

MUDANÇAS NA ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO E CRESCIMENTO DA SOJA EM FUNÇÃO DE SISTEMA DE CULTIVO E FORMAS DE INOCULAÇÃO DE *BACILLUS SUBTILIS*.

Maria Clara Zerbinatti; Élide Moreira; Erick Rampazo; Patrick Santos Silva; Wislayne Romao; Fabio Fernando de Araújo.

PROBLEMÁTICA

A soja é uma das culturas mais importantes do mundo, o Brasil é responsável por 40% de toda produção mundial (USDA, 2025). Em 2025 foi constatado que 75% dos produtores brasileiros já utilizavam inoculantes biológicos (ANPII, 2025), isto mostra grande conscientização do produtor sobre a importância da inoculação para a cultura, onde se avalia a eficiência da prática principalmente pela verificação da presença de nódulos nas raízes, além do aumento considerável da produção, o uso de inoculantes a base de rizobactérias garantem uma enorme economia com substituição de fertilizantes nitrogenados ao produtor, além de diminuir os impactos ambientais, promovendo uma agricultura cada vez mais sustentável (Naoe *et al.*, 2019) (Hungria; Mendes, 2015). A fim de atender à demanda mundial pela produção de alimento frente ao preocupante cenário de mudanças climáticas, testar o uso combinado de inoculantes biológicos em métodos de manejo já consolidados pode ser uma alternativa para maximizar a rentabilidade dos sistemas agrícolas. A forma de aplicação das rizobactérias e a escolha de métodos de manejo, como integração lavoura-pecuária ou plantio direto, podem promover uma melhora considerável nas propriedades do solo e qualidade da produção.

CONHECIMENTO PRÉVIO

Um bom rendimento na cultura é resultado da sinergia entre solo, microrganismo e planta, assim atributos biológicos e bioquímicos tem sido utilizados como indicadores de qualidade do solo, garantindo uma resposta rápida a alterações, determinados por métodos analíticos já desenvolvidos, como taxa de respiração do solo, atividade enzimática e biomassa microbiana, C e N (Chahal *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2015). Sabe-se também que as rizobactérias, como *Bacillus subtilis*, podem promover o crescimento de plantas fornecendo nutrientes, regulando o crescimento, suprimindo patógenos e aumentando a resistência das plantas aos estresses (Carvalho *et al.*, 2023; Shirmohammadi *et al.*, 2020;).

O sistema de manejo também interfere diretamente na qualidade do solo, sendo influenciado no pousio pela palhada da soja acumulada através do plantio direto (Costa *et al.*, 2024), ou pela cobertura do solo durante o ano todo com o sistema integrado com *Urochloa ruziziensis* e pastejo animal. Esse sistema também aumenta a matéria orgânica, enriquecendo os nutrientes do solo e atividade microbiana (Bieluczyk *et al.*, 2020)

DESCRIÇÃO DA PESQUISA

A área experimental se localiza na Fazenda Vó Altino em Caiuá/SP, pertencente ao Grupo Facholi, coordenadas geográficas: 21° 49' 54" de latitude sul e 51° 59' 54" de longitude oeste, em solo classificado como Argissolo Vermelho distroférrico. Neste local está implantada a área experimental com integração lavoura-pecuária (ILP) desde o ano

de 2017, vêm sendo conduzidos diferentes sistemas de cultivo com uso de espécies de pastagens integrado com soja ou apenas cultivo de soja sem integração com pastagem, sendo avaliados ganho de rendimento da planta e ganhos no desempenho animal e fertilidade do solo.

Foram selecionados nessa área os seguintes sistemas de cultivo: Soja-sem pastagem (POUSIO); Soja - *Urochloa ruziziensis* (ILP). A área experimental original foi instalada no delineamento de blocos ao acaso com três repetições. Dentro das parcelas originais desses tratamentos (1,0 ha) foram estabelecidas unidades experimentais (sub parcelas) com 30m² cada para introdução dos tratamentos com diferentes formas de aplicação de *Bacillus subtilis*, que foram o seguinte: T1-Aplicação de *B. subtilis* no sulco de semeadura (VS); T2- Aplicação de *B. subtilis* em suspensão aquosa sobre a superfície do solo (AT); T3- Aplicação de *B. subtilis* utilizando composto orgânico (veículo) sobre a superfície do solo (CP), e T4- controle sem a aplicação do *Bacillus subtilis* (CT). O delineamento experimental ficou então estabelecido como blocos ao acaso em esquema de fatorial duplo (Sistema de cultivo X Formas de aplicação).

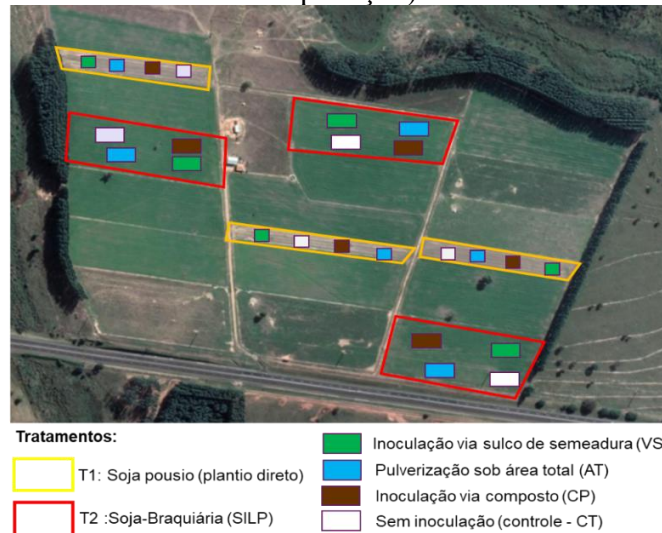


Figura 1 — Croqui do desenho experimental, estabelecido em Caiuá-SP. Fonte: A autora.

Em janeiro de 2024, durante o cultivo da soja, estágio R2-R4, foram coletadas amostras de solo rizosférico e de plantas para avaliação de desenvolvimento. Foi feito a contagem de nódulos e pesagem, avaliação de bactérias do gênero *Bacillus* no solo pelo método de diluição seriada e contagem em placas (Balows, 1975), efetuadas análises de C e N da biomassa microbiana (Ferreira; Camargo; Vidor, 1999), hidrólise do diacetato de fluoresceína – FDA (Ghini; Mendes, Bettiol, 1997), atividade das enzimas desidrogenase (Van Os; Van Ginkel, 2001) fosfatase ácida, glicosidase e arilsulfatase (Tabatabai, 1994), respiração basal (Jenkinson; Powlson, 1976)

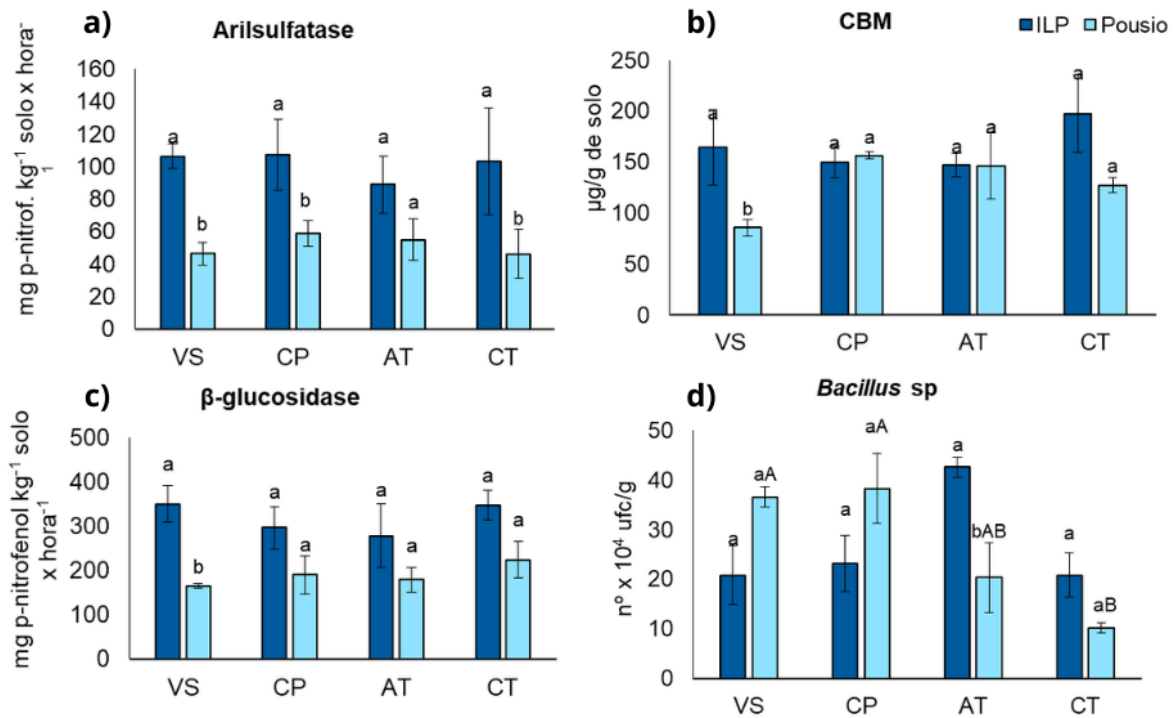


Figura 2 — Coleta e avaliação em laboratório, Presidente Prudente-SP. Fonte: A autora.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em solo rizosférico verificou-se que a aplicação de *B. subtilis* no sulco de semeadura conseguiu proporcionar aumento na maioria dos atributos de atividade microbiana avaliados no solo sob sistema ILP enquanto que a aplicação em área total (AT) foi o que proporcionou menor efeito entre os sistemas (Fig. 3). A quantificação de *Bacillus spp* no solo da rizosfera mostrou que no sistema de pousio os tratamentos via semente e composto conseguiram proporcionar maior concentração de *Bacillus spp.* em comparação ao controle (Fig. 3d). Mostrando que a aplicação via sulco de semeadura (VS) pode ter influenciado para otimizar a concentração de rizobactérias direcionada mais próxima do crescimento radicular inicial da soja, promovendo o crescimento das raízes (Galbieri *et al.*, 2023).

A aplicação de *B. subtilis* vinculada ao composto (CP) também pode ter aumentado a colonização microbiana na rizosfera da soja no sistema pousio em razão da maior disponibilidade de matéria orgânica, possibilitando a maior proteção e persistência dessas rizobactérias no sistema (Schmidt *et al.*, 2013), promovendo um meio favorável para o estabelecimento microbiano, aumentando a eficácia de inoculantes (Souza; Ambrosini; Passaglia, 2015).

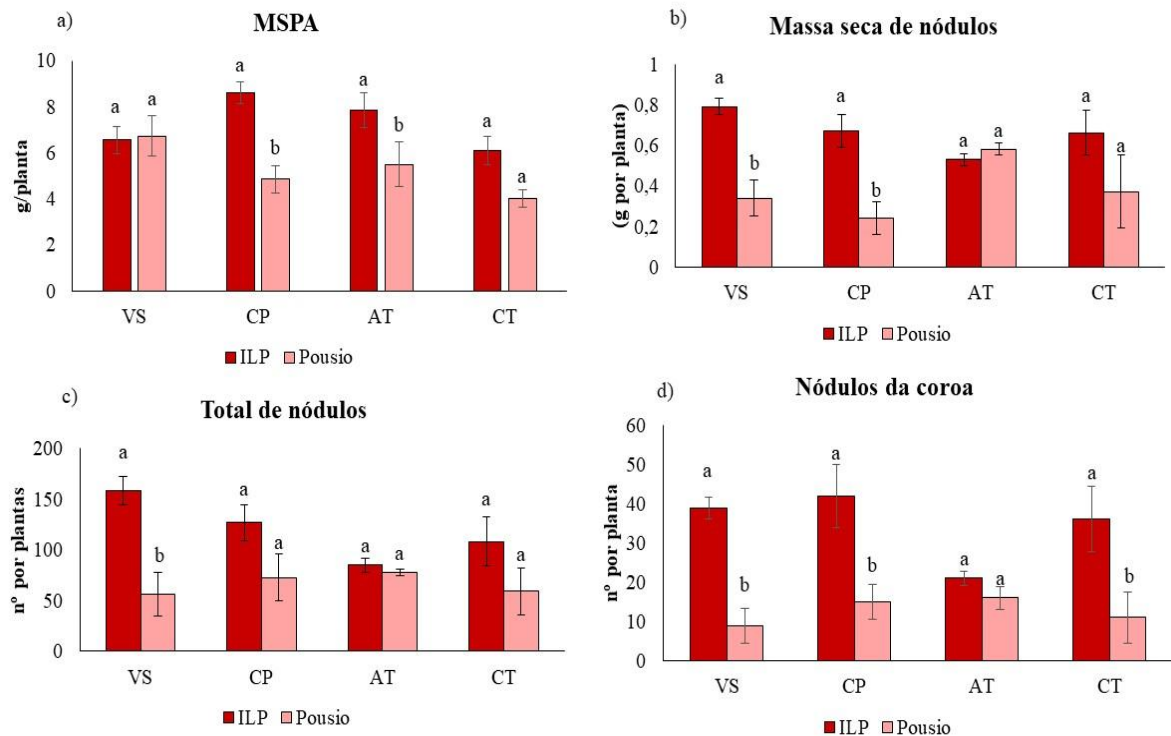


Fonte: A autora.

Figura 3 – Avaliação microbiana do solo rizosférico da soja sob diferentes formas de aplicação de *Bacillus subtilis* em sistemas de cultivo soja-pousio e integração lavoura-pecuária.

Arilsulfatase (mg p-nitrofenol kg⁻¹ solo x hora⁻¹) (a); CBM: carbono da biomassa microbiana (µg/g de solo) (b); β-glicosidase (mg p-nitrofenol kg⁻¹ solo x hora⁻¹) (c); Contagem de colônias de *Bacillus spp.* n° x 10⁴ UFC/g (d). Tratamentos: VS - Via sulco de semeadura, CP – Composto, AT – Área Total, CT- Controle. ILP- Integração Lavoura pecuária, Pousio - soja-pousio. Letras maiúsculas e minúsculas comparam os tratamentos dentro entre os dois sistemas, pelo teste de Tukey (p<0,05).

Em relação à nodulação observou-se que a aplicação de *B. subtilis* via sulco (VS) e composto (CP) aumentou a nodulação da coroa, nódulos totais e conseqüentemente a massa seca total de nódulos das plantas no sistema ILP comparado ao pousio (Figura 4-b, c, d). A avaliação de crescimento da planta durante o cultivo efetuada em janeiro de 2024 apresentou que os tratamentos com a aplicação de *B. subtilis* via composto e área total apresentavam diferença entre os sistemas (Figura 4-a). Segundo Meert *et al.*, (2020), a aplicação do inoculante deve ocorrer no ato da semeadura, via sulco, pois este auxilia no enraizamento e prevenção de doenças, principalmente em culturas anuais como a soja, o que pode trazer grandes benefícios aos agricultores.



Fonte: A autora.

Figura 4 – Avaliação de crescimento da soja sob diferentes formas de aplicação de *Bacillus subtilis* em sistemas de cultivo soja-pousio e integração lavoura pecuária.

MSPA: Massa seca da parte aérea. Tratamentos: VS - Via sulco de semeadura, CP – Composto, AT – Área Total, CT- Controle. ILP- Integração Lavoura pecuária; Pousio: soja-pousio. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

APLICAÇÃO PRÁTICA

Os tratamentos com *Bacillus subtilis* foram mais eficazes quando se usou a forma de aplicação no sulco ou pelo uso do composto orgânico como veículo, aumentando a atividade microbiana, nodulação das plantas e crescimento da parte aérea, demonstrando que esses tratamentos apresentam potencial para melhor rendimento da soja.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, processo nº 2023/06256-9 pela bolsa de Mestrado concedida a Maria Clara Zerbinatti.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANPII. Estatísticas. ANPII Bio, 2025. Disponível em: <<https://anpiibio.org.br/estatisticas/>>. Acesso em: 18 abr. 2025

BALOWS, Albert. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Eighth Edition. American Journal of Public Health, v. 65, n. 3, p. 315, mar. 1975.

BIELUCZYK, Wanderlei *et al.* Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. Geoderma, v. 371, p. 114368, 15 jul. 2020.

CARVALHO, Marco Antonio Camillo de *et al.* *Bacillus subtilis* UFMT-Pant001 as a plant growth promoter in soybean in a greenhouse. *African Journal of Agricultural Research*, v. 19, n. 2, p. 161–169, 28 fev. 2023.

CHAHAL, I. *et al.* Long-term effects of crop rotation, tillage, and fertilizer nitrogen on soil health indicators and crop productivity in a temperate climate. *Soil and Tillage Research*, v. 213, p. 105121, 1 set. 2021.

COSTA, Nídia Raquel *et al.* Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 852–863, jun. 2015.

COSTA, Romário Martins *et al.* Differential recruitment of plant growth-promoting bacteria community by soybean rhizosphere in no-tillage and integrated crop-livestock. *Rhizosphere*, v. 31, p. 100948, 1 set. 2024.

DIEL, Debora *et al.* Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, p. 639–647, ago. 2014.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. a. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 991–996, dez. 1999.

GALBIERI, Rafael *et al.* *Bacillus subtilis* as growth-promoting rhizobacteria co-inoculated on Bradyrhizobium-treated soybean seeds in the planting furrow. *Revista Ceres*, v. 70, p. e70601, 11 dez. 2023.

GHINI, R.; MENDES, M. D. L.; BETTIOL, W. Utilização do método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador de atividade microbiana no solo e supressividade a fitopatógenos. 1997.

HUNGRIA, Mariangela; MENDES, Iêda Carvalho. Nitrogen Fixation with Soybean: The Perfect Symbiosis? *In: Biological Nitrogen Fixation. [S.l.]: John Wiley & Sons, Ltd, 2015. p. 1009–1024.*

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—I. Fumigation with chloroform. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 8, n. 3, p. 167–177, 1 jan. 1976.

MEERT, Leandro *et al.* Diferentes inoculantes, formas de inoculação e seus efeitos sobre as características agrônômicas da cultura da soja. *Research, Society and Development*, v. 9, p. e2969108499, 26 set. 2020.

NAOE, Alessandra M. de L. *et al.* Co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars subjected to water deficit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, p. 89–94, 20 dez. 2019.

OLANREWAJU, Oluwaseyi Samuel; GLICK, Bernard R.; BABALOLA, Olubukola Oluranti. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 33, n. 11, p. 197, 6 out. 2017.

RAIJ ET AL., RAIJ *et al.* Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Disponível em: <<https://lab.iac.sp.gov.br/livro.htm>>. Acesso em: 22 maio. 2025.

SCHMIDT, Rogério Otávio *et al.* Biomassa e atividade microbiana do solo em sistemas de produção olerícola orgânica e convencional. *Ciência Rural*, v. 43, p. 270–276, fev. 2013.

SHIRMOHAMMADI, Ebrahim *et al.* Improved Phosphorus (P) Uptake and Yield of Rainfed Wheat Fed with P Fertilizer by Drought-Tolerant Phosphate-Solubilizing Fluorescent Pseudomonads Strains: a Field Study in Drylands. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 20, n. 4, p. 2195–2211, 1 dez. 2020.



SOUZA, Rocheli de; AMBROSINI, Adriana; PASSAGLIA, Luciane M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, v. 38, p. 401–419, 3 nov. 2015.

TABATABAI, M. a. Soil Enzymes. *In: Methods of Soil Analysis. [S.l.]*: John Wiley & Sons, Ltd, 1994. p. 775–833.

USDA. Brazil | USDA Foreign Agricultural Service. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/production/country/br>>. Acesso em: 18 abr. 2025.

VAN OS, G. J.; VAN GINKEL, J. H. Suppression of *Pythium* root rot in bulbous *Iris* in relation to biomass and activity of the soil microflora. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 33, n. 11, p. 1447–1454, 1 set. 2001.