

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

Gabriel Kazuo Cenedese Kozama

**Soja inoculada e coinoculada com microrganismos
promotores de crescimento de plantas, em sistema de
sequeiro e irrigado na Nova Alta Paulista**

Dracena
2025

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

Gabriel Kazuo Cenedese Kozama

**Soja inoculada e coinoculada com microrganismos
promotores de crescimento de plantas, em sistema de
sequeiro e irrigado na Nova Alta Paulista**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Campus
de Dracena como parte das exigências para
conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima

Coorientador: Prof. Dr. Rafael Simões Tomaz

Dracena
2025

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Soja inoculada e coinoculada com microrganismos promotores de crescimento de plantas, em sistema de sequeiro e irrigado na Nova Alta Paulista.

Modalidade: Atividades de pesquisa.

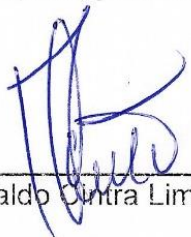
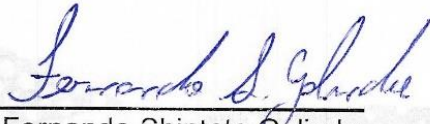
Autor: Gabriel Kazuo Cenedese Kozama

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: 31/10/2025.

		
Ronaldo Cintra Lima	Geici Carlos Lupatini	Fernando Shintate Galindo

Dedicatória

Aos meus pais, Adilson Kazuo Kozama e Simoni Cenedese Kozama, e à meu irmão, Guilherme Cenedese Kozama, dedico esta conquista com profundo carinho e gratidão. Vocês foram meu alicerce em todos os momentos, oferecendo apoio, coragem e incentivo para que eu pudesse seguir firme nesta jornada. Agradeço por cada gesto de amor, por cada sacrifício silencioso e por acreditarem em mim mesmo quando os desafios pareciam maiores do que eu. Esta vitória também é de vocês, que sempre foram minha inspiração e minha força para continuar avançando.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pela presença constante em minha vida, por guiar meus passos, fortalecer minha fé e me dar serenidade nos momentos de incerteza. Sem Sua direção e cuidado diário, eu não teria encontrado forças para chegar até aqui.

Aos meus pais, Kazuo e Simoni, e ao meu irmão Guilherme, deixo minha eterna gratidão. Vocês são meu exemplo de perseverança, amor e dedicação. Cada gesto, cada palavra de apoio e cada sacrifício realizado contribuíram diretamente para que eu pudesse transformar sonhos em realidade. Tudo o que conquisto hoje carrega a marca do esforço de vocês.

Aos meus amigos, que caminharam ao meu lado ao longo desses anos que passaram tão depressa, agradeço pelo companheirismo, pelo riso fácil, pelos conselhos sinceros e pela força nos momentos difíceis. Cada memória construída ao lado de vocês será levada comigo para sempre.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Cintra Lima, expresso minha profunda admiração e gratidão. Obrigado por acreditar em mim, acolher meu projeto, oferecer oportunidades que ampliaram meus horizontes e por cada ensinamento transmitido ao longo da jornada. Sua confiança e dedicação tiveram papel fundamental na minha formação acadêmica e pessoal.

Ao Grupo de Estudo de Irrigação e Agrometeorologia, (GEIA), agradeço pela honra de fazer parte da sua evolução e conquistas. Cada atividade em campo, cada discussão e cada troca de conhecimento foram essenciais para meu crescimento. Sou especialmente grato aos colegas que colaboraram na condução do experimento, tornando esse processo mais leve, produtivo e enriquecedor.

*"O Senhor firma os passos
do homem que se agrada
dele; ainda que caia, não
ficará prostrado, pois o
Senhor o sustém com a sua
mão." Salmos 37:23-24*

RESUMO

A soja tem papel fundamental como cultura potencialmente rentável e pela expressiva contribuição para a economia brasileira, devido ao seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, que conferem ampla utilização na alimentação humana e animal. O planejamento da irrigação é essencial para o aumento da produtividade, considerando que a disponibilidade hídrica é o fator climático de maior impacto na produção agrícola, outra nova tecnologia, e o uso microrganismos promotores de crescimento de plantas na eficiência do uso da água frente aos efeitos das mudanças climáticas proporcionando redução de custos e aumento da produtividade. O experimento foi realizado na safra 2024/2025, na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da UNESP, campus de Dracena – SP. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico de textura arenosa, com temperatura média anual de 24 °C, precipitação de 1.261 mm e umidade relativa média do ar de 64%. O delineamento experimental adotado foi fatorial 4×2, com quatro repetições, sendo quatro tratamentos com microrganismos promotores de crescimento de plantas (controle, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai* e *Trichoderma harzianum*), e dois manejos hídricos (sequeiro e irrigado via método da evapotranspiração de referência – ETo × coeficiente de cultura – Kc), com a variedade da soja Brasmax Coliseu I2X. As sementes foram semeadas sobre palhada de *Urochloa ruziziensis* e *Crotalaria breviflora*, e a aplicação dos MPCPs ocorreu 20 dias após a semeadura no estágio vegetativo V2. Os resultados mostraram que a irrigação e os microrganismos promotores de crescimento influenciaram de forma significativa o desenvolvimento e a produtividade da soja. O manejo irrigado proporcionou melhor desempenho nas variáveis avaliadas, incluindo altura de plantas, altura da primeira vagem, número de hastes laterais, número total de vagens, peso de mil sementes e produtividade, evidenciando que o déficit hídrico reduziu o potencial produtivo da cultura. Entre os microrganismos, *Azospirillum brasilense* apresentou melhor desempenho em ambiente irrigado, enquanto *Trichoderma harzianum* se destacou tanto no irrigado quanto no sequeiro, sendo o microrganismo mais eficiente em mitigar o estresse hídrico e elevar o rendimento. A produtividade confirmou esses padrões, aumentando de 3.118 kg ha⁻¹ no sequeiro para 3.907 kg ha⁻¹ no irrigado, com *T. harzianum* apresentando o maior valor entre os tratamentos 4.993 kg ha⁻¹. De forma geral, os resultados demonstram que a combinação entre irrigação e microrganismos melhora o desempenho da cultura, reforçando a importância de integrar práticas de manejo hídrico e microrganismos para maximizar a produtividade da soja. O manejo irrigado proporcionou maior altura de plantas, maior número de hastes por planta, mais vagens e maior produtividade de grãos em relação ao sequeiro.

Palavras-chave: Glycine max (L.) Merrill; manejo da irrigação; evapotranspiração; inoculação e coinoculação.

ABSTRACT

Soy plays a fundamental role as a highly profitable crop and as one of the main drivers of the Brazilian economy due to its productive potential, chemical composition, and nutritional value, which allow for broad use in human and animal nutrition. Irrigation planning is essential to increase productivity, considering that water availability is the climatic factor with the greatest impact on agricultural production. Another promising technology is the use of plant growth-promoting microorganisms to improve water-use efficiency under the effects of climate change, contributing to cost reduction and yield enhancement. The experiment was conducted during the 2024/2025 growing season in the experimental area of the Faculty of Agricultural Sciences and Technology (FCAT) at UNESP, Dracena – SP. The soil was classified as a Typic Dystrophic Red Argisol with sandy texture, and the local climate is characterized by an average annual temperature of 24 °C, annual precipitation of 1,261 mm, and average relative humidity of 64%. The experimental design was a 4×2 factorial scheme with four replications, consisting of four plant growth-promoting microorganism treatments (control, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus aryabhattai*, and *Trichoderma harzianum*) and two water managements (rainfed and irrigated using the reference evapotranspiration – $ETo \times$ crop coefficient – Kc method), with the soybean cultivar Brasmax Coliseu I2X. The seeds were sown over a mulch of *Urochloa ruziziensis* and *Crotalaria breviflora*, and the microbial applications were carried out 20 days after sowing, at the V2 vegetative stage. The results showed that irrigation and growth-promoting microorganisms significantly influenced soybean development and yield. Irrigation provided superior performance for all evaluated variables, including plant height, first pod height, number of lateral stems, total number of pods, thousand-seed weight, and grain yield, demonstrating that water deficit markedly reduced the productive potential of the crop. Among the microorganisms, *Azospirillum brasilense* performed best under irrigation, while *Trichoderma harzianum* stood out in both irrigated and rainfed conditions, proving to be the most efficient microorganism in mitigating water stress and increasing yield. Productivity followed the same pattern, rising from 3,118 kg ha⁻¹ under rainfed conditions to 3,907 kg ha⁻¹ under irrigation, with *T. harzianum* achieving the highest yield among treatments 4,993 kg ha⁻¹. Overall, the results demonstrate that the combination of irrigation and beneficial microorganisms enhances soybean performance, reinforcing the importance of integrating water management and microbial inoculants to maximize productivity. The irrigated management promoted greater plant height, a higher number of stems per plant, more pods, and higher grain yield compared to the rainfed system.

Keywords: Glycine max (L.) Merrill; irrigation management; evapotranspiration; inoculation; co-inoculation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Foto aérea retirada do Google Earth com a área experimental (junto à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da UNESP de Dracena - SP)	21
Figura 2. Comportamento edafoclimático da semeadura a colheita: precipitação pluvial (mm), evapotranspiração de referência - ETo (mm dia-1), temperatura do ar máxima e mínima (°C) e lâminas de irrigações realizadas (mm).....	22
Figura 3. Semeadora utilizada para a semeadura.....	24
Figura 4. Instalação do sistema de irrigação.....	25
Figura 5. Foto da operação, trator/pulverizador	26
Figura 6. Armazenamento da soja em estufa agrícola pós-colheita e antes de realizar a degrana.....	27
Figura 7. Processo de degrana da soja	28
Figura 8. Realização do teste de CUC.....	29
Figura 9. Teste de comparação de média com interação para a variável número de hastes laterais.....	36
Figura 10. Teste de comparação de média com interação para a variável número total de vagens.....	37
Figura 11. Teste de comparação de média com interação para a variável peso de mil sementes.....	38

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, 2024/2025.....	23
Tabela 2. Potencial matricial versus umidade gravimétrica e densidade do solo da área experimental para as diferentes camadas, Dracena, SP, Brasil, 2021.....	31
Tabela 3. Análise de variância para as características HP – Altura de plantas (cm); H1 ^a V – Altura da primeira vagem (cm); NHL – Número de hastes laterais; NTV – Número total de vagens; PMS – Peso de mil sementes (g); Prod. – Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	33
Tabela 4. Teste de Tukey para a variável; Altura de Planta (HP) a partir da diferenciação sequeiro e irrigado.....	34
Tabela 5. Teste de Tukey para a variável; Altura de Planta (HP) a partir da diferenciação dos MPCP.....	34
Tabela 6. Teste de Tukey para a variável; H1 ^a V em (cm) a partir da diferenciação sequeiro e irrigado.....	35
Tabela 7. Teste de Tukey para a variável; H1 ^a V em (cm) a partir da diferenciação dos MPCP.....	35
Tabela 8. Teste de Tukey para a variável; produtividade em (kg ha ⁻¹) a partir da diferenciação sequeiro e irrigado.....	39
Tabela 9. Teste de Tukey para a variável; produtividade em (kg ha ⁻¹) a partir da diferenciação dos MPCP.....	39

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Origem da soja	14
3.2 Importância da soja para o agronegócio brasileiro	14
3.3 Sistema Plantio Direto e Plantas de Cobertura	16
3.4 Irrigação	17
3.5 Microrganismos Promotores de Crescimento de Plantas	18
3.5.1 <i>Azospirillum brasilense</i>	18
3.5.2 <i>Bacillus aryabhattai</i>	19
3.5.3 <i>Trichoderma harzianun</i>	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Localização e Características da área experimental	21
4.2 Delineamento experimental	22
4.3 Descrição da variedade utilizada	23
4.4 Implantação do experimento a campo	23
4.5 Manejo da irrigação	28
4.6 Parâmetros avaliados	31
4.7 Análise estatística dos dados	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo e desempenha papel fundamental tanto na economia quanto na agricultura brasileira. Introduzida no país no início do século XX, essa leguminosa passou por um processo contínuo de adaptação e desenvolvimento que a transformou em uma das principais commodities nacionais, além de representar uma matéria-prima estratégica para a produção de rações destinadas a bovinos, suínos e aves. Nesse sentido, a soja confere maior viabilidade econômica à pecuária, ao mesmo tempo em que fortalece a posição do Brasil como líder mundial no agronegócio (Embrapa, 2024).

Atualmente, o Brasil é o maior entre os produtores e exportadores de soja do planeta, competindo diretamente com os Estados Unidos. O crescimento da produção nacional está associado a diversos fatores, como os avanços tecnológicos, políticas governamentais favoráveis e a expansão da fronteira agrícola. As regiões Centro-Oeste, Sul e Nordeste concentram os maiores polos produtivos, com destaque para os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná e Rio Grande do Sul (Embrapa, 2024).

Um levantamento realizado pela Embrapa Soja evidencia que, nas últimas cinco décadas, a cultura apresentou crescimento expressivo: entre 1973 e 2023, a produção aumentou em mais de 1000%, enquanto a área cultivada expandiu pouco mais de 400%, o que indica notável incremento da produtividade no país (Embrapa, 2024).

O SPD contribui para amenizar os efeitos das mudanças climáticas, que intensificam déficits hídricos e aumentos de temperatura, prejudicando culturas sensíveis. A utilização de plantas de cobertura, como misturas de gramíneas e leguminosas, promove ciclagem de nutrientes, proteção do solo e formação de palhada, favorecendo a sustentabilidade e a rentabilidade dos sistemas agrícolas (Vieira, 2014).

Além do solo, a água é um recurso central para a agricultura, sendo o fator climático que mais influencia a produtividade das lavouras. Entretanto, sua disponibilidade é marcada por irregularidade espacial e temporal, restringindo o desenvolvimento agrícola em diversas regiões. Por isso, o planejamento da irrigação é essencial para otimizar o uso da água e garantir melhores rendimentos. Segundo (Drumond 2013), estratégias adequadas de irrigação elevam a eficiência hídrica, enquanto (Fioreze *et al.* 2011) reforçam que a disponibilidade hídrica é o principal condicionante da produção agrícola.

Nos últimos anos, novas tecnologias têm sido incorporadas ao manejo da soja para ampliar a produtividade e reduzir os efeitos adversos de estresses ambientais. Entre elas, destaca-se o uso de micronutrientes em formulações comerciais, cujas

respostas variam de acordo com as condições locais e genéticas. Outro avanço é a utilização de microrganismos promotores de crescimento aplicados via tratamento de sementes ou coinoculação durante o ciclo da cultura. Espécies como *Trichoderma* spp., *Bacillus aryabhattai* e *Azospirillum brasiliense*, vêm apresentando resultados expressivos no aumento da massa seca, crescimento e desenvolvimento radicular, resistência a estresses abióticos e biológicos, além da promoção da fixação biológica de nitrogênio (Bárbaro *et al.*, 2009; Vieira, 2014; Embrapa, 2021).

O fungo *Trichoderma* é amplamente reconhecido como agente de biocontrole e promotor de crescimento, favorecendo maior resistência das plantas a patógenos e condições ambientais adversas (Sidike *et al.*, 2025). O uso de *Bacillus aryabhattai*, por sua vez, contribui para a resiliência hídrica, devido à produção de fitohormônios como a auxina, que melhora a tolerância ao déficit hídrico (Embrapa, 2021). Já o gênero *Azospirillum* é destacado por sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, promovendo maior desenvolvimento da área foliar e do sistema radicular das plantas (Bárbaro *et al.*, 2009).

Essas práticas, quando associadas ao uso de microrganismos promotores de crescimento e ao uso de plantas de cobertura, potencializam a eficiência do sistema produtivo, ao mesmo tempo em que reduzem a dependência de insumos químicos, favorecendo a sustentabilidade e a competitividade da soja brasileira no cenário global.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho agronômico da soja inoculada com *Bacillus aryabhattai*, *Azospirillum brasilense* e *Trichoderma harzianum*, sobre mix de plantas cobertura de *Urochloa ruziziensis* e *Crotalaria Breviflora* em sistema de sequeiro e irrigado.

2.2 Objetivos Específicos

Investigar como diferentes microrganismos influenciam o crescimento, a fisiologia e o desenvolvimento da cultura da soja.

Verificar a resposta da soja à inoculação em ambientes cultivados em sequeiro e irrigado, considerando o manejo da irrigação com base na evapotranspiração de referência (ET_o).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem da soja

A soja (*Glycine max*) não surgiu por acaso. Sua história começa há milhares de anos, nas terras da China antiga, onde foi domesticada a partir de uma espécie silvestre chamada *Glycine soja*. Estudos genômicos e achados arque botânicos apontam que esse processo começou entre 6.000 e 9.000 anos atrás, especialmente no leste da China (Kim *et al.*, 2012). Ou seja, desde cedo, os seres humanos já estavam moldando essa planta, não por sorte, mas por escolha, selecionando características que tornassem seu cultivo mais vantajoso.

A forma selvagem da soja, originalmente espalhada por regiões da China, Japão, Coreia e até partes da Rússia, carregava uma rica diversidade genética. Foi justamente essa variabilidade que serviu de base para o desenvolvimento das cultivares que conhecemos hoje (Guo *et al.*, 2022). Um dos principais alvos dessa seleção foi a redução da deiscência das vagens, ou seja, a tendência das vagens de se abrirem espontaneamente. Ao diminuir essa característica, os agricultores antigos conseguiram reduzir perdas na colheita e tornar o manejo da cultura muito mais prático e eficiente (Zhang; Singh, 2018).

Com o tempo, a soja domesticada foi se abrangendo ao redor do mundo. Primeiro, chegou a países vizinhos da Ásia, como Japão e Coreia. Depois, cruzou oceanos: no século XVIII, sementes começaram a aparecer na Europa e nas Américas. Há registros de plantio nos Estados Unidos ainda nessa época, mas foi só nos séculos XIX e XX que a cultura realmente se firmou por lá (Guo *et al.*, 2022). Essa trajetória revela algo importante: a soja nunca foi apenas uma planta qualquer. Seu valor nutricional, agrônômico e econômico a tornou uma das principais oleaginosas plantadas ao longo do tempo.

E talvez o maior trunfo da soja tenha sido sua incrível capacidade de se adaptar. Ao longo dos séculos, ela se mostrou capaz de prosperar em ecossistemas muito distintos e se integrar a sistemas de produção variados. Essa flexibilidade foi essencial para sua expansão global e para o papel central que ocupa hoje: é uma das culturas agrícolas mais importantes do planeta (Maldonado *et al.*, 2022).

3.2 Importância da soja para o agronegócio brasileiro

A soja é umas das principais commodities que movimenta a economia brasileira. Mas ela vai muito além de ser apenas a cultura mais cultivada do país. Na verdade, a soja é o alicerce de uma cadeia produtiva gigantesca, que conecta o campo à indústria, ao comércio e até a geração de energia. Só em 2023, o PIB dessa cadeia, incluindo o

biodiesel, chegou a R\$ 635,9 bilhões, um salto de 21% em relação ao ano anterior (Cepea/Abiove, 2023). Esse valor equivale a quase um quarto de todo o PIB do agronegócio e a quase 6% do PIB nacional. E tem mais: mais de 2,32 milhões de pessoas trabalhavam diretamente nesse setor em 2023, o que representa um aumento de 10,74% frente a 2022 (Cepea; Abiove, 2023). Ou seja, não é exagero dizer que a soja movimenta não só a economia, mas também a vida de milhões de brasileiros.

Esse protagonismo continua firme e não mostra sinais de enfraquecimento. Pelo contrário. A Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) projeta que, na safra 2025/26, o Brasil colha 177,67 milhões de toneladas de soja, resultado de um aumento de 3,7% na área cultivada (BiodieselBR, 2025). Isso mostra que o grão continua ganhando espaço, mesmo diante de desafios climáticos e de mercado.

Um dos setores mais dependentes da soja é a produção animal. O farelo de soja, por exemplo, é praticamente insubstituível nas dietas de aves e suínos. Segundo (Gomes 2021), ele contém entre 44% com casca e 48% sem casca de proteína bruta, além de um perfil de aminoácidos altamente digestível, características que poucas fontes vegetais conseguem oferecer. Por isso, ele virou referência global em nutrição animal.

Mas esse destaque traz um dilema. Com cada vez mais soja sendo direcionada para exportação e para a produção de biodiesel, a oferta interna diminui e os preços sobem. Isso afeta diretamente a avicultura e a suinocultura, onde a alimentação responde por 70% a 75% dos custos totais de produção (Engormix, 2020). Diante disso, pesquisadores e produtores têm buscado alternativas, como o uso de coprodutos do biodiesel, a glicerina e tortas vegetais, por exemplo. Ainda assim, como lembra (Almeida 2017), esses insumos exigem avaliações nutricionais cuidadosas, especialmente quanto à digestibilidade e à presença de compostos que reduzem a disponibilidade de nutrientes.

No setor energético, a soja também lidera. Em 2023, o Brasil produziu 7,34 bilhões de litros de biodiesel, e cerca de 64% desse volume veio do óleo de soja (Journal Royal Dataset, 2023). Esse domínio não é fruto do acaso: ele se deve à escala da produção agrícola, à infraestrutura logística já consolidada e à experiência acumulada ao longo de décadas no processamento do grão (Embrapa, 2022).

Do ponto de vista ambiental, há um ganho claro: o biodiesel de soja pode reduzir em até 80% as emissões de gases de efeito estufa na fase de combustão, em comparação ao diesel fóssil (Abiove, 2024). No entanto, é preciso olhar para o modo geral. Estudos de ciclo de vida mostram que a etapa agrícola ainda carrega impactos significativos, especialmente pelo uso intenso de fertilizantes e pesticidas, além das

mudanças no uso do solo (Revista FT, 2020). Ou seja, a sustentabilidade do biodiesel depende, em grande parte, de como a soja é cultivada.

Ao refletir sobre tudo isso, percebe-se que a soja é um espelho do agronegócio brasileiro: poderoso, competitivo e globalmente relevante, mas também cheio de tensões. Ela nos desafia a equilibrar produtividade, rentabilidade e responsabilidade ambiental. E, para nós, futuros profissionais do setor, entender essa complexidade não é só uma questão acadêmica. É um passo essencial para construir um agronegócio mais justo e sustentável.

3.3 Sistema Plantio Direto e Plantas de Cobertura

O Sistema de Plantio Direto (SPD) fundamenta-se em três princípios essenciais mínimo revolvimento do solo, cobertura permanente e rotação de culturas e tem se destacado pela melhoria da qualidade física, química e biológica do solo (Embrapa, 2008). Na cultura da soja, esse sistema aumenta a infiltração de água, incrementa a matéria orgânica e reduz significativamente a erosão, contribuindo para maior sustentabilidade produtiva (Bonini *et al.*, 2022; Kluthcouski *et al.* 2000). Além disso, o SPD exerce papel importante no sequestro de carbono, sendo considerado uma estratégia relevante para mitigar os impactos das mudanças climáticas (Cardoso *et al.*, 2021). Estudos de longo prazo mostram que sua adoção, associada à rotação de culturas e ao uso de plantas de cobertura, mantém ou até eleva a produtividade da soja (Garcia; Mendes, 2018). No entanto, sua eficiência depende de manejo adequado para evitar problemas como compactação e falhas no controle de plantas daninhas, reforçando seu papel como base da sustentabilidade e competitividade da sojicultura brasileira (Revista Cultivar, 2020).

Entre as espécies usadas na formação de palhada, a *Urochloa ruziziensis* se destaca pela elevada produção de biomassa e pela eficiente cobertura do solo, características fundamentais para a proteção superficial no SPD (Crusciol *et al.*, 2015). Sua capacidade de reduzir a evaporação, amortecer o impacto das chuvas e melhorar a infiltração está associada ao seu sistema radicular profundo, que também contribui para a estruturação e a fertilidade do solo (Torres *et al.*, 2008; Calonego *et al.*, 2012). Além disso, sua relação C/N intermediária resulta em decomposição gradual da palhada, garantindo liberação contínua de nutrientes e manutenção da cobertura ao longo do ciclo (Pacheco *et al.*, 2011). A produção de matéria seca, que varia entre 8 e 12 t ha⁻¹, fortalece ainda mais sua importância em sistemas conservacionistas (Crusciol *et al.*, 2015).

A *Crotalaria breviflora*, por sua vez, é uma leguminosa de rápido crescimento e boa adaptação a diferentes condições de solo e clima. Seu uso como adubo verde

destaca-se pela alta capacidade de fixação biológica de nitrogênio, contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo e redução da necessidade de fertilizantes (Amabile *et al.*, 2019; Carvalho *et al.*, 2020). A produção de biomassa aérea e radicular aumenta o teor de matéria orgânica, melhora a estrutura física do solo e protege contra a erosão. A espécie também favorece o manejo de plantas daninhas por meio da cobertura rápida do solo e de efeitos alelopáticos, além de atuar na supressão de pragas e nematoides, funcionando como planta armadilha em determinados sistemas (Freitas *et al.*, 2021). Embora possa ser utilizada como forragem, seu uso requer cautela devido à presença de alcaloides pirrolizidínicos em algumas espécies do gênero (Oliveira *et al.*, 2018).

Assim, a integração entre o SPD e o uso de plantas de cobertura como *U. ruziziensis* e *C. breviflora* constitui uma estratégia fundamental para sistemas agrícolas mais eficientes, produtivos e ambientalmente sustentáveis, fortalecendo a conservação do solo e a resiliência dos sistemas produtivos.

3.4 Irrigação

A irrigação constitui uma prática agrícola essencial para assegurar a produção de alimentos em diferentes regiões do mundo, sobretudo em áreas sujeitas à irregularidade pluviométrica. No Brasil, aproximadamente 72% da água doce utilizada destina-se à agricultura, sendo que cerca de 40% da produção agrícola nacional depende diretamente de sistemas irrigados (UFSM, 2022). Essa tecnologia confere maior estabilidade produtiva ao fornecer água nos momentos críticos do ciclo das culturas, reduzindo os riscos associados ao estresse hídrico e garantindo ganhos consistentes de rendimento (Silva *et al.*, 2024).

Pesquisas apontam que a produtividade de culturas irrigadas é significativamente superior à obtida em cultivos de sequeiro, já que a adequada disponibilidade hídrica favorece o desenvolvimento fisiológico das plantas (Simone *et al.*, 2020). Além dos impactos agronômicos, a irrigação exerce função socioeconômica importante, estimulando a geração de emprego e renda, especialmente em regiões semiáridas. Estima-se que cada hectare irrigado possa gerar entre 0,8 e 1,2 empregos diretos, além de fomentar atividades econômicas indiretas, contribuindo para o desenvolvimento regional e mitigando o êxodo rural (França *et al.*, 2001).

Apesar dos benefícios, a prática apresenta desafios consideráveis, como os altos custos de implantação e manutenção que frequentemente limitam o acesso de pequenos produtores e a necessidade de manejo eficiente para prevenir desperdícios de água, lixiviação de nutrientes e processos de salinização do solo (Campos, 2024). Também existem entraves legais e institucionais no Brasil relacionados à gestão dos recursos hídricos e à regularização do uso da água (Dourado Neto *et al.*, 2022).

No contexto das mudanças climáticas, caracterizadas pelo aumento da frequência de secas e pela irregularidade na distribuição das chuvas, a irrigação tende a assumir papel ainda mais central na agricultura. Tecnologias modernas, como irrigação de precisão, uso de sensores de umidade, automação e monitoramento remoto, têm se mostrado promissoras para aumentar a eficiência hídrica e reduzir o consumo de água, conciliando produtividade e sustentabilidade (Karar *et al.*, 2021).

Com isso, a irrigação deve ser compreendida não apenas como uma técnica de suplementação hídrica, mas como um instrumento estratégico de sustentabilidade, capaz de equilibrar produtividade agrícola, uso racional da água e preservação ambiental.

3.5 Microrganismos Promotores de Crescimento de Plantas.

3.5.1 *Azospirillum brasilense*.

O gênero *Azospirillum* compreende bactérias diazotróficas associativas que vêm sendo amplamente estudadas pela sua capacidade de promover o crescimento vegetal por diferentes mecanismos. Entre as espécies, *Azospirillum brasilense* se destaca por apresentar metabolismo flexível, o que lhe permite sobreviver em condições adversas no solo e colonizar a rizosfera de diversas espécies cultivadas (Embrapa, 2010). Além disso, demonstra tolerância a variações de temperatura de até aproximadamente 42 °C e a uma faixa relativamente ampla de pH, características que favorecem sua adaptação a distintos ambientes agrícolas (Oliveira *et al.*, 2022).

Um dos mecanismos mais relevantes de *A. brasilense* é a produção de fitormônios. Estudos clássicos já demonstraram a síntese de ácido indolacético (AIA), citocininas e giberelinas, compostos capazes de estimular o crescimento radicular, a formação de raízes adventícias e o aumento da densidade de pelos radiculares, potencializando a absorção de água e nutrientes (Tien *et al.*, 1979; Oliveira *et al.*, 2022). Meta-análises recentes indicam que a inoculação com essa bactéria pode elevar em média de 20% a 30% a produtividade de culturas como milho, trigo e sorgo (Oliveira *et al.*, 2022).

Na soja, a coinoculação com *Bradyrhizobium japonicum* tem recebido atenção crescente. Pesquisas mostram que a associação entre esses microrganismos proporciona ganhos superiores em biomassa radicular e aérea, além de aumentar a nodulação e a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (Silva-Abud *et al.*, 2021). Esses efeitos resultam da ação complementar: enquanto *B. japonicum* intensifica a FBN, *A. brasilense* estimula o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes.

Outro aspecto relevante é o potencial de *A. brasilense* como agente de biocontrole. A produção de compostos inibidores de patógenos do solo, aliada ao

estímulo de mecanismos de defesa das plantas, reforça sua contribuição para sistemas agrícolas mais sustentáveis (Barassi *et al.*, 2008).

Apesar dos benefícios comprovados, a resposta à inoculação pode variar em função da cepa utilizada, das características do solo, do clima e do manejo aplicado. Por isso, pesquisas locais são fundamentais para validar e adaptar o uso desse microrganismo em diferentes regiões agrícolas.

3.5.2 *Bacillus aryabhatai*

Bacillus aryabhatai é uma bactéria Gram-positiva, aeróbica e formadora de esporos, reconhecida tanto pela sua capacidade de promover o crescimento vegetal quanto por atuar no controle de patógenos. Cepas desse microrganismo colonizam rapidamente a rizosfera e produzem compostos como ácido indolacético (AIA), sideróforos e ácidos orgânicos, que estimulam o desenvolvimento radicular e aumentam a eficiência de absorção de nutrientes (Park *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2022).

Na agricultura, resultados promissores foram observados em culturas como soja e arroz, com elevação da altura de plantas, incremento da biomassa, aumento do teor de clorofila e maior acúmulo de nutrientes (Frontiers *et al.*, 2024). Além disso, *B. aryabhatai* apresenta potencial no biocontrole de patógenos do solo e nematoides, graças à produção de enzimas como quitinases, sideróforos e compostos antimicrobianos (EJBCP, 2021).

Outro aspecto relevante está relacionado à sua contribuição para a tolerância a estresses ambientais, como déficit hídrico e salinidade. Nessas condições, sua presença auxilia as plantas a manterem o crescimento e a produtividade, reforçando sua importância em sistemas agrícolas sustentáveis (MDPI, 2021). Desta maneira o *B. aryabhatai* atua por mecanismos diretos, como a produção de fitormônios e a solubilização de nutrientes, e indiretos, como o antagonismo a patógenos, configurando-se como uma bactéria promissora para o desenvolvimento de bioinsumos aplicados à agricultura moderna.

3.5.3 *Trichoderma harzianum*.

O gênero *Trichoderma* reúne fungos filamentosos encontrados em solos agrícolas e rizosferas, amplamente utilizados na agricultura pelo seu potencial como agentes de biocontrole e promotores de crescimento vegetal. Esses microrganismos destacam-se pela produção de enzimas hidrolíticas, como quitinases e glucanases, capazes de degradar a parede celular de fitopatógenos e reduzir a incidência de doenças (Hermosa *et al.*, 2012).

Além do biocontrole direto, *Trichoderma* spp. estimulam mecanismos de defesa nas plantas, induzindo resistência sistêmica adquirida (RSA) e resistência sistêmica induzida (RSI). Esse processo amplia a tolerância contra patógenos e condições de estresse (Lombardi *et al.*, 2018). Outra contribuição importante está relacionada à promoção do crescimento vegetal, resultado da produção de compostos como auxinas e ácido indolacético (AIA), além da melhoria na absorção de nutrientes, especialmente fósforo e micronutrientes (Martínez-Medina *et al.*, 2014).

Na cultura da soja, a aplicação de *Trichoderma* spp. tem demonstrado ganhos em vigor, desenvolvimento radicular e produtividade, além de colaborar para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que reduz a necessidade do uso de defensivos químicos (Machado *et al.*, 2015). Dessa forma, *Trichoderma* spp. combinam funções de biocontrole e bioestímulo, consolidando-se como uma alternativa promissora para práticas agrícolas mais sustentáveis.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Características da área experimental

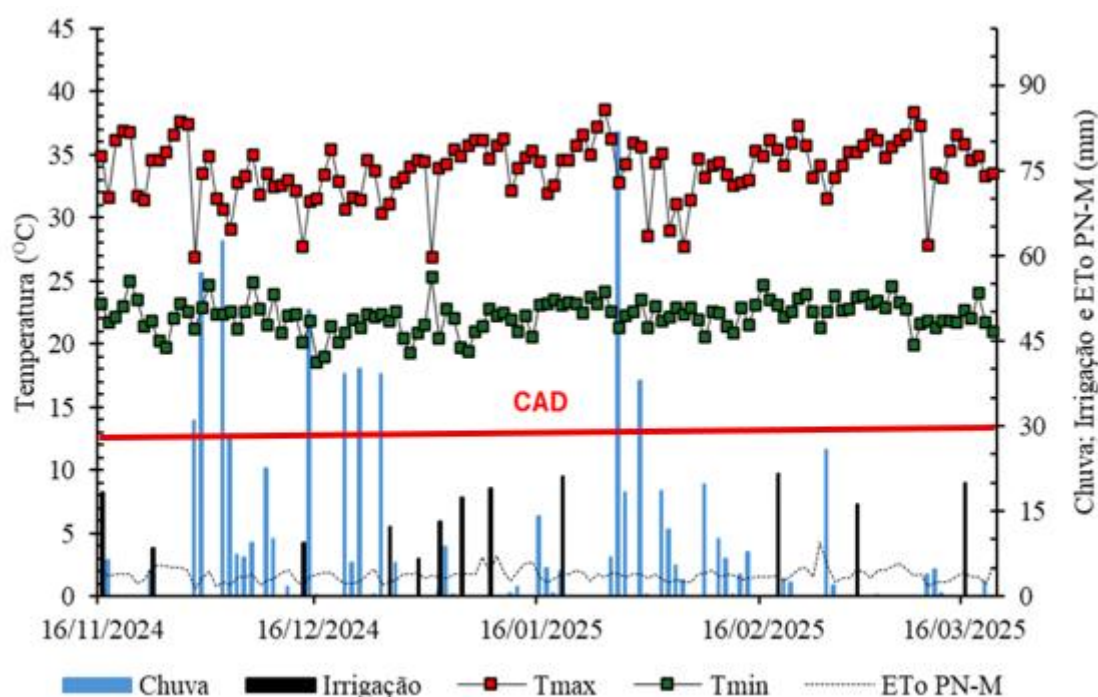
A pesquisa foi desenvolvida na safra de verão 2024/25 na área experimental situada nas coordenadas de $51^{\circ} 52' W$ de longitude Oeste de Greenwich e $21^{\circ} 29' S$ de Latitude Sul e 420 m de altitude (Figura 1). O solo do local da pesquisa é um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico de textura arenosa (Embrapa, 2013). Dados climáticos, médias anuais: temperatura $24^{\circ} C$ e U.R. relativa 64 %, e precipitação pluvial de 1261 mm/ano. Segundo classificação de Köppen, o clima da região é o subtropical úmido, Aw, com verão quente e chuvoso de outubro a março e inverno seco e ameno de baixa precipitação pluvial de abril a setembro. Os dados climáticos de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar durante a pesquisa foram obtidos na estação Meteorológica Campbell Scientific CR10X, instalada na instituição de ensino superior (Figura 2).

Figura 1. Foto aérea retirada do Google Earth com a área experimental (junto à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da UNESP de Dracena - SP).



Fonte: Google Earth

Figura 2. Comportamento edafoclimático da semeadura a colheita: precipitação pluvial (mm), evapotranspiração de referência - ETo (mm dia⁻¹), temperatura do ar máxima e mínima (°C) e lâminas de irrigações realizadas (mm).



Fonte: Estação Meteorológica Automática, Campbell Modelo CR10X - UNESP FCAT Campus de Dracena – SP.

Elaborado: Próprio autor.

4.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado sob delineamento de Parcela Subdividida em esquema fatorial 4x2, com quatro repetições, da cultivar Brasmax Coliseu I2X tratamento (A) constituído pelo uso da inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCPs), sendo: 1) Inoculação convencional *Bradyrhizobium* sp. (estirpe SEMIA 5019); 2) co-inoculação de *Bradyrhizobium* sp. + *Azospirillum brasilense* (estirpes Ab-V5 e Ab-V6); 3) co-inoculação de *Bradyrhizobium* sp. + *Bacillus aryabattai* (cepa CMAA 1363); 4) co-inoculação de *Bradyrhizobium* sp. + *Trichoderma harzianum* (isolado IBLF006). As coinoculações foram realizadas aos 20 dias após emergência da cultura (Estádio V2) no dia 10/12/2024, em área total, na dose de 500 mL ha⁻¹ (para cada inoculante, levando-se em consideração o volume de aplicação de 250 L ha⁻¹), tratamento (B) manejo hídrico sequeiro e irrigação, este último sob o manejo via evapotranspiração de referência (ETo) obtida a partir da Estação Meteorológica Campbell Scientific CR10X, instalada na FCAT/UNESP à 300 m da área experimental, estimada pelo método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) e corrigido pelo coeficiente da cultura (Kc) nas suas respectivas fases fenológicas. (Doorembos e Kassam, 1979)

4.3 Descrição da variedade utilizada

Cultivar Coliseu da empresa Brasmax Genética que confere resistência ao herbicida glifosato e proteção contra lagartas de importância econômica, possui um alto potencial produtivo; pertence ao grupo de maturidade relativa 6,3, sendo classificada como uma variedade de ciclo intermediário, com duração média de 110 a 119 dias entre a emergência e a maturação (Agrolink, 2025). Trata-se de um material de hábito de crescimento indeterminado, o que lhe confere maior flexibilidade em termos de adaptação a diferentes ambientes e maior estabilidade produtiva (Jotabasso, 2025).

Em termos morfológicos, a cultivar apresenta flores brancas, pubescência cinza, hilo marrom-claro e vagens de coloração cinza-escuro, características que permitem sua identificação no campo (Sementes Estrela, 2025). O peso médio de mil sementes é de 154 g, um valor que indica boa formação de grãos e potencial de rendimento. Além disso, possui porte alto e elevado índice de ramificação, fatores que favorecem a formação de vagens por planta e, conseqüentemente, aumentam o potencial de produtividade (Jotabasso, 2025).

4.4 Implantação do experimento a campo

Em maio de 2024, foi realizada coleta de amostra de solo para realizar a análise química, logo após a área recebeu aplicação de calcário com operações mecanizadas, primeiramente foi aplicada a metade da dose requerida de 0,9 t ha de calcário dolomítico PRNT de 85%, para incorporação fez-se uma aração profunda com arado de aiveca, após esta operação aplicou a outra metade de calcário 0,9 t ha a fim de elevar o V% a 70%, finalizando o preparo do solo com uma operação de grade niveladorano dia 10/5/2024 para receber a semeadura do mix *Urochloa ruziziensis* (6 kg ha⁻¹ VC 34% + *Crotalaria breviflora* 5 kg ha⁻¹ VC 56% em linha onde utilizou a semeadora de 7 linhas PST 4 em 25/08/2024).

Na tabela 1 está apresentado os dados de fertilidade do solo da área experimental.

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.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+A	SB	CTC	V
em (g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(%)
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.

Fonte: Dados do próprio autor

No dia 08 de novembro de 2024 foi realizada a dessecação das plantas de cobertura *Urochloa ruziziensis* + *Crotalaria breviflora* 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 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 d'agua ha⁻¹. Em 04 de janeiro de 2025 fez aplicação do herbicida ROUNDUP WG (i.a. Glifosato 792,5 g kg⁻¹) nas doses 1,5 kg ha⁻¹ com volume de calda de 240 L d'agua ha⁻¹ para o controle de plantas daninhas.

A soja foi semeada em 20 de novembro de 2024 utilizando a semeadora da PST 4 Tatú (Figura 3), configurada para sistema de plantio direto (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.

Figura 3. Semeadora utilizada para a semeadura



Fonte: Dados do próprio autor.

Para a implantação do experimento foram utilizadas 16 sementes por m de linha, para a cultivar com adubação de base da fórmula 08-28-16 + Zn na dose de 380 kg ha⁻¹. No dia 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 200 mL 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 foi realizada via pulverização em área total no estágio fenológico V2 da

soja com 2 nós completamente desenvolvidos 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, Figura 4.

Figura 4. Instalação do sistema de irrigação.



Fonte: Dados do próprio autor.

No experimento a campo foi realizado o manejo e controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi utilizado o pulverizador agrícola hidráulico da marca Jacto, de barras com capacidade de carga de 600 L, Figura 5. As aplicações dos produtos agroquímicos foram realizadas de forma a prevenir doenças fúngicas e controle de pragas e plantas daninhas. No estágio fenológico reprodutivo de enchimento de grãos foi realizado o monitoramento semanal com amostragens, onde utilizou o manejo de batidas de pano para mensurar a infestação e identificação de lagartas e percevejos.

Em 27 de fevereiro 2025 foi realizada a aplicação do inseticida Engeo Pleno (i.a. Tiametoxam 141 g L^{-1} ; Lambda-cialotrina 106 g L^{-1}) a uma dosagem de 180 mL ha^{-1} com intuito e foco de controlar percevejos e lagartas que estavam com índice próximo a 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 mL ha^{-1} com objetivo preventivo/protetivo contra ferrugem asiática da soja. Ambas as aplicações utilizaram 240 litros de volume de calda por hectare.

Em 14 de março de 2025 foram realizadas aplicações de herbicida e inseticida, o produto utilizado para controlar as plantas invasoras foi o ROUNDUP WG (i.a. Glifosato $792,5 \text{ g kg}^{-1}$) na dose de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$ 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 250 L ha^{-1} .

No dia 02 de abril 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⁻¹ em área total.

Figura 5. Foto da operação, trator/pulverizador



Fonte: Dados do próprio autor.

A colheita da soja para estimar a produtividade das parcelas ocorreu na manhã do dia 11 de abril, as plantas coletadas foram separadas por fechos e identificadas, em seguida foram armazenadas na estufa (Figura 6) até o momento da degrana. No mesmo dia também foram colhidas 5 plantas aleatórias de cada parcela para a realização da biometria, as plantas foram colhidas manualmente, separadas, etiquetadas e armazenadas no laboratório até o momento da avaliação.

Figura 6. Armazenamento da soja em estufa agrícola pós-colheita antes de realizar a degrana.



Dados: Fonte de próprio autor.

A biometria da soja foi realizada alguns dias após a colheita, onde foram analisados 5 plantas por parcela para as seguintes variáveis: altura da planta, número de hastes, altura da primeira vagem e número total de vagens por planta. O processo de degrana da soja foi realizado no dia 15/04/2025 com a utilização da trilhadora/batedeira de cereais BC30 “Luma” (Figura 7), os grãos foram armazenados em sacos de papel e identificados. Posteriormente as amostras foram pesadas, separadas e ajustadas a uma umidade de 13%_{bu}.

Figura 7. Processo de degrana da soja.



Fonte: Dados do próprio autor.

4.5 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, cada uma com dois aspersores espaçados em 12 metros, para se obter uma boa uniformidade de aplicação a $4,9 \text{ mm h}^{-1}$ de profundidade de líquido, pressão de trabalho de 3,0 bar, propriedades de mudança de irrigação variáveis, conforme mostrado para cada método de manejo de irrigação. Para determinar a uniformidade e intensidade da lâmina horária de irrigação, foi avaliado pelo teste CUC, Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (Christiansen, 1942), realizado no dia 16 de dezembro de 2024, onde foi constatado uma uniformidade de 85% (Figura 8).

Figura 8. Realização do teste de CUC.



Fonte: Dados do próprio autor.

O manejo da irrigação via controle atmosférico (ET_o), foi implementada em uma área de 12m de comprimento por 12m de largura a uma distância de 20 metros de isolamento entre os tratamentos irrigado e sequeiro. Os tratamentos foram constituídos de 4 repetições, sendo a unidade experimental constituída por 7 linhas de semeadura com espaçamento de 0,45m entre linhas de 3m de comprimento, das quais 2 linhas de centro de 2 m foram avaliadas com descarte de 0,5 metro em cada extremidade.

Para o manejo da irrigação foi utilizado a metodologia de controle via atmosfera com base na estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o), determinada pela equação de Penman- Monteith/FAO (Allen *et al.*, 1998) e ajustada pelo Coeficiente de Cultura (K_c) nos respectivos estádios fenológica da cultura. Para isso foi utilizado os dados climáticos coletados pela estação Meteorológica Campbell Scientific, Datalogger CR10X, instalada na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), pertencente à Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizada a 300 m da área experimental, sendo monitoradas as seguintes variáveis: temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m s⁻¹) a 2 m do solo e radiação líquida total diária (MJ m⁻² d⁻¹).

referência(ET_o):

$$ET_o = \frac{0,408 s (R_n - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

R_n = radiação líquida total diária (MJ m⁻² d⁻¹);

G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

$\gamma = 0,063 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ é a constante psicrométrica;

T = temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$);

U_2 = velocidade do vento a 2m (m s^{-1});

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a = pressão parcial de vapor (kPa);

s = declividade da curva de pressão de vapor de acordo com a temperatura do ar, em $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Para obtenção da Evapotranspiração da cultura da soja (ET_c), foi utilizada a seguinte equação:

$$ET_c = K_c \times ETo$$

Lâmina líquida (mm) = $K_c \times ETo$

Lâmina bruta (mm) = $(K_c \times ETo) / \text{Eficiência}$

ET_c = evapotranspiração da cultura da soja (mm dia^{-1});

K_c = coeficiente da cultura da soja (conforme proposto por Doorenbos e Kassam, 1979)

ETo = evapotranspiração da cultura de referência estimada (mm dia^{-1}) pela equação de Penman-Monteith/FAO (Allen *et al.*, 1998);

Eficiência = Eficiência do sistema de irrigação por aspersão média de 0,80.

Para a determinação da capacidade de água disponível (CAD) da área experimental foram encaminhadas ao laboratório duas repetições de amostras de solo nas profundidades de 0,0 – 0,15 m e 0,16 – 0,30 m, a fim de determinar a Curva de Retenção de Água, de posse dos dados do solo foram transformados em umidade volumétrica, segundo o modelo de (Genuchten, 1980) e conseqüentemente determinou-se a CAD. Os parâmetros desse modelo apresentam se expressos na Tabela 1. Os valores de textura do solo da área experimental foram: areia de 822g, silte de 73g e argila de 105g, para as camadas de 0,00-0,20 e 0,21-0,40 m, respectivamente. O manejo da irrigação via atmosfera foi realizado conforme tratamento estabelecido, sempre que a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD) atingir o nível crítico dado por uma fração de esgotamento de água no solo (f) da sua CAD, calculado por meio da 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 ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), ajustado segundo (Genuchten, 1980);

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 e Kassam 1979);

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

Tabela 2. 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.

4.6 Parâmetros avaliados

Na unidade experimental, foram avaliadas as características: massa de mil grãos; produtividade de grãos a 13% a base úmida. A produtividade de grãos: as plantas da área útil de cada parcela, foram tomadas em 3 linhas por 3 metros ($4,05 \text{ m}^2$), foram arrancadas e deixadas para secagem a pleno sol. 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). A massa de mil grão foi determinada tomando três amostras de cada repetição contadas 1000 sementes, na sequência levadas até a estufa de ventilação de ar forçada com temperatura de 65°C por 72 horas e corrigidas a 13% de a base úmida e por fim foi realizado a média das 3 repetições.

Em 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.

Características agrônômicas: foram coletadas, por ocasião da colheita, 5 plantas na área útil das parcelas 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 é a inserção da 1ª vagem; Número de hastes: foram contados os números de todas as hastes laterais de cada planta.

Todas as variáveis estudadas foram analisadas por meio de rotinas a serem desenvolvidas pelos autores no Software livre R (R Core Team, 2016)

4.7 Análise estatística dos dados

Foi considerado o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 4 X 2, considerando quatro microrganismos (Fator A) e dois manejos hídricos (Fator B) utilizando a cultivar Brasmax Coliseu I2X. Para as características que apresentarem significância na análise de variância (ANOVA), foi procedido o teste de Tukey 5% de probabilidade para comparação de médias. Toda a análise estatística foi realizada por meio de rotinas a serem desenvolvidas pelos autores no Software livre R (R Core Team, 2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados da análise de variância para as características avaliadas. HP – Altura de plantas (cm); H1ªV – Altura da primeira vagem (cm); NHL – Número de hastes laterais; NTV – Número total de vagens; PMS – Peso de mil sementes (g); Prod. – Produtividade de grãos (kg ha⁻¹).

Houve significância estatística para a característica HP quando analisado a lâmina de irrigação e microrganismo. Para o número de hastes laterais e peso de mil sementes, ocorreu significância com a lâmina de irrigação, microrganismo e interação entre os fatores, diferindo de número total de vagens onde obteve significância em lâmina de irrigação e interação entre lâmina de irrigação x microrganismo.

Para a variável produtividade, obteve efeito significativo apenas para lâmina de irrigação e para os diferentes microrganismos utilizados, e não obteve interação entre os fatores.

Tabela 3. Análise de variância para as características HP – Altura de plantas (cm); H1ªV – Altura da primeira vagem (cm); NHL – Número de hastes laterais; NTV – Número total de vagens; PMS – Peso de mil sementes (g); Prod. – Produtividade de grãos (kg ha⁻¹).

F.V.	Gl	QM					
		HP (cm)	H1ªV (cm)	NHL	NTV	PMS (g)	Prod (kg/ha)
Lâmina de irrigação	1	2432.53***	15.68**	5.61**	10310.48**	8814.6***	4975873.3*
Microrganismo	3	168.87*	9.81**	6.18**	758.92	547.38**	908594.7***
Bloco	3	36.08	1.83	0.32	1168.47	203.39	1296176.8
Lâm. irrigação x Micr.	3	35.18	5.55	4.01**	3884.5*	315.34*	548803.6
Resíduo	21	35.08	1.87	0.55	880.6	72.6	651612.8
CV (%)		9.29	14.16	12.9	18.37	6	22.98

*- p < 0,05; ** - p < 0,01.; *** - p < 0,001. CV – Coeficiente de variação.

Fonte: Do Autor.

A busca por crescimento, desenvolvimento e, conseqüentemente, produtividade mais elevadas não pode se basear somente em formas de manejo simples, mas sim em uma compreensão integrada dos fatores que favorecem o desenvolvimento vegetal. Com base nisso, a otimização da produção de soja está entre três pilares fundamentais, sendo a demanda hídrica, a seleção do material genético adequado e o manejo de microrganismos no solo. (Tilman; Balzer; Befort, 2011). O estresse hídrico, desencadeia respostas fisiológicas negativas, como o fechamento de estômatos para conservação de água, que, reduz a assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, a produção de fotoassimilados (Taiz; Zeiger; Moller; Murphy, 2015). A água é o fator mais limitante ao potencial produtivo das plantas, atuando no transporte de nutrientes e em processos fotossintéticos (Vurukonda; Vardharajula; Shrivastava; Skz, 2016).

As plantas de soja, tem a capacidade de determinar maior ou menor porte e número de ramificações, de acordo com a competição por fatores do ambiente, como nutrientes, água e luz (Heiffig, 2002). De acordo com (Heiffig *et al.*, 2006) a soja apresenta plasticidade fenotípica, permitindo as plantas remanescentes apresentarem mais ramificações laterais, compensando parcial ou totalmente a redução da população.

Segundo (Pereira *et al.*, 2017) o uso de irrigação é uma estratégia fundamental para promover o desenvolvimento das plantas e elevar a produtividade de grãos de soja. A obtenção de rendimentos satisfatórios está atrelada ao suprimento de uma lâmina de água entre 450 e 850 mm durante o ciclo da cultura.

Atingir altas produtividades na cultura da soja está diretamente relacionado ao uso eficiente da água ao longo de seu ciclo fenológico. A implementação de sistemas de irrigação é, uma estratégia adotada por produtores com o objetivo de elevar os índices de produtividade.

A altura de plantas (tabela 4) foi diretamente influenciada, de acordo com a manejo utilizado, apresentando diferença significativa do manejo irrigado, quando comparado ao sequeiro.

Tabela 4. Teste de Tukey para a variável; Altura de Planta (HP) a partir da diferenciação sequeiro e irrigado.

Lâmina de irrigação	HP (cm)
Irigado	72.45 a
Sequeiro	55.01 b
C.V. (%)	9.29

Fonte: Próprio Autor

Para os microrganismos promotores de crescimento de plantas, valor superior para *Azospirillum*, porém não se diferenciando de controle e *Trichoderma*, Tabela 5.

Tabela 5. Teste de Tukey para a variável; Altura de Planta (HP) a partir da diferenciação dos MPCP.

Microrganismos	HP (cm)
Azos	66.2 a
Contr	64.23 ab
Trich	63.52 ab
Aryab	57.98 b
C.V. (%)	9.29

Fonte: Próprio Autor

A altura da 1ª vagem foi diretamente influenciada, de acordo com o manejo utilizado, apresentando diferença significativa do manejo irrigado, quando comparado ao sequeiro, Tabela 6.

Tabela 6. Teste de Tukey para a variável; H1ªV em (cm) a partir da diferenciação sequeiro e irrigado.

Lâmina de irrigação	H1ªV (cm)
Irigado	10.38 a
Sequeiro	8.98 b
C.V. (%)	14.16

Fonte: Próprio Autor

A aplicação de microrganismos influenciou significativamente a variável H1ªV. O *Trichoderma* apresentou o maior valor 11,23 cm, demonstrando forte efeito promotor de crescimento. O *Azospirillum* mostrou resultado intermediário 9,7 cm, enquanto *Bacillus aryabhatai* 9,025 cm e o Controle 8,7 cm apresentaram os menores valores, sem diferença entre si, Tabela 7.

Tabela 7. Teste de Tukey para a variável; H1ªV em (cm) a partir da diferenciação dos MPCP.

Microrganismos	H1ªV (cm)
Trich	11.23 a
Azos	9.7 ab
Aryab	9.025 b
Contr	8.7 b
C.V. (%)	14.16

Fonte: Próprio Autor

Os resultados da (Figura 9), demonstram que houve interação entre lâmina de irrigação e microrganismos, indicando que a eficácia dos microrganismos depende da disponibilidade hídrica. No ambiente irrigado, *Azospirillum brasilense* apresentou o maior número de hastes laterais, evidenciando seu efeito que a água não limita o desenvolvimento. Esse comportamento é amplamente relatado na literatura, que descreve aumento da área foliar, biomassa e crescimento vegetativo da soja sob inoculação com *Azospirillum*, especialmente em condições adequadas de umidade (Santos *et al.*, 2021; De Borja Reis *et al.*, 2022; Reina *et al.*, 2024).

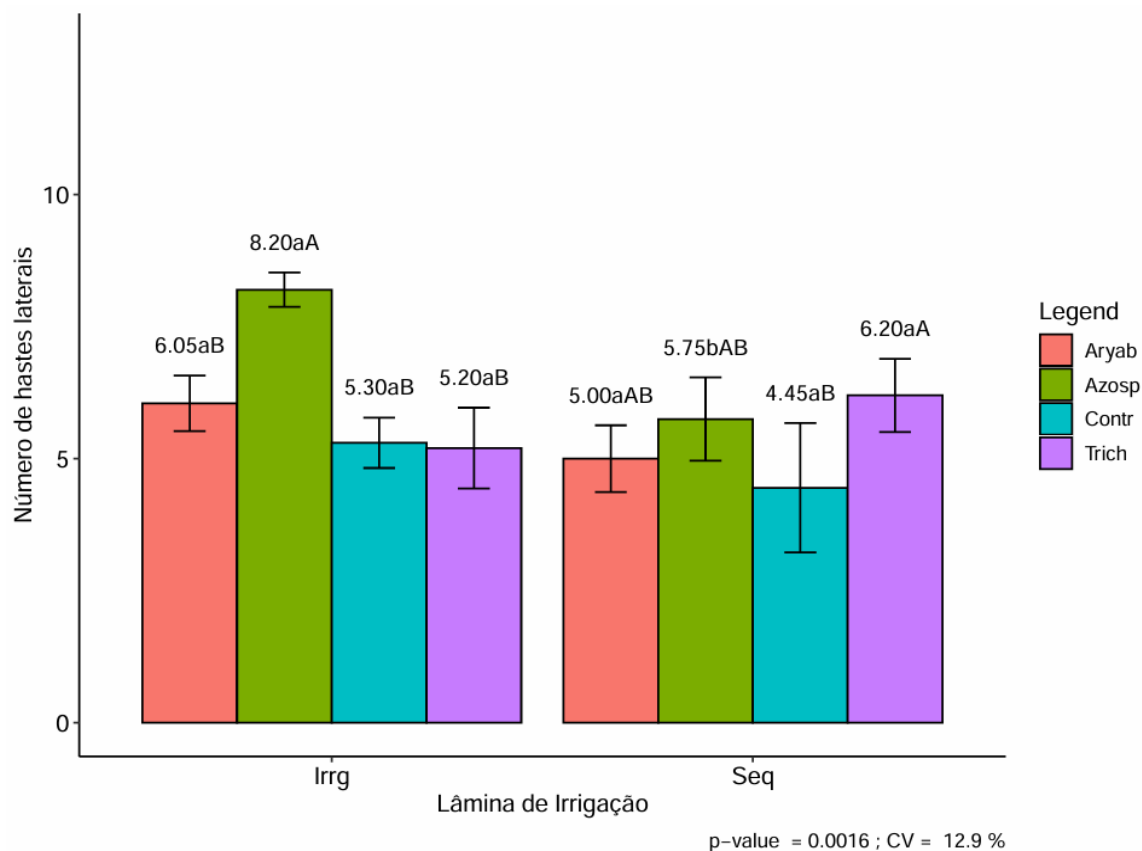
Em sequeiro, o destaque foi o *Trichoderma harzianum*, que apresentou maior média de hastes laterais e superou o controle. Esse resultado está alinhado a estudos

que atribuem ao *Trichoderma* a capacidade de aumentar o vigor radicular, favorecer a absorção de água e melhorar a tolerância ao estresse hídrico (Zhang *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2024; Rigobelo *et al.*, 2024). Assim, sua resposta positiva em ambiente de menor umidade reforça seu potencial como ferramenta de mitigação do estresse.

O desempenho de *Bacillus aryabhattai* foi intermediário, sem diferenças marcantes. Embora alguns trabalhos descrevam efeitos positivos dessa espécie no crescimento de soja e arroz (Park *et al.*, 2017; Mun *et al.*, 2024), sua menor resposta neste estudo pode ser atribuída a variabilidade entre estirpes, condições do solo ou sensibilidade do caráter avaliado.

A redução do número de hastes laterais no tratamento controle em sequeiro confirma o impacto negativo da limitação hídrica sobre o crescimento da soja, efeito também relatado por diversos autores, que destacam diminuição de ramos, folhas e vagens sob déficit hídrico (Wijewardana *et al.*, 2019; Brito *et al.*, 2022; Mirakhori *et al.*, 2009; Soliman *et al.*, 2025).

Figura 9. Teste de comparação de média com interação para a variável número de hastes laterais.



Fonte: Próprio Autor

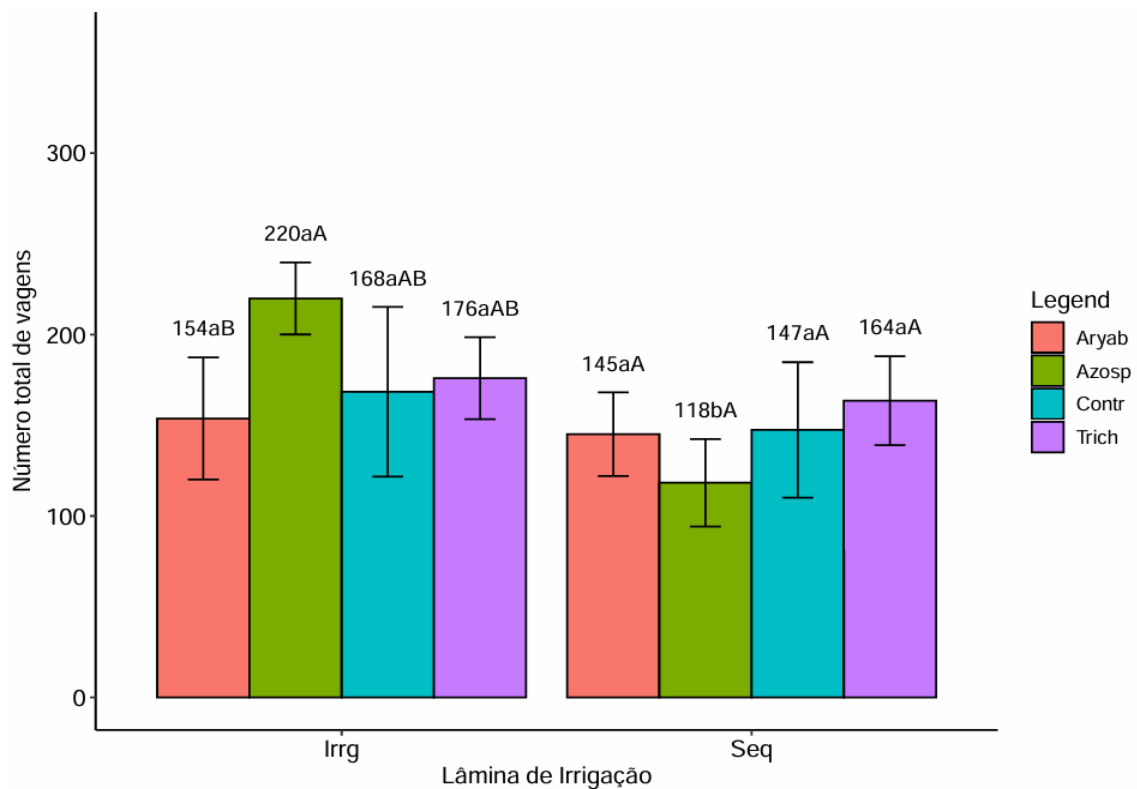
Na Figura 10, os resultados mostram que o número total de vagens foi influenciado pela interação entre lâmina de irrigação e microrganismos, demonstrando que a resposta da soja depende das condições hídricas. No ambiente irrigado, *Azospirillum brasilense* apresentou o maior número de vagens, resultado coerente com

estudos que relatam aumento de crescimento, nodulação e rendimento da soja sob inoculação, especialmente quando há boa disponibilidade de água (Santos *et al.*, 2021; Reis *et al.*, 2022; Reina *et al.*, 2024).

Em sequeiro, o melhor desempenho ocorreu com *Trichoderma harzianum*, que superou o controle e os demais tratamentos. A literatura indica que espécies de *Trichoderma* aumentam a tolerância ao estresse hídrico, favorecendo o crescimento radicular e a manutenção de estruturas reprodutivas em condições adversas (Zhang *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2024; Rigobelo *et al.*, 2024). Isso explica a maior formação de vagens sob déficit hídrico observada neste estudo.

O *Bacillus aryabhattai* apresentou efeito intermediário, e embora algumas estirpes possam promover crescimento e tolerância a estresses (Park *et al.*, 2017; Mun *et al.*, 2024), sua resposta foi limitada. A queda geral no número de vagens no sequeiro confirma o efeito negativo do déficit hídrico, já amplamente documentado na literatura, que aponta redução de flores, vagens e produtividade (Mirakhori *et al.*, 2009; Wijewardana *et al.*, 2019; Brito *et al.*, 2022).

Figura 10. Teste de comparação de média com interação para a variável número total de vagens.



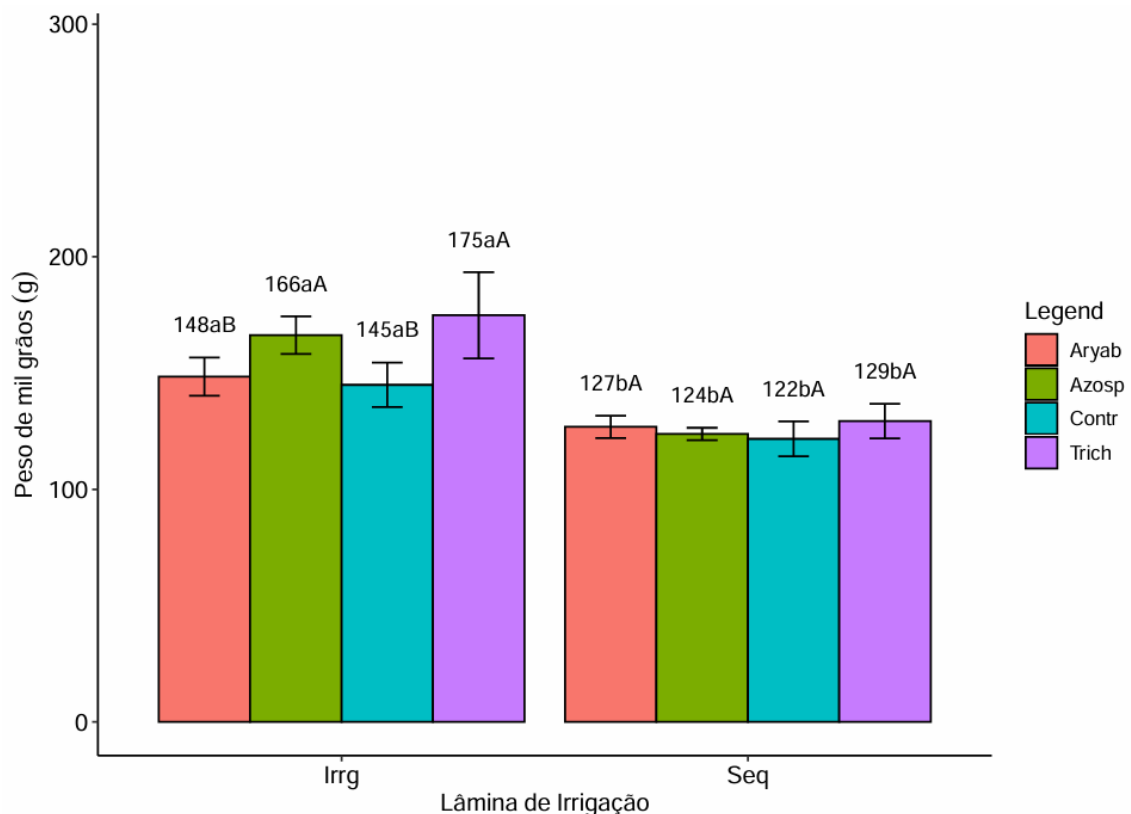
Fonte: Próprio Autor

Os resultados demonstram que o peso de mil grãos (PMG), Figura 11, foi influenciado pela interação entre lâmina de irrigação e microrganismos, indicando que a resposta da soja depende da disponibilidade hídrica. Em condição irrigada, os maiores

valores de PMG foram obtidos com *Trichoderma harzianum* e *Azospirillum brasilense*, evidenciando o efeito positivo desses microrganismos no enchimento dos grãos. Estudos comprovam que *Azospirillum* aumenta o crescimento e a eficiência fisiológica da soja, resultando em sementes mais pesadas devido à maior disponibilidade de nutrientes e fitormônios (Santos *et al.*, 2021; Reis *et al.*, 2022; Reina *et al.*, 2024). De forma semelhante, *Trichoderma* pode melhorar a absorção de água e nutrientes, favorecendo a translocação de assimilados para os grãos e aumentando o PMG (Zhang *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2024).

No sequeiro, todos os tratamentos apresentaram redução no PMG, comportamento amplamente relatado na literatura, que destaca o enchimento de grãos como uma fase altamente sensível ao déficit hídrico (Mirakhori *et al.*, 2009; Wijewardana *et al.*, 2019; Brito *et al.*, 2022). Apesar disso, *Trichoderma harzianum* manteve os maiores valores dentro dessa condição, sugerindo maior tolerância ao estresse, conforme também observado em outros estudos (Zhang *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2024). O *Bacillus aryabhattai* apresentou efeito intermediário, alinhado a pesquisas que mostram variabilidade no seu desempenho dependendo da estirpe e das condições ambientais (Park *et al.*, 2017; Mun *et al.*, 2024).

Figura 11. Teste de comparação de média com interação para a variável peso de mil sementes.



Fonte: Próprio Autor

A produtividade, Tabela 8, foi maior no manejo Irrigado 3.907,7 kg ha⁻¹ em comparação ao Sequeiro 3.118,9 kg ha⁻¹, com diferença estatística significativa. O incremento de quase 800 kg ha⁻¹ evidencia que a irrigação reduziu o estresse hídrico e favoreceu o enchimento de grãos, resultando em maior rendimento.

Tabela 8. Teste de Tukey para a variável; produtividade em (kg ha⁻¹) a partir da diferenciação sequeiro e irrigado.

Lâmina de irrigação	Prod (kg/ha)
Irrigado	3907.7 a
Sequeiro	3118.9 b
C.V. (%)	22.98

Fonte: Próprio Autor

O uso de microrganismos influenciou a produtividade, Tabela 9, com *Trichoderma* apresentando o maior rendimento 4.993,3 kg ha⁻¹ e diferindo estatisticamente dos demais, evidenciando seu forte efeito promotor de crescimento. Já *Azospirillum*, Controle e *Bacillus aryabhatai* formaram um grupo estatístico comum, com produtividades menores e sem diferenças entre si.

Tabela 9. Teste de Tukey para a variável; produtividade em (kg ha⁻¹) a partir da diferenciação dos MPCP.

Microrganismos	Prod (kg/ha)
Trich	4993.3 a
Azos	3519.5 b
Contr	3007.2 b
Aryab	2533.2 b
C.V. (%)	22.98

Fonte: Próprio Autor

6 CONCLUSÕES

A coinoculação com *Bradyrhizobium* sp. em associação a microrganismos promotores de crescimento, especialmente *Trichoderma harzianum* e *Azospirillum brasilense*, proporcionou melhorias no desenvolvimento e na produtividade da soja. O manejo irrigado foi decisivo para o desempenho da cultura, resultando em plantas mais altas, com maior número de hastes laterais, maior formação de vagens, grãos mais pesados e rendimento superior, reforçando a importância da disponibilidade hídrica para a expressão do potencial produtivo da cultura.

Entre os microrganismos avaliados, o *Trichoderma harzianum* apresentou os melhores resultados em praticamente todas as variáveis analisadas, alcançando a maior produtividade 4.993 kg ha⁻¹. O *Azospirillum brasilense* destacou-se em ambiente irrigado, favorecendo o crescimento vegetativo e a formação de vagens, enquanto *Bacillus aryabhattai* apresentou respostas mais moderadas. Esses resultados confirmam que a interação entre microrganismos eficientes e condições adequadas de umidade potencializa o desempenho fisiológico e reprodutivo da soja.

Mesmo em condição de sequeiro, os microrganismos contribuíram para reduzir impactos do estresse hídrico, demonstrando capacidade de melhorar a resiliência da cultura. Assim, este trabalho evidencia que a integração entre manejo hídrico, uso de microrganismos e compreensão da fisiologia da soja constitui uma estratégia viável e sustentável para elevar a produtividade em diferentes condições edafoclimáticas. Essa pesquisa reforça a importância de práticas de manejo integradas e tecnicamente embasadas, capazes de contribuir para sistemas agrícolas mais eficientes e produtivos.

Porém, tais resultados alcançados acima demonstram efeitos benéficos a cultura da soja para a região da Nova Alta Paulista, portanto, exige mais pesquisas para validar os resultados apresentados.

REFERÊNCIAS

- ABIOVE. **Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais**. Biodiesel. 2024.
- AGROLINK. **Cultivar Brasmax Coliseu I2X**. 2025. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/sementes/cultivar/brasmax-coliseu-i2x_1054.html
- ALLEN, R. G. *et al.* Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, **FAO**, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, Marcus Vinícius. Utilização de coprodutos do biodiesel na alimentação animal. **Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**, 2017.
- AMABILE, R. F. *et al.* Desempenho agrônomo de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de cultivo no Cerrado. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 14, n. 2, p. 25-35, 2019.
- BARASSI, C. A. *et al.* The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on photosynthetic activity and chlorophyll content of wheat plants under water stress. **Plant and Soil**, v. 313, p. 191–199, 2008. DOI: 10.1007/s11104-008-9697-5
- BÁRBARO, I. M.; GUERRA, J. G. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio em gramíneas e leguminosas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 89-98, 2009.
- BIODIESELBR. **Conab vê aumento de 3,7% no plantio de soja no Brasil em 2025/26 e nova safra recorde**. 2025.
- BONINI, C. S. B. *et al.* Sistema de plantio direto e seus impactos na estrutura e qualidade do solo. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e31511631564, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.31564.
- BRITO, G. G. *et al.* Physiological and yield responses of soybean under water deficit. **Crop Science**, v. 62, p. 1452–1464, 2022.
- CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S. Persistência e liberação de nutrientes da palhada de espécies de cobertura em função da quantidade de palha deixada na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 1011–1018, 2012.
- CAMPOS, H. Custos e desafios da irrigação no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 44, n. 3, p. 201-210, 2024.
- CARDOSO, N. A. *et al.* Plantio direto: benefícios, limitações e recomendações de manejo. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 21, n. 5, p. 35-49, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/58658/1/Artigo%20nubia.pdf>. Acesso em: 1 out. 2025.

CARVALHO, A. M. *et al.* Adubação verde e qualidade do solo: contribuições da pesquisa brasileira. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2020. (Documentos Embrapa Cerrados, 324). Disponível em: <https://www.embrapa.br/cerrados>

CEPEA; ABIOVE. **PIB da cadeia da soja e do biodiesel cresce 21% em 2023, mas renda real recua 5,3%**. 2023. Disponível em: <https://www.cepea.org.br/br/releases/cepea-abiove-pib-da-cadeia-da-soja-e-do-biodiesel-cresce-21-em-2023-mas-renda-real-recua-5-3.aspx>

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

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Benefits of integrating tropical forage grasses and legumes for crop-livestock systems in Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 204, p. 76–87, 2015.

DE BORJA REIS, A. F. *et al.* Azospirillum improves growth and nutrient uptake in soybean. **Applied Soil Ecology**, v. 170, p. 104–115, 2022.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: **FAO**, 1979. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOURADO NETO, D. *et al.* Políticas públicas e gestão da água para irrigação no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 87-98, 2022.

DRUMOND, L. C. Estratégias de irrigação e uso eficiente da água na agricultura. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 230-243, 2013.

EJBCP. Nematicidal and plant growth promoting activity of *Bacillus aryabhattai* KMT-4 against root-knot nematodes. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 31, n. 17, p. 1-10, 2021. DOI: 10.1186/s41938-021-00417-2. Disponível em: <https://ejbpc.springeropen.com/articles/10.1186/s41938-021-00417-2>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Biodiesel no Brasil: desafios e perspectivas. Brasília: **Embrapa**, 2022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1176026/1/LV-BIODIESEL-NO-BRASIL-pdf.pdf>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Microrganismos promotores de crescimento de plantas: potencial e uso na agricultura tropical*. Brasília: **Embrapa**, 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Soja no Brasil: histórico, avanços e perspectivas*. Londrina: **Embrapa Soja**, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja>. Acesso em: 8 out. 2025.

EMBRAPA. Inoculação com *Azospirillum brasilense*. Londrina: **Embrapa Soja**, 2010. (Comunicado Técnico 80). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/879077/inoculacao-com-azospirillum-brasilense>

EMBRAPA. Sistema Plantio Direto. Brasília: **Embrapa**, 2008. (Circular Técnica, 3). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1101765/1/SistemaPlantio.pdf>. Acesso em: 1 out. 2025.

ENGORMIX. **Agronegócio do biodiesel: potencialidades e limitações**. 2020. Disponível em: https://pt.engormix.com/avicultura/glicerina-alimentacao-animal/agronegocio-biodiesel-potencialidades-limitacoes_a38332/

FIGUEIREDO, S. L.; PIVETTA, L. G.; FAVARO, J. L.; CUNHA, V. A influência da disponibilidade hídrica sobre a produtividade agrícola. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 386-392, 2011.

FRANÇA, A. L. Impactos socioeconômicos da irrigação no semiárido brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 32, n. 4, p. 659-674, 2001.

FREITAS, L. G. *et al.* Potencial das crotalárias no manejo de nematoides em áreas agrícolas. **Nematologia Brasileira**, v. 45, p. 1-12, 2021.

FRONTIERS. *Bacillus aryabhattai* SRB02 improves soybean growth and nutrient uptake. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 1341993, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1341993/full>

GARCIA, R. A.; MENDES, A. P. Plantio direto na cultura da soja: uma abordagem científica. **RevistaFT**, 2018. Disponível em: <https://revistaft.com.br/plantio-direto-na-cultura-da-soja-uma-abordagem-cientifica/>. Acesso em: 1 out. 2025.7

GOMES, Igor de Souza. Farelo de soja na nutrição animal: importância e alternativas. **Universidade de Brasília**, 2021. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/30678/1/2021_IgorDeSouzaGomes_tcc.pdf

GUO, J. *et al.* The origin of soybean domestication and expansion. **Nature Genetics**, v. 54, p. 1126-1135, 2022.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; PIEDADE, S. M. S.; TSUMANUMA, P. M. (2006). Época de semeadura e arranjo de plantas em soja: I - Componentes da produção e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41(7), 1081-1088.

HEIFFIG, L.S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**. 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

HERMOSA, R. *et al.* Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**, v. 158, p. 17-25, 2012. DOI: 10.1099/mic.0.052274-0.

JOTABASSO. **Coliseu I2X. 2025**. Disponível em: <https://www.jotabasso.com.br/sementes/soja/coliseu-i2x>

JOURNAL ROYAL DATASET. **Panorama da produção de biodiesel no Brasil em 2023**. 2023. Disponível em:
<https://journals.royaldataset.com/dr/article/download/132/111/743>

KARAR, E. *et al.* Precision irrigation technologies and water management under climate change. **Agricultural Water Management**, v. 255, p. 106-124, 2021.

KIM, M. Y. *et al.* Genome sequence of soybean and comparative analysis with other legume genomes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 31, p. 11832-11837, 2012.

KLUTHCOUSKI, J. *et al.* Manejo do solo e cultura da soja em sistema de plantio direto. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000. DOI: 10.1590/S0103-90162000000100016.

LOMBARDI, N. *et al.* Biocontrol potential of *Trichoderma* spp. against soil-borne fungal pathogens. **Biological Control**, v. 123, p. 47-56, 2018. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.04.017.

MACHADO, D. F. M. *et al.* Uso de *Trichoderma* spp. como promotor de crescimento em plantas de soja. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p. 1-7, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131545.

MALDONADO, C. *et al.* Soybean expansion and agricultural frontiers: global perspectives and challenges. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 865399, 2022.

MARTÍNEZ-MEDINA, A. *et al.* *Trichoderma harzianum* enhances plant growth and induces systemic resistance through regulation of phytohormones. **Plant Signaling & Behavior**, v. 9, n. 8, p. e977736, 2014. DOI: 10.4161/15592324.2014.977736.

MDPI. ***Bacillus aryabhattai* mitigates drought stress and improves plant growth**. **Agriculture**, v. 13, n. 6, 1150, 2021. DOI: 10.3390/agriculture13061150. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/6/1150>.

MIRAKHORI, M. *et al.* Response of soybean to water deficit during reproductive stages. **Agricultural Water Management**, 2009.

MUN, H. *et al.* *Bacillus aryabhattai* enhances stress tolerance in legumes. **Journal of Applied Microbiology**, 2024.

OLIVEIRA, A. L. M. *et al.* Azospirillum-plant interaction: lessons learned and future perspectives. **Applied Soil Ecology**, v. 174, p. 104391, 2022. DOI: 10.1016/j.apsoil.2022.104391.

OLIVEIRA, C. M. *et al.* *Trichoderma* as a biostimulant in soybean under drought. **Journal of Plant Growth Regulation**, 2024.

OLIVEIRA, P. S. *et al.* Potencial forrageiro de leguminosas tropicais em consórcio com gramíneas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1-9, 2018.

PACHECO, L. P. *et al.* Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 17–25, 2011.

PARK, Y. G. *et al.* *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative stress and promotes plant growth. **PLoS ONE**, v. 12, n. 3, p. e0173203, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0173203. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0173203>.

PARK, Y. S. *et al.* Growth promotion of soybean by *Bacillus aryabhattai*. **Plant Physiology and Biochemistry**, 2017.

PEREIRA, S. G. F. *et al.* **Alterações em plantas de soja sob déficit hídrico no estágio reprodutivo**. 2017.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2016. Disponível em: <https://www.r-project.org/>

REINA, L. *et al.* Plant growth-promoting rhizobacteria increase soybean development and yield. **Rhizosphere**, 2024.

REIS, A. F. B. *et al.* Azospirillum improves growth and nutrient uptake in soybean. **Applied Soil Ecology**, 2022.

REVISTA CULTIVAR. **Benefícios do plantio direto no desenvolvimento da cultura da soja**. 2020. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/beneficios-do-plantio-direto-no-desenvolvimento-da-cultura-da-soja>. Acesso em: 1 out. 2025.

REVISTA FT. **Análise do impacto ambiental na produção do biodiesel de soja através do ciclo de vida**. 2020. Disponível em: <https://revistaft.com.br/analise-do-impacto-ambiental-na-producao-do-biodiesel-de-soja-atraves-do-ciclo-de-vida/>

RIGOBELLO, E. C. *et al.* Trichoderma improves drought tolerance and root growth. **Archives of Microbiology**, v. 206, p. 152–164, 2024.

SANTOS, F. L. *et al.* Azospirillum brasilense improves physiological performance of soybean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2021.

SEMENTES ESTRELA. **Cultivares de soja**. 2025. Disponível em: https://www.sementesestrela.com.br/storage/seeds_tipos_soja/86/8m09XSFYJX52uqfSC9mCmUhghsQFSHjEntHnYMI2.pdf

SILVA, R. A. *et al.* Efeitos da irrigação na produtividade agrícola sob condições de déficit hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 18, n. 1, p. 45–59, 2024.

SILVA-ABUD, A. P. *et al.* Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*: effects on nodulation, plant growth and

yield. **Applied Soil Ecology**, v. 165, p. 103986, 2021. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103986

SIDIKE, A. *et al.* Trichoderma: Dual Roles in Biocontrol and Plant Growth Promotion. **Microorganisms**, v. 13, n. 8, art. 1840, 2025. DOI: 10.3390/microorganisms13081840.

SIMONE, M. *et al.* Comparative analysis of irrigated and rainfed cropping systems in Brazil. **Irrigation Science**, v. 38, p. 433-445, 2020.

SOLIMAN, W. *et al.* Impact of drought on soybean growth and yield. **Plant Stress**, v. 10, p. 89–101, 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. (2015). **Plant Physiology and Development** (6th ed.). Sinauer Associates.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v. 37, n. 5, p. 1016–1024, 1979.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences** (PNAS), 108(50), 20260-20264.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Eficiência de espécies de cobertura na produção de fitomassa e na proteção do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 55–63, 2008.

UFSM. **Universidade Federal de Santa Maria. Relatório sobre uso da água na agricultura brasileira**. Santa Maria, 2022.

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892–898, 1980.

VIEIRA, S. R. Manejo e conservação do solo no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 267-276, 2014.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, 184, 13-24.

WIJEWARDANA, C. *et al.* Soybean growth and yield under drought and heat stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, 2019.

XU, Y. *et al.* Plant growth-promoting traits of *Bacillus aryabhattai* B8W22. **PLoS ONE**, v. 17, n. 8, p. e0272500, 2022. DOI: 10.1371/journal.pone.0272500. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0272500>

ZHANG, H.; SINGH, A. Soybean domestication: key traits and evolution. **The Plant Genome**, v. 11, n. 2, p. 1-12, 2018.

ZHANG, F. *et al.* Trichoderma enhances drought tolerance in crops. **Frontiers in Plant Science**, 2020.