al., 2009; Fahde, 2023).

A fixação biológica de nitrogênio constitui um dos mecanismos mais relevantes na cultura da soja. Bactérias do gênero *Bradyrhizobium* estabelecem uma associação simbiótica com as raízes, formando nódulos onde ocorre a redução do nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3) pela ação do complexo enzimático nitrogenase. O nitrogênio fixado é incorporado ao metabolismo vegetal para síntese de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, sendo capaz de suprir praticamente toda a demanda nitrogenada da cultura, reduzindo significativamente o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Hungria; Nogueira; Araujo, 2015; Hungria et al., 2020).

A interação com *Azospirillum brasilense* também tem sido amplamente estudada devido à sua capacidade de modular a arquitetura do sistema radicular. Essa bactéria atua principalmente por meio da produção de auxinas, promovendo o

crescimento de raízes laterais e adventícias, o aumento da densidade de pelos radiculares e o aprofundamento do sistema radicular. Essas alterações favorecem a exploração de maiores volumes de solo e melhoram a absorção de água e nutrientes, especialmente em condições de déficit hídrico, nas quais o acesso às camadas mais profundas do perfil do solo torna-se determinante para a manutenção do crescimento vegetal (Fukami et al., 2018; Cassán; Diaz-Zorita, 2016).

Além das bactérias, fungos do gênero *Trichoderma* apresentam múltiplos mecanismos de ação relacionados à promoção de crescimento e ao controle biológico. Esses fungos podem colonizar a superfície das raízes, produzir metabólitos bioativos e compostos semelhantes a hormônios vegetais, além de estimular a expressão de genes associados ao crescimento e à defesa das plantas. Adicionalmente, atuam por meio do micoparasitismo, da competição por espaço e nutrientes e da produção de enzimas hidrolíticas capazes de degradar a parede celular de fungos fitopatogênicos. Também podem induzir resistência sistêmica, aumentando a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos (Harman et al., 2004; Contreras-Cornejo et al., 2024).

Dessa forma, os mecanismos de ação dos MPCPs são complementares e frequentemente sinérgicos, envolvendo processos relacionados à nutrição mineral, modulação hormonal, proteção contra patógenos e maior tolerância a condições adversas. A compreensão desses mecanismos é essencial para o desenvolvimento de tecnologias baseadas em inoculação e coinoculação, permitindo a adoção de estratégias mais eficientes e sustentáveis para o aumento da produtividade agrícola, especialmente na cultura da soja (Backer et al., 2018; Leite et al., 2024).

3.5 Coinoculação em soja

A coinoculação de microrganismos tem sido amplamente investigada como estratégia para potencializar os efeitos benéficos da inoculação na cultura da soja. Essa prática consiste na aplicação simultânea de diferentes microrganismos com funções complementares, promovendo efeitos sinérgicos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. A combinação de *Bradyrhizobium* spp. com *Azospirillum brasilense* é uma das mais estudadas, devido à sua capacidade de

associar a fixação biológica de nitrogênio ao estímulo do crescimento radicular (HUNGRIA et al., 2015; GALINDO et al., 2020).

Estudos demonstram que a coinoculação pode resultar em aumento da nodulação, maior acúmulo de biomassa e incremento na produtividade da soja, especialmente em condições favoráveis de solo e clima. No entanto, os resultados nem sempre são consistentes, podendo variar em função de fatores como tipo de solo, disponibilidade hídrica e interação com o genótipo da planta (BASHAN et al., 2014).

A utilização de outros microrganismos, como *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp., também tem sido explorada, ampliando as possibilidades de uso de bioinsumos na agricultura. Esses microrganismos podem atuar na promoção do crescimento vegetal, aumento da resistência a estresses e melhoria da eficiência no uso de nutrientes, contribuindo para sistemas de produção mais sustentáveis.

3.6 Irrigação

A disponibilidade de água no solo constitui um dos fatores fundamentais para o desenvolvimento das plantas. No caso da cultura da soja, o suprimento hídrico é essencial para o funcionamento de processos fisiológicos básicos, como a fotossíntese, o transporte de nutrientes e a expansão celular, sendo determinante para a formação das estruturas reprodutivas e para o adequado enchimento de grãos (SILVA et al., 2018; NOGUEIRA et al., 2019). A deficiência de água pode comprometer esses processos fisiológicos, resultando em redução do crescimento vegetativo e, conseqüentemente, na diminuição da produtividade da cultura.

Nesse contexto, a irrigação é apontada como uma alternativa eficiente para minimizar os impactos causados pela irregularidade das chuvas e aumentar a estabilidade da produção. Estudos demonstram que a irrigação suplementar promove incrementos significativos na produtividade da soja, especialmente em fases fenológicas críticas, como a floração e o enchimento de grãos (ALMEIDA et al., 2020). Nessas fases, a ocorrência de déficit hídrico pode ocasionar o aborto de flores e vagens, reduzindo o número de grãos por planta e comprometendo o rendimento final da cultura.

Além disso, a melhoria na eficiência do uso da água na agricultura está diretamente relacionada ao manejo adequado da irrigação, com a aplicação da quantidade necessária no momento correto (BORGHI et al., 2020). O uso racional da água também favorece a absorção de nutrientes pelas plantas e contribui para o equilíbrio fisiológico da cultura. Dessa forma, a irrigação se consolida como uma prática essencial para a obtenção de maiores produtividades e para a redução dos efeitos das variações climáticas sobre a produção agrícola (NOGUEIRA et al., 2019).

Entre os métodos de irrigação, a irrigação por aspersão destaca-se pela ampla utilização na cultura da soja, principalmente em função de sua adaptabilidade a diferentes condições de solo e topografia. Esse sistema simula a precipitação natural, proporcionando distribuição relativamente uniforme da água sobre a área cultivada. Quando bem manejada, a irrigação por aspersão pode aumentar significativamente a produtividade da soja, sobretudo em regiões sujeitas a períodos de déficit hídrico, além de permitir maior controle da lâmina aplicada em diferentes estádios fenológicos da cultura (ALMEIDA et al., 2020; BORGHI et al., 2020). No entanto, fatores como vento, temperatura e eficiência de aplicação devem ser considerados, pois podem influenciar diretamente a uniformidade e a eficiência do sistema.

3.7 Manejo da irrigação com sensor de umidade do solo

Os sensores de umidade do solo têm se consolidado como ferramentas eficientes para o manejo racional da irrigação, especialmente em sistemas agrícolas que demandam maior precisão no uso da água. Esses equipamentos possibilitam o acompanhamento contínuo da umidade em diferentes profundidades do solo (SILVA et al., 2022; EVETT; SCHWARTZ; CASANOVA, 2012), fornecendo informações que auxiliam na tomada de decisão quanto ao momento ideal e à quantidade adequada de água a ser aplicada. A tecnologia de sensores na agricultura de precisão auxilia na calibração da irrigação conforme as necessidades das culturas, evitando a irrigação excessiva e insuficiente. As práticas mencionadas acima ajudam a otimizar o consumo de água, minimizar os custos operacionais e reduzir os impactos ambientais decorrentes do manejo inadequado da irrigação (JONES, 2004; SILVA et al., 2022). Além disso, a combinação de sensores com plataformas digitais facilita o monitoramento remoto das condições do solo e a automação do sistema de irrigação, facilitando um maior controle sobre as operações de água (COELHO; OR, 2018). Essa

técnica é particularmente aplicável no cultivo de soja em áreas com variabilidade climática, onde o monitoramento preciso da umidade do solo pode apoiar uma melhor estabilidade da produtividade (NOGUEIRA et al., 2019). Assim, o uso de sensores de umidade do solo, como o sistema CropX, representa um meio alternativo para melhorar o manejo da irrigação, tornando-o mais eficiente no uso dos recursos hídricos e um método de cultivo mais sustentável (SILVA et al., 2022; COELHO; OR, 2018).

3.8 Fisiologia da soja sob estresse hídrico

A disponibilidade de água no solo constitui um dos fatores mais determinantes para o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura da soja, especialmente em regiões tropicais onde a irregularidade das chuvas é frequente. Em condições de déficit hídrico, a planta desencadeia uma série de respostas fisiológicas e bioquímicas com o objetivo de reduzir a perda de água e manter sua atividade metabólica, sendo o fechamento estomático uma das primeiras respostas observadas. Esse mecanismo reduz a transpiração, porém também limita a difusão de dióxido de carbono para o interior das folhas, comprometendo a taxa fotossintética e, consequentemente, a produção de fotoassimilados (TAIZ et al., 2017; NOGUEIRA et al., 2019).

Além da redução da fotossíntese, o estresse hídrico afeta diretamente a expansão celular, resultando em menor crescimento vegetativo e redução da área foliar. Essas alterações morfológicas impactam negativamente a interceptação de radiação solar, reduzindo a eficiência fotossintética da cultura. Em estádios reprodutivos, como floração e enchimento de grãos, o déficit hídrico pode provocar abortamento de flores e vagens, diminuindo o número de estruturas reprodutivas e afetando diretamente o rendimento final (FARIAS et al., 2007; PETTER et al., 2012).

Outro aspecto relevante refere-se ao desequilíbrio metabólico causado pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), que podem provocar danos oxidativos às membranas celulares e aos sistemas enzimáticos. Nesse contexto, plantas mais tolerantes ao estresse hídrico apresentam mecanismos mais eficientes de defesa antioxidante, além de maior capacidade de ajuste osmótico, permitindo a

manutenção da turgescência celular mesmo sob baixa disponibilidade hídrica (TAIZ et al., 2017).

Portanto, a resposta da soja ao estresse hídrico está diretamente associada ao genótipo, ao estágio de desenvolvimento da planta e às condições ambientais, sendo fundamental a adoção de estratégias de manejo que minimizem os efeitos da deficiência hídrica, como o uso de irrigação suplementar e tecnologias que aumentem a eficiência do uso da água.

3.9 Eficiência do uso da água na soja

A eficiência do uso da água (EUA) é um indicador importante para avaliar a relação entre a produção agrícola e o consumo hídrico, sendo especialmente relevante em regiões com limitação de recursos hídricos. Na cultura da soja, a EUA está diretamente relacionada à capacidade da planta em manter sua produtividade sob condições de restrição hídrica, sendo influenciada por fatores genéticos, ambientais e de manejo (BLUM, 2009).

Cultivares com maior eficiência no uso da água apresentam características como maior profundidade do sistema radicular, melhor controle estomático e maior capacidade de ajuste osmótico. Além disso, práticas como o manejo adequado da irrigação e o uso de tecnologias de monitoramento da umidade do solo podem contribuir significativamente para o aumento da eficiência hídrica (NOGUEIRA et al., 2019).

Nesse contexto, o uso de sensores de umidade do solo permite a aplicação de água de forma mais precisa, reduzindo perdas e aumentando a eficiência do sistema produtivo. Essa abordagem é fundamental para a sustentabilidade da agricultura moderna, especialmente diante das mudanças climáticas e da crescente demanda por alimentos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Características da área experimental

A presente pesquisa a campo foi desenvolvida na safra de verão 2024/25 na área experimental, coordenadas de $51^{\circ} 33' W$ de long. Oeste de Greenwich e $21^{\circ} 27' S$ de Lat. Sul e 390 m de altitude. O solo do local da pesquisa é um Argissolo Vermelho Distrófico típico de textura arenosa (SANTOS et al., 2018). As médias climáticas anuais da região correspondem à temperatura de $23,97^{\circ}C$, umidade relativa do ar de 64,23% e precipitação pluviométrica de 1.261 mm por ano. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima local é caracterizado como Aw, subtropical úmido, apresentando verão quente e chuvoso no período de outubro a março, e inverno seco e mais ameno entre abril e setembro, com baixos índices de precipitação. As informações referentes à precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar durante o período experimental foram coletadas por meio da estação meteorológica Campbell Scientific CR10X, instalada na instituição de ensino superior, conforme observamos nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 e 2 - Sensor de umidade do solo comercial V151245 da CropX.



Fonte: Elaborado pelo autor.

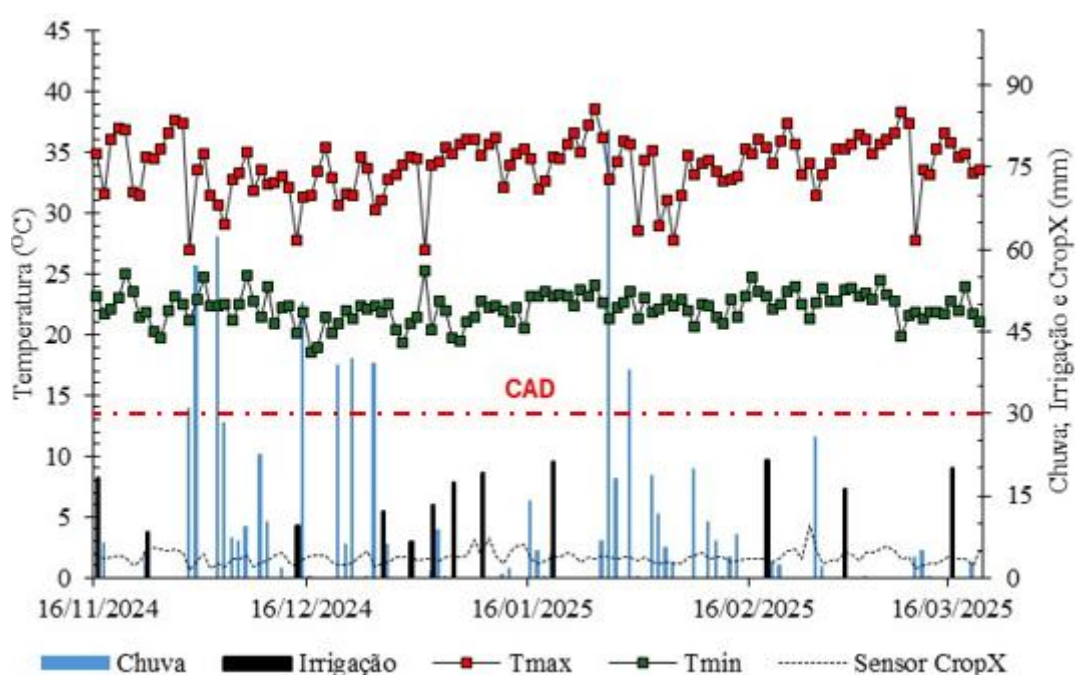


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 3 foi elaborada a partir de dados climáticos obtidos na estação meteorológica automática Campbell Scientific, modelo CR10X, localizada na FCAT – Campus de Dracena – SP, bem como dos dados provenientes do sensor de umidade do solo CropX, onde teve como referência para o cálculo da capacidade de água

disponível (CAD) os dados extraídos da curva de retenção de água no solo, tabela 2. A figura apresenta as variáveis climáticas relacionadas ao comportamento edafoclimático durante o período compreendido entre a semeadura e a colheita da cultura, incluindo precipitação pluvial (mm), balanço de água no solo estimado pelo sensor CropX (mm dia⁻¹), temperatura máxima e mínima do ar (°C) e lâminas de irrigação aplicadas (mm).

Figura 3- Dados das variáveis climáticas



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Delineamento experimental

A pesquisa foi conduzida sob delineamento experimental em parcelas subdivididas, em esquema fatorial $4 \times 2 \times 2$, com quatro repetições. O tratamento principal (I) foi constituído pelo uso de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs), sendo: 1) inoculação convencional com *Bradyrhizobium* sp. (estirpe SEMIA 6144); 2) coinoculação de *Bradyrhizobium* sp. + *Azospirillum brasilense* (estirpes Ab-V5 e Ab-V6); 3) coinoculação de *Bradyrhizobium* sp. + *Bacillus aryabhattai* (cepa CMAA 1363); e 4) coinoculação de *Bradyrhizobium* sp. + *Trichoderma harzianum* (isolado IBLF006).

A inoculação com *Bradyrhizobium* sp. foi realizada via tratamento de sementes imediatamente antes da semeadura, seguindo a recomendação do fabricante para garantir adequada nodulação e estabelecimento da simbiose. Posteriormente, as coinoculações foram efetuadas aos 10 dias após a emergência da cultura, quando as plantas se encontravam no estágio fenológico V2, no dia 11 de dezembro de 2024. A aplicação foi realizada no período da manhã, utilizando pulverizador costal pressurizado, em área total das parcelas, na dose de 500 mL ha⁻¹ de cada inoculante, considerando volume de calda de 250 L ha⁻¹. A realização da aplicação nas primeiras horas do dia teve como objetivo minimizar a exposição dos microrganismos à radiação solar intensa e às elevadas temperaturas, favorecendo sua sobrevivência e colonização das plantas.

O tratamento secundário (II) foi composto por duas cultivares de soja adaptadas às condições edafoclimáticas da região. A cultivar SLI 6804 IPRO (V1), desenvolvida pela Semeali Sementes, apresenta hábito de crescimento indeterminado, elevado potencial produtivo, sistema radicular agressivo, excelente engalhamento e boa sanidade radicular, além de tolerância ao nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*, raça 3). Possui ampla adaptação às condições de cultivo do estado de São Paulo e destaca-se pela estabilidade produtiva em diferentes ambientes (Semeali, 2023; Agrolink, 2025).

A segunda cultivar utilizada foi a AS 3790 I2X (V2), pertencente ao portfólio Agroeste/Bayer, caracterizada por hábito de crescimento indeterminado, grupo de maturação relativa 7.9 e tecnologia Intacta 2 Xtend®, que confere proteção contra importantes lagartas e tolerância ao herbicida dicamba. Trata-se de uma cultivar amplamente adaptada às regiões produtoras do Cerrado e do Sudeste brasileiro, apresentando elevado teto produtivo, boa arquitetura de plantas e estabilidade de rendimento em diferentes ambientes de produção (Agroeste/Bayer, 2025; Agrolink, 2025).

O tratamento (C) correspondeu a dois manejos hídricos: cultivo em condição de sequeiro e cultivo irrigado. O manejo da irrigação foi realizado por meio do sensor comercial V151245 (CropX®), sendo as lâminas corrigidas de acordo com o coeficiente da cultura (Kc) em suas respectivas fases fenológicas.

Cada unidade experimental foi composta por sete linhas de semeadura com espaçamento de 0,45 m entre linhas e comprimento de 4 m. A área útil das parcelas correspondeu às três linhas centrais, com 3 m de comprimento, sendo descartados

0,5 m em ambas as extremidades para eliminação do efeito de bordadura. O experimento contou com quatro repetições para cada combinação de tratamentos.

4.3 Implantação do experimento a campo

No mês maio de 2024, foi realizada coleta de solo para determinar os teores químicos do solo, após os cálculos a área recebeu a dose de $1,8 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário dolomítico PRNT de 85% em operações mecanizadas, a incorporação foi realizada com arado de aivecas a fim de elevar o V% a 70%, finalizando o preparo do solo com uma operação de grade niveladora, sequência realizou a semeadura do mix *Urochloa ruziziensis* 6 kg ha^{-1} + *Crotalaria ochroleuca* 5 kg ha^{-1} em linha onde utilizou a semeadora de 7 linhas PST 4 em 03/06/2024.

O solo apresentou pH de 5,6, teor de matéria orgânica de 11 g dm^{-3} e fósforo disponível de 31 mg dm^{-3} . Os teores de potássio, cálcio e magnésio foram de 2,9; 25 e 13 mmolc dm^{-3} , respectivamente. A saturação por bases (V%) foi de 82% e não foi observada presença de alumínio trocável (Al^{3+}). Esses resultados indicam as condições químicas iniciais do solo da área experimental antes da instalação do experimento.

Tabela 1 - Caracterização química do solo da camada de 0,00 - 0,20 m realizada por meio de amostragem composta da área experimental, da FCAT-Dracena, SP, Brasil, 2024/2025

pH	MO	P (resina)	K	Ca	Mg	Al	H+A	SB	CTC	V
	$\text{CaCl}_2 \text{ (g dm}^{-3}\text{)}$	$\text{(mg dm}^{-3}\text{)}$	----- $\text{(mmolc dm}^{-3}\text{)}$ -----							(%)
5,6	11	31	2,9	25	13	0	9	40,9	49,9	82

Métodos de extração: P, Ca, Mg e K em resina.

Fonte: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, laboratório de fertilidade do Solo, 2024.

A instalação da cultura da soja foi semeada em 21 de novembro de 2024 utilizando a semeadora da PST 4 Tatú, modulada para SPD com 7 linhas disposta de disco de corte, sulcador com distribuição de adubo de modo mecânico e distribuição de semente á vácuo com disco defasado/desencontrado no espaçamento de 0,45m

entre linhas. Para a implantação do experimento foram utilizadas 17 sementes por m de linha para todas as variedades com adubação de base da fórmula 08-28-16 + Zn com a dose de 350 Kg ha⁻¹.

Antes da semeadura as sementes de soja foram tratadas com inseticida Standak® Top (p.c.) (i.a. Fipronil 250 g L⁻¹; Piraclostrobina 25 g L⁻¹; Tiofanato-metílico 225 g L⁻¹) na dosagem de 200mL por 100 Kg de sementes, inoculante líquido Masterfix (*Bradyrhizobium*) com dosagem recomendada pelo fabricante de 100 mL para 50 Kg de sementes. A aplicação de *A. brasilense*, *B. aryabhattai* e *T. harzianum* das coinoculações foram realizadas via pulverização em área total no estágio fenológico V2 da soja com 2 trifólios completamente desenvolvidos (Fehr; Caviness, 1977), com vazão de 200 L ha⁻¹. Após a finalização da semeadura foi montado o sistema de irrigação por aspersão e a área experimental foi irrigada por 6 horas para fornecer umidade suficiente para germinação.

As operações mecanizadas para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas estão descritas abaixo durante as etapas da condução do experimento a campo, onde foi utilizado o conjunto trator Vamet 785 4x2 de rodagem fina e o pulverizador agrícola hidráulico da marca Jacto, de barras com capacidade de carga de 600 L. As aplicações dos produtos agroquímicos foram realizadas de forma a prevenir doenças fúngicas e controle de pragas e plantas daninhas. Sempre antes de qualquer operação fitossanitária para o controle de pragas e doenças houve maior atenção no estágio reprodutivo de enchimento de grãos, com realização do monitoramento semanal com amostragens, onde utilizou o manejo de batidas de pano para mensurar a infestação e identificação de lagartas e percevejos.

No dia 08 de novembro de 2024 foi realizada a dessecação das plantas de cobertura *Urochloaruziziensis* + *Crotalária ochroleuca* com aplicação do herbicida Roundup WG (i.a Glifosato 792,5 g Kg⁻¹) nas doses 2,5 Kg ha⁻¹ e 2,4 D (2,4 D 806 g/L) e equivalente ácido de 2,4 D 670 g/L na dose de 1,1 L ha⁻¹, com volume de calda de 240 L de água ha⁻¹. Em 05 de janeiro de 2025 fez aplicação do herbicida Roundup WG (i.a Glifosato 792,5 g Kg⁻¹) nas doses de 1,5 Kg ha⁻¹ com volume de calda de 240 L de água ha⁻¹ para o controle de plantas daninhas.

Em 28 de fevereiro /2025 foi realizada a aplicação do inseticida Engeo Pleno (i.a. Tiametoxam 141 g L⁻¹; Lambda-cialotrina 106 g L⁻¹) em uma dosagem de 180 mL ha⁻¹ com intuito de controlar percevejos e lagartas que estavam com índice próximo ao de ocasionar danos econômicos na cultura, e o fungicida Opera (i.a Piraclostrobina

133 g/L e i.a. Epoxiconazol 50 g/L) com a dose de 600 mLha⁻¹ com objetivo preventivo/protetivo contra ferrugem asiática da soja. Ambas as aplicações utilizaram 240 litros de volume de calda por hectare.

Em 15 de março de 2025, foram realizadas aplicações de herbicida e inseticida, o produto utilizado para controlar as plantas invasoras foi o ROUNDUPWG (i.a. Glifosato 792,5 g Kg⁻¹) na dose de 1,5 kg ha⁻¹ volume de calda de 240 l ha⁻¹ em área total. O inseticida utilizado foi o Thiametoxan (i.a. Thiametoxam 75% do produto) na dosagem de 100 g por hectare com um volume de calda de 250L ha⁻¹.

No dia 29 de março de 2025, foi desmontado e retirado o sistema de irrigação e em seguida a área foi dessecada utilizando o produto Reglone (i.a. Diquate 200 g/L) com volume de calda de 240 L/ha em área total.

Para realizar a produtividade da soja foi realizada a colheita das parcelas no dia 6 de abril, as plantas coletadas foram enfeixadas e identificadas, em seguida foram armazenadas na estufa agrícola para perder umidade até o momento da degrana. No mesmo dia também foram colhidas 5 plantas aleatórias de cada parcela para a realização das análises biométricas, as plantas foram colhidas manualmente, separadas, etiquetadas e armazenadas no laboratório até o momento da avaliação.

As análises biométricas da soja foram realizadas alguns dias após a colheita, onde foram analisados a altura da planta, número de hastes, altura da primeira vagem e número total de vagens por planta. O processo de degrana da soja para determinação da produtividade foi realizado no dia 12/04/2025 com a utilização da trilhadora/batedeira de cereais BC30 “Luma” (Figura 4), os grãos foram armazenados em sacos de papel e identificados. Posteriormente as amostras foram pesadas, separadas e ajustadas a uma umidade de 13% e contabilizado a produtividade em kg ha⁻¹.

Figura 4 - Degrana da soja trilhadora/batedeira de cereais BC30 “Luma”, utilizada para trilha da soja



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi por aspersão convencional com 80% de eficiência, equipado com aspersores Agropolo, modelo NY25, bocais 2,8 x 2,5 mm, composto por duas linhas de tubos paralelas, cada uma com três aspersores espaçados em 12 metros e 20 metros de isolamento entre o manejo irrigado e sequeiro e para se obter uma boa uniformidade de aplicação a $4,9 \text{ mm h}^{-1}$, pressão de trabalho de 3,0 bar. Para determinar a uniformidade e intensidade da lâmina horária de irrigação foi utilizado teste CUC, Coeficiente de Uniformidade de Christiansen realizado no dia 06 de dezembro de 2024, onde foi constatado uma uniformidade de 85% (Figura 5).

Figura 5 - Teste de CUC, avaliação da uniformidade de distribuição da lâmina de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Manejo da irrigação via sensor automatizado de umidade do solo V151245 cropx;

Para o manejo da irrigação foi utilizado o sensor de umidade de solo V151245 CropX automatizado configurado com os parâmetros dos teores de argila do solo afim de determinar Capacidade de Água Disponível (CAD). De posse da curva característica do solo Tabela 2 o manejo da irrigação pode ser acompanhado e ajustado conforme os cálculos da CAD calculada a seguir abaixo.

Tabela 2 - Curva característica de água no solo com potencial matricial versus umidade gravimétrica e densidade do solo da área experimental para as diferentes camadas, Dracena, SP, Brasil, 2021.

Profundidade (m)	Potencial matricial									Ds g cm ⁻³
	Centímetros de coluna de água (cca)									
	-0	-10	-40	-100	-300	-500	-1000	-5000	-15000	
	Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)									
0,00-0,15	0,3087	0,2895	0,1850	0,1305	0,1042	0,0912	0,0757	0,0622	0,0420	1,54
0,16-0,30	0,2807	0,2626	0,1694	0,1174	0,0912	0,0775	0,0626	0,0539	0,0422	1,57
0,31-0,45	0,2457	0,2266	0,1458	0,1148	0,0907	0,0733	0,0593	0,0520	0,0427	1,65

Fonte: Laboratório de Solos e Qualidade de Água, Esalq/USP, Piracicaba, SP. Ds: Densidade aparente do solo(2024).

A aplicação da lâmina de irrigação para a reposição de água no solo para a cultura foi sempre baseada na CAD do solo e consumo diário de água medida pelo sensor V151245 CropX em mm e corrigida pelo Kc de cada fase fenológica da cultura e na eficiência (80%) do sistema de irrigação por aspersão.

K_c =coeficiente da cultura da soja, (conforme proposto por DOORENBOS; KASSAM, 1979). Eficiência = eficiência do sistema de irrigação por aspersão média de 80%.

Para determinar a capacidade de água disponível (CAD) da área experimental, foram enviadas ao laboratório duas repetições de amostras de solo coletadas nas profundidades de 0,00–0,15 m e 0,16–0,30 m, visando à obtenção da curva de retenção de água do solo. Com base nos dados obtidos, realizou-se a conversão para unidade volumétrica utilizando o modelo de Genuchten, permitindo posteriormente o cálculo da CAD. Os parâmetros relacionados ao modelo encontram-se descritos na Tabela 2.

A caracterização textural do solo da área experimental apresentou valores de areia de 822 e 788 g kg⁻¹, silte de 73 e 71 g kg⁻¹ e argila de 105 e 140 g kg⁻¹, para as camadas de 0,00–0,20 m e 0,21–0,40 m, respectivamente.

O manejo da irrigação com base nas condições atmosféricas foi realizado de acordo com o método adotado no experimento, sendo a irrigação acionada sempre que a capacidade de armazenamento de água disponível atingia o nível crítico, determinado por uma fração de esgotamento de água no solo (f) da CAD, calculada por meio da seguinte expressão:

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \times d \times f \times Z$$

Em que:

CAD = capacidade de armazenamento disponível (mm) crítica ou lâmina de água armazenada no solo que será usada como suprimento para a cultura da soja (mm);

θ_{cc} e θ_{pmp} = umidade volumétrica do solo na capacidade de campo e ponto de murcha permanente (cm³ cm⁻³), ajustado segundo Genuchten;

d = densidade do solo (g cm⁻³);

f = coeficiente de esgotamento de água no solo de 0,7, ou seja, significa que pode ser consumida até 70% da Capacidade de Água Disponível “CAD” no solo ou déficit hídrico tolerável, conforme Doorembus; Kassam (1979);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (mm) da soja de 0,25 m.

4.6 Parâmetros avaliados

Foram avaliadas as seguintes características: altura de planta (HP); altura da 1ª vagem (H1ºV); número de hastes laterais (NHL); número de vagens por planta (NTV); população final por metro (Stand), massa de mil grãos (PMS); produtividade de grãos a 13% a base úmida, onde foram coletadas cinco plantas de soja tomadas aleatoriamente dentro da unidade experimental, foram avaliadas a média das características: altura de planta, altura da inserção da 1ª vagem, número total vagens. Todas as variáveis estudadas foram analisadas por meio de rotinas a serem desenvolvidas pelos autores no Software livre R.

Características agronômicas: foram coletadas, por ocasião da colheita, 5 plantas da área útil das parcelas foram utilizadas para a avaliação de todas as características a seguir; Altura de planta: foi medido com auxílio de trena, a altura do colo da planta até o final da haste principal; Inserção da 1ª vagem: com a mesma trena também foi medido altura do colo da planta até a inserção da 1ª vagem; Número de hastes: foram contados os números de todas as hastes laterais de cada planta.

Componentes da produção: as mesmas 5 plantas citadas acima da área útil das parcelas foram avaliadas, número de vagens por planta: determinado por meio da relação do número total de vagens/número de plantas; massa de cem grãos: foram obtidos por meio da coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de cem grãos por parcela;

Produtividade de grãos: as plantas da área útil de cada parcela, foram tomadas em 3 linhas espaçadas por 0,45 m por 3 metros (4,05 m²), e nesta mesma oportunidade foram arrancadas contabilizadas para obter a população final por metro (Stand) e na sequência enfeixadas e deixadas para secagem dentro da estufa agrícola para perder umidade. Após a secagem, as mesmas foram submetidas a trilha mecânica com a trilhadora/batedeira de cereais BC30 “Luma”, na sequência os grãos foram pesados e os dados transformados em kg ha⁻¹ (13 % base úmida), depois da pesagem de produção a 13% foram retiradas três amostras de 100 grãos de cada unidade experimental para determinar a média da umidade do peso de mil sementes (PMS) a 13% base úmida.

4.7 Análise estatística dos dados

Foram consideradas quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2 x 2,

considerando quatro MPCP (Fator A) e duas variedades (Fator B) e dois manejos hídricos (Fator C). Para as características que apresentarem significância na análise de variância, foram procedido o teste de Tukey para comparação de médias. Toda análise estatística foi realizada por meio de rotinas desenvolvidas pelos autores no Software livre R.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância (Tabela 3) evidenciaram efeito significativo do fator lâmina de irrigação sobre as variáveis altura de plantas (HP), altura de inserção da primeira vagem (H1^aV), massa de mil sementes (PMS) e produtividade (Prod), todas com nível de significância de $p < 0,001$.

O fator variedade apresentou efeito significativo para todas as variáveis avaliadas, com níveis de significância variando entre $p < 0,05$ e $p < 0,001$, indicando a influência das características genéticas sobre o desempenho agrônomo da cultura.

Por sua vez, o fator microrganismo apresentou efeito significativo para as variáveis altura de plantas (HP), altura de inserção da primeira vagem (H1^aV) e estande de plantas (Stand), demonstrando que a inoculação e coinoculação influenciaram parcialmente o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Não foram observadas interações significativas entre os fatores avaliados, indicando que os efeitos da lâmina de irrigação, das variedades e dos microrganismos ocorreram de forma independente.

Tabela 3 - Análise de variância (ANOVA) para as variáveis agrônômicas da cultura da soja como HP, H1^aV, NHL, NTV, Stand, PMS e Prod, submetidas a diferentes manejos de irrigação, inoculações e variedades, conduzida em sistema de plantio direto, Dracena – SP, safra 2024/2025

F.V.	Gl	Q.M.						
		HP (m)	H1 ^a V (m)	NHL	NTV	Stand (m)	PMS (g)	Prod (kg/ha)
Lâmina								
de irrigação	1	0.139***	0.0038***	0,25	212,4	4,25	29890.08***	12319424.3***
Variedade	1	0.226***	0.0017*	9.92*	901.5*	13.96*	1531.74*	6561493.6***
Microorganismo	3	0.0249*	0.0012**	2,59	69,3	8*	34,75	384416,2
Bloco	3	0,001	0,00025	1,35	122,8	6	76,05	399881,4
L x V	1	0,002	0,00002	0,02	122,6	1,47	411,58	448436,1
L x M	3	0,011	0,00061	3,43	420,7	4,34	294,36	895086,2
V x M	3	0,007	0,000059	1,07	346,4	6,47	250,82	750765.8**
L x V x M	3	0,005	0,000054	0,5	196,7	1.43*	257,87	1977776.1*
Resíduo	45	0,006	0,00024	1,28	211,6	2,23	182,23	171039.8***
$\bar{x}$		0,7876	0,1246	3.975	58,49	9,15	147,17	3630,34
CV (%)		9,7	12,44	28,48	24,87	16,31	9,17	11,39

*- p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001. CV=Coeficiente de Variação

L= lâmina de irrigação, V=variedade e M= microorganismos

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 4, observa-se que houve diferença significativa entre as variedades de soja para todas as variáveis analisadas, evidenciando a influência do fator genético sobre o desempenho agrônomo da cultura.

Tabela 4 - Médias das características agrônômicas avaliadas em duas variedades de soja

VARIEDADE	HP (m)	H1 ^a V (m)	NHL	NTV	PMS (g)
Semeali 6804					
IPRO	0.728 b	0.119 b	4.37a	54.7 b	142 b
AS 3790 I2X	0.847 a	0.130 a	3.58b	62.2 a	152 a
C.V. (%)	9,7	12,44	28,48	24,87	9,17

Fonte: Elaborada pelo autor

A variedade V2 apresentou maiores médias para altura de plantas (HP), altura de inserção da primeira vagem (H1^aV), número total de vagens (NTV) e massa de mil sementes (PMS), indicando superioridade quanto ao desenvolvimento vegetativo e ao potencial produtivo. Por outro lado, a variedade V1 destacou-se para o número de hastes por planta (NHL), evidenciando maior capacidade de ramificação.

Esses resultados refletem diferenças genéticas no comportamento das cultivares frente às condições experimentais, o que é esperado em função da

variabilidade entre genótipos de soja quanto ao hábito de crescimento, arquitetura de planta e eficiência no uso de recursos ambientais. Resultados semelhantes foram reportados por Lima et al. (2021) e Tomaz et al. (2018), que observaram variações significativas entre cultivares para características como altura de plantas, inserção da primeira vagem e massa de sementes.

Na sequência, são apresentados os resultados referentes ao efeito dos manejos hídricos sobre o crescimento e a produtividade da cultura (Tabela 5).

Tabela 5 - Médias das características agronômicas da soja conduzida sob diferentes manejos hídricos.

MANEJO	HP (m)	H1 ^a V (m)	PMS (g)
Irrigado	0.834 a	0.132 a	169 a
Sequeiro	0.741 b	0.117 b	126 b
C.V. (%)	9,7	12,44	9,17

Fonte: Elaborada pelo autor

Segundo Almeida et al. (2020), o aumento da disponibilidade de água no solo favorece o alongamento celular e o desenvolvimento do caule, resultando em plantas mais altas e com maior altura de inserção da primeira vagem, o que contribui para o incremento da produtividade.

De acordo com Silva et al. (2018), o déficit hídrico compromete processos fisiológicos essenciais, como a expansão foliar, a atividade fotossintética e o transporte de fotoassimilados, resultando na formação de grãos menores e na redução da massa de mil sementes. Esse comportamento explica os menores valores observados no manejo em condições de sequeiro no presente estudo (Tabela 5).

Adicionalmente, estudos de Petter et al. (2012) e Nogueira et al. (2019) demonstram que o estresse hídrico em fases críticas da cultura, como floração e enchimento de grãos, pode reduzir significativamente o rendimento, uma vez que o déficit de água compromete o desenvolvimento das estruturas reprodutivas e acelera a senescência foliar.

Na Tabela 6 são apresentadas as médias das variáveis altura de plantas (HP) e altura de inserção da primeira vagem (H1^aV), em função dos diferentes microrganismos promotores de crescimento.

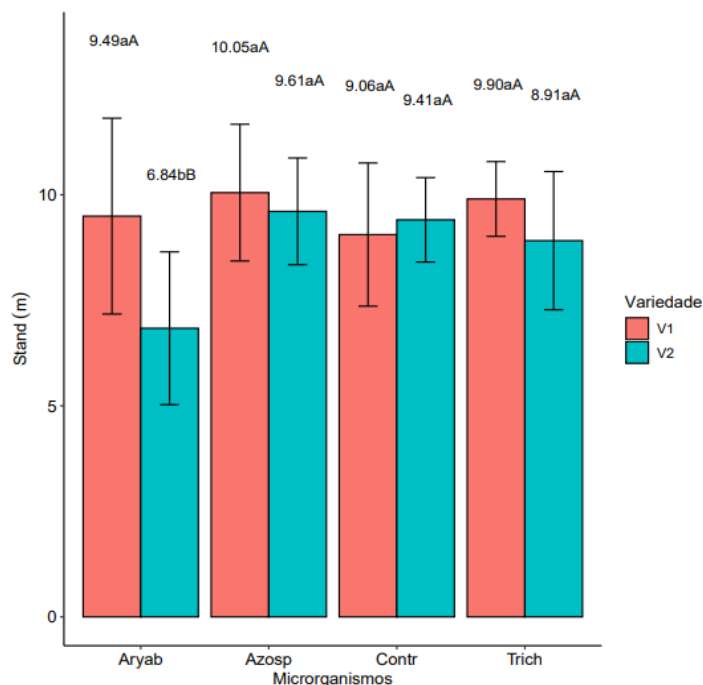
Tabela 6 - Médias das características agrônômicas altura de plantas (HP) e altura da primeira vagem (H1^aV) da soja submetida à inoculação e co-inoculação com diferentes microrganismos promotores de crescimento.

MICROORGANISMO	HP (m)	H1 ^a V (m)
<i>Bradyrhizobium</i> sp.,	0.731 b	0.115 b
<i>Azospirillum brasilense</i>	0.791 ab	0.120 b
<i>Bacillus aryabhattai</i>	0.821 a	0.135 a
<i>Trichoderma harzianum</i>	0.808 a	0.128 ab
C.V. (%)	9,7	12,44

Fonte: Elaborada pelo autor

Além das variáveis de crescimento, foi avaliado também o estande de plantas (Figura 6), visando identificar a influência dos microrganismos na emergência e uniformidade das plantas.

Figura 6 - Médias das características agrônômicas da soja submetida à inoculação e co-inoculação com diferentes microrganismos promotores de crescimento.



Na Tabela 6 e Figura 6, observa-se que os microrganismos promotores de crescimento de plantas influenciaram significativamente algumas características relacionadas ao desenvolvimento inicial da cultura da soja. Para altura de plantas (HP) e altura de inserção da primeira vagem (H1^aV), verificaram-se diferenças entre os

tratamentos com MPCPs, evidenciando que a utilização desses microrganismos pode modificar a expressão dessas características agronômicas.

Esses resultados podem estar relacionados aos mecanismos de ação dos microrganismos promotores de crescimento, especialmente à produção de fitohormônios, como auxinas, giberelinas e citocininas, capazes de estimular a divisão e o alongamento celular, promover alterações na arquitetura radicular e favorecer a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Cassán et al., 2020; Fukami et al., 2018). Além disso, alguns desses microrganismos podem atuar na solubilização de nutrientes e na melhoria das interações na rizosfera, contribuindo para o desenvolvimento vegetal (Backer et al., 2018).

Para o estande de plantas, também foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. A manutenção de um estande adequado é uma característica importante, pois está diretamente relacionada à uniformidade do estabelecimento da lavoura e ao potencial produtivo da cultura. Entretanto, considerando que não foram verificadas interações significativas entre os fatores estudados, os efeitos observados devem ser interpretados de forma independente, não sendo possível atribuir respostas específicas a determinadas combinações entre microrganismos e cultivares.

A ausência de interação significativa indica que os efeitos dos microrganismos sobre as variáveis avaliadas ocorreram de maneira consistente entre as cultivares estudadas, sugerindo que as respostas observadas refletem o efeito principal dos tratamentos e não uma dependência específica entre genótipos e inoculantes. Esse comportamento reforça o potencial dos MPCPs como ferramentas capazes de promover melhorias no desenvolvimento inicial da soja em diferentes materiais genéticos, embora a magnitude dessas respostas possa variar em função das condições ambientais e de manejo adotadas (Hungria et al., 2015; Bashan et al., 2014).

De maneira geral, os resultados obtidos demonstram que a utilização de microrganismos promotores de crescimento pode contribuir para o vigor vegetativo e para o adequado estabelecimento da cultura, características importantes para a formação do potencial produtivo da soja. Contudo, tais efeitos devem ser interpretados à luz dos efeitos principais identificados pela análise estatística, respeitando os limites de inferência estabelecidos pelo modelo experimental adotado.

Na sequência, a Tabela 7 apresenta as médias de produtividade das cultivares de soja sob os diferentes tratamentos com microrganismos promotores de crescimento e condições de manejo hídrico, permitindo avaliar o desempenho final da cultura em resposta aos fatores estudados.

Um aspecto que merece destaque refere-se ao comportamento observado para a cultivar Semeali 6804 IPRO em condição de sequeiro, na qual o tratamento controle apresentou produtividade numericamente superior aos tratamentos com co-inoculação. Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos nesse ambiente, uma hipótese plausível para esse resultado está relacionada à ocorrência de manchas localizadas de nematoides na área experimental. A presença desses fitopatógenos pode ter promovido variabilidade adicional entre as parcelas, afetando o desenvolvimento radicular, a absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade das plantas.

Tabela 7 - Médias de produtividade das cultivares de soja, sob inoculação com diferentes microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs), nos sistemas irrigado e de sequeiro.

IRRIGADO				
MPCPs				
Variedade	Aryab	Azos	Contr	Trich
Semeali 6804 IPRO	4455 aA α	4136 aA α	2813 bB α	3927 aA α
AS 3790 I2X	3632 bB α	4886 aA α	4468 aA α	4236 aA α
SEQUEIRO				
MPCPs				
Variedade	Aryab	Azos	Contr	Trich
Semeali 6804 IPRO	2.870 aA β	2697 aA β	3339 aA α	2245 aA β
AS 3790 I2X	3674 aA β	3637 aA β	3417 aA β	3655 aA β

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra grega (α e β) na mesma coluna, para cada combinação variedade $\times$ MPCP, não diferem entre os manejos hídricos (irrigado e sequeiro) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelo autor

Além disso, sob condições de déficit hídrico, os danos causados pelos nematoides tendem a ser potencializados, uma vez que a redução do volume

explorado pelas raízes limita ainda mais a capacidade da planta em acessar água em camadas mais profundas do solo (Jones et al., 2013; Nicol et al., 2011).

Nesse contexto, é possível que a distribuição espacial dos nematoides na área experimental tenha contribuído para a superioridade numérica do tratamento controle nessa condição específica, sem, contudo, caracterizar um efeito negativo dos microrganismos promotores de crescimento sobre a produtividade. Ressalta-se que essa interpretação deve ser considerada com cautela, visto que a população de nematoides não foi quantificada ao longo do experimento. Dessa forma, estudos futuros que incluam avaliações fitonematológicas poderão esclarecer de maneira mais precisa a influência da interação entre nematoides, microrganismos promotores de crescimento e disponibilidade hídrica sobre o desempenho produtivo da soja.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que o desempenho agrônômico da soja em sistema de plantio direto foi influenciado de forma independente pelo manejo hídrico, pelas cultivares e pelos microrganismos promotores de crescimento. A irrigação proporcionou ganhos significativos no desenvolvimento e na produtividade da cultura, destacando a importância da adequada disponibilidade hídrica e do uso de sensores de umidade para o manejo racional da água. A cultivar AS 3790 I2X apresentou melhor desempenho para a maioria das variáveis avaliadas, evidenciando maior adaptação às condições da região da Nova Alta Paulista. Os microrganismos promotores de crescimento favoreceram características relacionadas ao estabelecimento inicial da lavoura, como altura de plantas, inserção da primeira vagem e estande, embora não tenham promovido aumentos consistentes na produtividade final. A ausência de interação significativa entre os fatores indica que seus efeitos ocorreram de forma independente, permitindo a adoção de estratégias integradas de manejo. Assim, o estudo fornece subsídios para práticas mais sustentáveis na produção de soja, recomendando-se a realização de pesquisas de longa duração para ampliar o entendimento sobre a estabilidade das respostas dos bioinsumos em diferentes condições de cultivo.

REFERÊNCIAS

AGROESTE. AS 3790 I2X. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/d/soja-agroeste-as-3790-i2x-br>. Acesso em: 9 jun. 2026.

AGROLINK. AS 3790 I2X. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/sementes/cultivar/as-3790-i2x_754.html. Acesso em: 9 jun. 2026.

AGROLINK. SEMEALI 6804 IPRO. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/sementes/cultivar/semeali6804ipro_989.html. Acesso em: 9 jun. 2026.

ALLIPRANDINI, L. F. et al. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. *Crop Science*, v. 49, n. 3, p. 801–808, 2009.

ALMEIDA, A. Q. et al. Desempenho agronômico da soja sob diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 6, p. 405–412, 2020.

BACKER, R. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, p. 1473, 2018.

BASHAN, Y. et al. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*, v. 378, p. 1–33, 2014.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. Cover crop impacts on soil physical properties: a review. *Soil Science Society of America Journal*, v. 84, n. 5, p. 1527–1576, 2020.

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, v. 112, n. 2-3, p. 119–123, 2009.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. *Melhoramento de plantas*. 6. ed. Viçosa: UFV, 2013.

BORGHI, E. et al. *Sorgo biomassa BRS 716 para produção de forragem e palha em sistema plantio direto com soja*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

CASSÁN, F. et al. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biology and Fertility of Soils*, v. 56, p. 461–479, 2020.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomic aspects of the use of *Azospirillum* spp. in soybean. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 36, p. 138, 2020.

CHEROBIM, F. F. *Co-inoculation of Azospirillum brasilense strains and Bradyrhizobium sp. in soybean crops and development of a new technology of*

application. 2023. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023.

CHRISTIANSEN, J. E. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*, v. 22, n. 2, p. 89–92, 1942.

COELHO, E. F.; OR, D. Root zone soil moisture monitoring and irrigation management. *Agricultural Water Management*, v. 198, p. 1–8, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. Brasília, DF: CONAB, 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2024/25*. Brasília, DF: CONAB, 2025.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A. et al. Mechanisms for plant growth promotion activated by *Trichoderma* in natural and managed terrestrial ecosystems. *Microbiological Research*, v. 283, p. 127694, 2024.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014.

DERPSCH, R. et al. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research*, v. 137, p. 16–22, 2014.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. *Yield response to water*. Rome: FAO, 1979.

EMBRAPA. *Soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>. Acesso em: 10 jun. 2026.

EVANS, R. G.; SADLER, E. J. Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water Resources Research*, v. 44, W00E04, 2008.

EVETT, S. R. et al. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. *Agricultural Water Management*, v. 104, p. 1–9, 2012.

FAHDE, S. Rhizobia: a promising source of plant growth-promoting molecules and their non-legume interactions. *Agriculture*, v. 13, n. 6, p. 1257, 2023.

FARIAS, J. R. B. et al. *Ecofisiologia da soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

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

FIORINI, A. et al. Driving crop yield, soil organic carbon and soil biodiversity with cover crops under no-till. *Soil and Tillage Research*, v. 217, 105283, 2022.

FRANCHINI, J. C. et al. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. *Field Crops Research*, v. 137, p. 178–185, 2012.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, v. 8, p. 73, 2018.

GALINDO, F. S. et al. Inoculation and co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean. *Agronomy Journal*, v. 112, n. 5, p. 3738–3748, 2020.

HARMAN, G. E. et al. *Trichoderma* species: opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, v. 2, n. 1, p. 43–56, 2004.

HUNGRIA, M. et al. Coinoculation of soybeans with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum*. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, p. 2950, 2020.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Inoculation of soybeans with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium japonicum*. *AMB Express*, v. 5, p. 40, 2015.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a further step in sustainable agricultural intensification in Brazil. *Plant and Soil*, v. 392, p. 1–3, 2015.

HYMOWITZ, T. On the domestication of the soybean. *Economic Botany*, v. 24, n. 4, p. 408–421, 1970.

JAMES, C. *Global status of commercialized biotech/GM crops: 2017*. Ithaca: ISAAA, 2017.

JONES, H. G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 407, p. 2427–2436, 2004.

JONES, J. T. et al. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, v. 14, n. 9, p. 946–961, 2013.

LEITE, H. M. et al. Cover crops shape the soil bacterial community in tropical soil under no-till. *Applied Soil Ecology*, v. 168, 104166, 2021.

LEITE, R. C. et al. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* spp. and Amazonian strains of *Trichoderma asperellum* and *Bacillus* spp.: effects on nodulation and yield. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, v. 10, e21091, 2024.

LIMA, R. C. et al. Desempenho produtivo de cultivares de soja. *Revista Agrarian*, v. 14, n. 52, p. 1–10, 2021.

MOREIRA, F. M. S. et al. Inoculação e coinoculação com bactérias promotoras de crescimento. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, 2021.

NICOL, J. M. et al. Current nematode threats to world agriculture. In: JONES, J.; GHEYSEN, G.; FENOLL, C. (ed.). *Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions*. Dordrecht: Springer, 2011. p. 21–43.

NOGUEIRA, A. P. O. et al. Respostas fisiológicas e produtivas da soja à irrigação suplementar. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 13, n. 3, p. 3600–3612, 2019.

PETTER, F. A. et al. Influência do déficit hídrico no rendimento da soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 3, p. 283–290, 2012.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

SANTOS, H. G. et al. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOYO, G. et al. Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*, v. 183, p. 92–99, 2016.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. *Soja: do plantio à colheita*. Viçosa: UFV, 2015.

SEMEALI SEMENTES. SLI 6804 IPRO. Disponível em: <https://semeali.com.br/sli6804ipro/>. Acesso em: 9 jun. 2026.

SILVA, G. R. et al. Influência da irrigação no desenvolvimento e produtividade da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 2, p. 123–131, 2018.

SILVA, V. P. R. et al. Soil moisture sensors and irrigation management. *Agricultural Water Management*, v. 263, 107448, 2022.

SOUZA, R. A. et al. Effect of plant growth-promoting bacteria on soybean. *Agronomy Journal*, v. 115, p. 204–215, 2023.

TAIZ, L. et al. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

THAPA, S. et al. Impact of *Trichoderma* sp. in agriculture. *Journal of Biology Today's World*, v. 9, 2020.

TOMAZ, R. N. et al. Desempenho agronômico e qualidade de sementes de soja em função da adubação potássica adicional em cobertura. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 5, n. 4, p. 27–35, 2018.

USDA. *Oilseeds: World Markets and trade*. Washington, DC: USDA, 2025.

ZAHARAN, H. H. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 63, n. 4, p. 968–989, 1999.