



Scientific Electronic Archives

Issue ID: Vol.19 (4), Jul/Aug 2026, p. 1-5

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/19420262215>

+ Corresponding author: jefrejansouza@pcs.uespi.br

Microrganismos promotores de crescimento e adubação mineral na fertilidade do solo sob consórcio de milho e feijão

Microorganisms promoting growth and mineral fertilization in soil fertility under corn and bean intercropping

Lívy Roberta de Sousa Lima ¹, Gynna Silva Azar ¹, Jefrejan Souza Rezende ¹⁺, Wagner Rogério Leocádio Soares Pessoa ¹, Hermeson dos Santos Vitorino ¹, Francisco Reinaldo Rodrigues Leal ¹, Danilo da Silva Soares Dantas ¹, Francisco Leontino Gomes do Nascimento ¹, Denekly Barbosa Roberto ¹, Yuri Marques da Silva ²

¹ Universidade Estadual do Piauí

² Universidade Federal do Piauí

Resumo. O cultivo em consórcio de gramíneas e leguminosas se destaca pela diversificação de culturas, otimização dos recursos naturais e melhoria da saúde do solo, contribuindo para a sustentabilidade e produtividade agrícola. No entanto, a qualidade do solo tem sido uma preocupação central na agricultura, especialmente no que diz respeito à redução da fertilidade. Nesse contexto, o uso da adubação mineral e dos microrganismos promotores de crescimento em sistemas consorciados, de feijão e milho influencia diretamente na qualidade do solo e na eficiência produtiva desse sistema. Objetivou-se avaliar a fertilidade do solo em sistema de consórcio de milho e feijão sob uso de microrganismos promotores de crescimento e da adubação mineral. O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Estadual do Piauí, no município de Picos. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Os tratamentos foram: testemunha (sem aplicação de microrganismos e adubação); *Bacillus* (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis*); mix (*Azospirillum brasiliense*, *Rhizobium tropici*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus aryabhattai*) e adubação química. Foram avaliados o teor de matéria orgânica, potencial hidrogeniônico, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, alumínio trocável e H + Al. A adubação mineral apresentou efeito significativo na disponibilidade de fósforo no solo cultivado em sistema consorciado de milho e feijão. A aplicação isolada de microrganismos não apresentou resultados expressivos para a maioria dos atributos químicos avaliados, mas observou-se resultado promissor para o mix na disponibilização de fósforo.

Palavras-chaves: Biota do Solo, Fertilizante, Gramínea, Leguminosa, Qualidade do Solo

Abstract. Intercropping grasses and legumes stands out for its crop diversification, optimization of natural resources, and improvement of soil health, contributing to agricultural sustainability and productivity. However, soil quality has been a central concern in agriculture, especially regarding the reduction of fertility. In this context, the use of mineral fertilizers and growth-promoting microorganisms in intercropping systems of beans and corn directly influences soil quality and the productive efficiency this system. The objective was to evaluate soil fertility in a corn and bean intercropping system under the use of growth-promoting microorganisms and mineral fertilization. The work was carried out in the experimental area of the State University of Piauí, in the municipality of Picos. The experimental design was a randomized block design with four treatments and five replications, totaling 20 plots. The treatments were: control (without the application of microorganism and fertilization); *Bacillus* (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, and *Bacillus subtilis*); mix (*Azospirillum brasiliense*, *Rhizobium tropici*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, and *Bacillus aryabhattai*); and chemical fertilization. The organic matter content, hydrogen ion potential, potassium, phosphorus, calcium, magnesium, exchangeable aluminum, and H + Al were evaluated. Mineral fertilization showed a significant effect on phosphorus availability in soil cultivated in a corn and bean intercropping system. The isolated application of microorganisms did not show significant results for most of the chemical attributes evaluated, but a promising result was observed for the mix in the availability of phosphorus.

Keywords: Soil Biota, Fertilizer, Grass, Legume, Soil Quality

Introdução

O cultivo em consórcio de gramíneas e leguminosas, a exemplo de milho e feijão se destaca como uma prática agrícola em potencial, com benefícios significativos em diversos aspectos, como diversificação de culturas, otimização dos recursos como água, espaço enutrientes e melhoria da saúde do solo contribuindo para a sustentabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas (Darini et al., 2023).

No entanto, a qualidade do solo tem sido uma preocupação central na agricultura, especialmente no que diz respeito à redução da fertilidade. Existem diversos fatores que podem ocasionar a degradação do solo e elevar a perda da produtividade de uma determinada cultura (Silva et al., 2020). A baixa eficiência da produção agrícola está intimamente relacionada com uma má coordenação da conversão de energia que, por sua vez, é influenciada por fatores fisiológicos das culturas, pelo ambiente e por outros fatores biológicos, incluindo os micróbios do solo (Da Silva et al., 2024).

Nesse contexto, o uso da adubação mineral e dos microrganismos promotores de crescimento em sistemas consorciados, de feijão e milho é um tema de grande interesse na agricultura, pois influencia diretamente na qualidade do solo e na eficiência produtiva desse sistema.

A adubação mineral tem sido recomendada para inserir ou restituir ao solo os nutrientes como nitrogênio, potássio e fósforo, que são necessários para a melhoria da qualidade do solo e aumento da produtividade das culturas, desde que seja adicionado ao solo de forma racional e sustentável (Guimarães; Silva, 2023).

Os microrganismos são os representantes mais ricos em diversidade química e molecular na natureza (Pedrosa et al., 2015). Diante disso diferentes tipos de microrganismos do solo já foram identificados como promotores de crescimento (bactérias, fungos e protozoários que colonizam a rizosfera ou os tecidos de plantas) e podem ser utilizados para a produção de fertilizantes à base de microrganismos (Malusà; Pinzari; Canfora, 2016).

Essas populações microbianas incluem rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, bactérias fixadoras de nitrogênio, microrganismos responsáveis pela ciclagem de nutrientes e degradação da matéria orgânica, e consequentemente aumento da fertilidade do solo, a exemplo de microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio, além de micróbios degradadores de tóxicos do solo, actinomicetos e outros micróbios úteis (Gama-Rodrigues et al., 2008; Gonçalves et al., 2019; Khan et al., 2022; Meyer et al., 2022).

Estudos que verificaram o efeito da adubação química na melhoria da fertilidade do solo estão consolidados, entretanto a uma incipiência de estudos que verificam e comparam o efeito de

bactérias promotoras de crescimento na melhoria da qualidade química do solo, principalmente em solo arenoso sob sistema de consórcio, como é o caso do presente estudo. Isso torna esse estudo necessário e relevante para a macrorregião de Picos, no semiárido piauiense.

Diante disso, formulou-se a hipótese de que a aplicação de microrganismo aliada a adubação mineral poderia melhorar a fertilidade do solo sob cultivo de milho e feijão em consórcio.

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a fertilidade do solo em sistema de consórcio de milho e feijão sob uso de microrganismos promotores de crescimento e da adubação mineral.

Material e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Estadual do Piauí, Campus Professor Barros Araújo, no município de Picos (41°32'30" O; 07°02'51" S e 342 m acima do nível do mar). O clima, segundo a classificação climática de Köppen, era do tipo semiárido, muito quente, com estação chuvosa no verão. A precipitação média anual esteve entre 600 e 700 mm, sendo o bioma predominante a Caatinga (Alvares et al., 2013).

Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Os tratamentos foram: T1: testemunha (sem aplicação de microrganismos e adubação); T2: *Bacillus* (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis*); T3: mix com cinco microrganismos (*Azospirillum brasiliense*, *Rhizobium tropici*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus aryabhattai*) e T4: adubação química.

Implantação e condução do experimento

Antes da implantação do experimento, foi realizada a coleta de uma amostra composta de solo representativa da área, na camada de 0 - 20 cm, que foi enviada ao laboratório para determinação das características químicas e granulométricas do solo, conforme Teixeira et al. (2017). Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Não foi necessária a aplicação de calcário, uma vez que o pH está adequado e não há alumínio tóxico (Tabela 1).

A adubação mineral destinada ao cultivo do milho consistiu na aplicação de 6,66 g m⁻¹ linear de ureia, distribuída tanto no plantio quanto em cobertura, 11,11 g m⁻¹ linear de superfosfato simples e 3,33 g m⁻¹ linear de cloreto de potássio (KCl). Para o feijão, a adubação mineral foi composta por 4,44 g m⁻¹ linear de ureia aplicados no plantio e 6,66 g m⁻¹ linear em cobertura, além de 11,11 g m⁻¹ linear de superfosfato simples e 3,33 g m⁻¹ linear de KCl.

Esses valores seguiram a recomendação de Cavalcantiet al. (2008).

Cada parcela correspondeu a 18m². O espaçamento entre linhas foi de 0,90 m e entre plantas de cada fileira de 0,5 m (Da Rocha et al., 2020).

As cultivares de feijão caupi e de milho utilizadas foram a BRS Tumucumaque e o híbrido AG 1051, respectivamente. O sistema de irrigação adotado foi o de micro aspersão. Ao final do experimento, foi coletada uma amostra composta de solo em cada uma das 20 parcelas experimentais, na camada de 0-20 cm, formada pela união de três amostras simples. As amostras foram enviadas ao laboratório para determinação dos teores de matéria orgânica (M.O.), potencial hidrogeniônico (pH), potássio (K⁺), fósforo (P), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio trocável (Al³⁺) e H + Al.

Os atributos químicos foram analisados da seguinte forma: o pH em H₂O foi medido em uma solução do solo, na proporção 1:2,5 em água destilada utilizando um eletrodo de vidro. O Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos utilizando KCl 1,0 mol L⁻¹; o P e o K⁺ foram extraídos por meio da solução Mehlich-1; e o (H+Al) foi extraído utilizando acetato de cálcio a 0,5 mol L⁻¹. O Ca²⁺ e Mg²⁺ foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica; o K⁺ por fotometria de chama; o P por colorimetria; o Al³⁺ por titulação na presença do indicador azul de bromotimol e titulado com NaOH (0,025 mol L⁻¹); e o (H+Al) foi determinado por titulação com NaOH e fenolftaleína como indicador, seguindo os procedimentos recomendados por Teixeira et al. (2017).

Posteriormente, com uso de cálculos matemáticos, foram determinados os seguintes índices: soma de bases (SB); capacidade de troca catiônica (CTC); saturação por bases (V%) e saturação por alumínio trocável (m%).

Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância, pelo teste F (P<0,05). Quando houve significância, foi aplicado o teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Resultados e discussão

Segundo a análise de variância (tabela 2), houve efeito dos tratamentos para o teor de P disponível. No entanto, para as demais variáveis avaliadas (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, SB, CTC, V e MOS), não houve efeito significativo da adubação mineral ou dos microrganismos (^{ns}), indicados na Tabela 2.

O adubo mineral proporcionou o maior valor médio do teor de P, com 25,58 mg dm⁻³, sendo

superior aos tratamentos "Sem adubação" (14,78 mg dm⁻³) e "Bacillus" (14,02 mg dm⁻³) (Tabela 3).

O tratamento "Mix" se assemelhou ao adubo mineral nos teores de fósforo disponível, apresentando um valor de 19,96 mg dm⁻³, mas não diferiu dos tratamentos "Sem adubação" e "Bacillus" (Tabela 3).

A maior eficiência do adubo mineral indica que o mesmo foi eficaz para aumentar a disponibilidade de P no solo sob cultivo em consórcio milho-feijão no semiárido piauiense. Os adubos minerais, a exemplo do NPK, disponibilizam nutrientes rapidamente na solução do solo, para que sejam utilizados pelas plantas (Correia; Oliveira, 2025), uma vez que foi vista um aumento significativo de P disponível no solo, após um ciclo de produção do consórcio. De acordo com Souza et al. (2021), o adubo mineral como o superfosfato simples possui elevada solubilidade, aumentando substancialmente o teor de P disponível no solo, para que o mesmo seja disponibilizado para as plantas.

O tratamento "Mix" proporcionou resultados promissores em termos de P disponível, alcançando 19,96 mg dm⁻³. A eficácia do tratamento "Mix" na disponibilização de P no solo é possivelmente devido à presença de bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Azospirillum*, pois segundo Cruz et al. (2024) a atividade dos microrganismos no solo como o processo de solubilização de fosfato é essencial para disponibilizar P às plantas, promovendo seu crescimento.

Apesar do efeito significativo para o P, para as demais variáveis avaliadas, como Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca de Cátions potencial (CTC), Saturação por Bases (V) e Matéria Orgânica do Solo (MOS), não houve efeito significativo da adubação mineral ou dos microrganismos. Isso pode ser explicado pela competição com microrganismos nativos do solo, o que pode gerar antagonismo e reduzir a eficiência dos microrganismos promotores de crescimento inoculados (Chauhan et al., 2023).

Fatores bióticos e abióticos específicos, como temperatura, umidade, pH e a disponibilidade de nutrientes, também podem interferir nas respostas da utilização de microrganismos, uma vez que ocorre interação complexa entre as condições edafoclimáticas, a biota do solo e as características específicas das bactérias inoculadas (Chauhan et al., 2023; Wang; Kuzyakov, 2024). Como os teores dos nutrientes no solo, conforme a recomendação de Sobral et al. (2015), são classificados de médio a alto (tabela 1), isso pode ter inibido a ação dos microrganismos aplicados.

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo

| pH _{água} | P | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | t | T | m | V | MO |
|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | mgdm ⁻³ | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | | | % | | |
| 5,7 | 53,9 | 0,15 | 3,36 | 1,18 | 0,00 | 1,07 | 4,69 | 4,69 | 5,76 | 0,00 | 81,40 | 1,79 |

Areia:71,8%;silte:9,1%;argila19,1%.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para os teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions potencial (CTC), fósforo disponível (P), saturação por bases (V) e teor de matéria orgânica do solo (MOS) em área sob cultivo em consórcio milho-feijão no semiárido piauiense em função da adubação mineral e microrganismos.

| Fontes de variação | Quadrados Médios | | | | | | | |
|--------------------|---|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | Ca^{2+} | Mg^{2+} | K^+ | SB | CTC | P | V | MOS |
| | ----- $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ ----- | | | | | mg dm^{-3} | -----%----- | |
| Tratamento | 1,06 ^{ns} | 2,78 ^{ns} | 0,004 ^{ns} | 4,03 ^{ns} | 3,87 ^{ns} | 143,56* | 3,71 ^{ns} | 0,00 ^{ns} |
| Bloco | 0,99 | 1,77 | 0,002 | 1,10 | 1,18 | 73,10 | 5,05 | 0,43 |
| CV(%) | 13,56 | 40,00 | 36,24 | 16,19 | 14,28 | 39,07 | 2,46 | 48,78 |

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; ^{ns}não significativo.

Tabela 3. Valores médios de fósforo disponível (P) em áreas sob cultivo em consórcio milho-feijão no semiárido piauiense em função da adubação mineral e microrganismos.

| Tratamento | P |
|------------------|---------------------------------|
| | ----- mg dm^{-3} ----- |
| Sem adubação | 14,78B |
| Adubação mineral | 25,58A |
| <i>Bacillus</i> | 14,02 B |
| Mix | 19,96 AB |
| CV(%) | 39,07 |

Letras iguais nas colunas, não diferem entre si ($P < 0,05$) pelo teste de Duncan.

Conclusões

A adubação mineral apresentou efeito significativo na disponibilidade de fósforo no solo cultivado em sistema consorciado de milho e feijão, evidenciando sua eficácia em aumentar esse nutriente essencial.

Por outro lado, a aplicação isolada de microrganismos não apresentou resultados expressivos para a maioria dos atributos químicos avaliados, mas observou-se resultado promissor para o mix na disponibilização de fósforo.

Agradecimentos

A Universidade Estadual do Piauí (UESPI), pela concessão da estrutura e equipamentos, para realização do experimento e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROP) e o Núcleo de Inovação tecnologia (NIT) da Universidade Estadual do Piauí, pela concessão da bolsa, por meio do EDITAL PROP/NIT/UESPI 015/2023 - CHAMADA INTERNA DE INCENTIVO À INOVAÇÃO E À PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA (UESPI-TECH).

Referências

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-738, 2013.

CAVALCANTI, F. J. A. *et al.* Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco. 2. ed. Recife: IPA, 2008.

CHAUHAN, P. *et al.* Soil Microbiome: Diversity, Benefits and Interactions with Plants. **Sustainability**, v. 15, n. 19, p. 14643, 2023.

CORREIA, J. S.; OLIVEIRA, C. P. Desempenho vegetativo da abóbora cabotiá submetida à adubação mineral e orgânica em Ji-Paraná, RO,

Brasil. **Revista Nativa Americana de Ciências, Tecnologia & Inovação**, Ji-Paraná, v. 8, n. 1, p. 67-72, 2025.

CRUZ, D. R. C. *et al.* Microorganismos multifuncionais na agricultura: uma revisão sistemática sobre bactérias solubilizadoras de fósforo. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 3, p. e5854, 2024.

DARINI, M. T. *et al.* Evaluation System of Intercropping Functional Food Sweet Corn and Vegetable Soybean in Different Planting Density and Compound Fertilizers Dosages. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 1228, n. 1, p. 012027, 2023.

DA ROCHA, J. P. *et al.* Cultivo de sementes crioulas de milho e feijão em consórcio e monocultivo em Ipangaçu-RN. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 8, p. 58941-58950, 2020.

DA SILVA, A. L. P. *et al.* As contribuições dos microrganismos na qualidade do solo na agricultura. **Peer Review**, v. 6, n. 7, p. 96-106, 2024.

GAMA-RODRIGUES, E. F. *et al.* Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1521-1530, 2008.

GONÇALVES, V. A. *et al.* Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 62, n. 1, p. 1-8, 2019.

GUIMARÃES, Y. L. F.; SILVA, A. W. L. Revisão sistemática sobre manejo de adubação e calagem em pastoreio Racional Voisin (PRV). **Revista**

Observatório de La Economia Latinoamericana, Curitiba, v. 21, n. 7, p. 7194-7216, 2023.

KHAN, H. *et al.* Coupling phosphate-solubilizing bacteria (PSB) with inorganic phosphorus fertilizer improves mungbean (*Vigna radiata*) phosphorus acquisition, nitrogen fixation, and yield in alkaline-calcareous soil. **Heliyon**, Hampshire v. 8, n. 3, p. 1-10, 2022.

MALUSÀ, A.; PINZARI, E.; CANFORA, F. Efficacy of biofertilizers: challenges to improve crop production. In: SINGH, D.; SINGH, H.; PRABHA, R. (Ed.). **Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity**. New Delhi: Springer, 2016. v. 2, p. 17-40.

MEYER, M. C. *et al.* **Bioinsumosna cultura da soja**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2022. 550 p.

PEDROSA, M. V. *et al.* Importância ecológica dos microrganismos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 100-114, 2015.

SILVA, M. de O. *et al.* Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SOBRAL, L. F. *et al.* **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 15 p. (Documentos 206).

SOUZA, T. C. *et al.* Peanut response to different sources and doses of phosphorus. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 13, p.10, 2021.

TEIXEIRA, C. P. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

WANG, C.; KUZUYAKOV, Y. Mechanisms and implications of bacterial–fungal competition for soil resources. **The ISME Journal**, v. 18, n. 1, p. wrae073, 2024.