

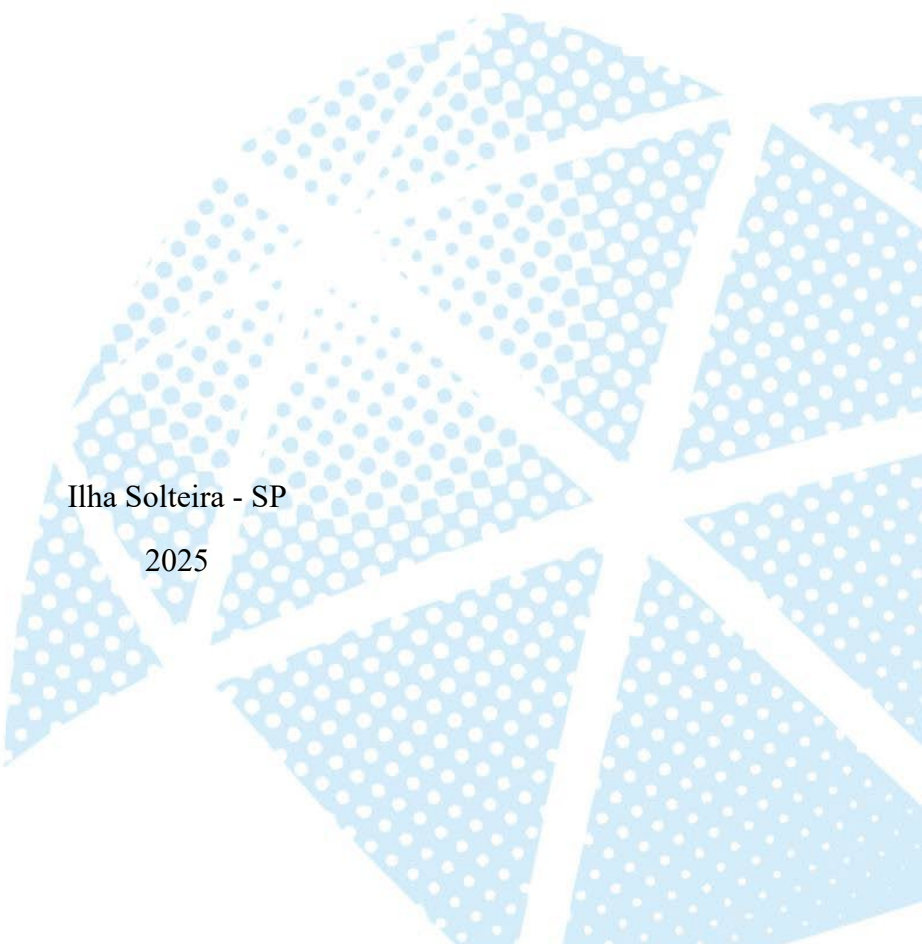
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LUIS GUSTAVO QUEIROZ PEREIRA

**EFEITO RESIDUAL DE DOSES DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO COM *Azospirillum
brasilense* NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE NUTRICIONAL DE AVEIA PRETA
E NABO FORRAGEIRO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Ilha Solteira - SP

2025



LUIS GUSTAVO QUEIROZ PEREIRA

**EFEITO RESIDUAL DE DOSES DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO COM *Azospirillum
brasilense* NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE NUTRICIONAL DE AVEIA PRETA
E NABO FORRAGEIRO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
UNESP como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Zootecnista.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Andreotti

Ilha Solteira - SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P436e Pereira, Luis Gustavo Queiroz.
Efeito residual de doses de fósforo e inoculação com *Azospirillum brasilense* na produtividade e qualidade nutricional de aveia preta e nabo forrageiro em sistema plantio direto / Luis Gustavo Queiroz Pereira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025

56 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025

Orientador: Marcelo Andreotti

Inclui bibliografia

1. Adubação fosfatada. 2. Bactérias promotoras de crescimento. 3. Consórcio forrageiro. 4. *Avena strigosa*. 5. *Raphanus sativus*. 6. Integração lavoura-pecuária.

Sandra Montibeller - CRB-8/060

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ZOOTECNIA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Efeito residual de doses de fósforo e inoculação com *Azospirillum brasilense* na produtividade e qualidade nutricional de aveia preta e nabo forrageiro em sistema plantio direto

ALUNO: *Luís Gustavo Queiroz Pereira* RA: *20051851*

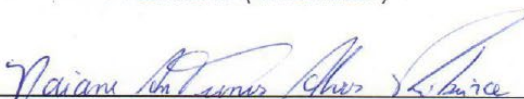
ORIENTADOR: Marcelo Andreotti

Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: *9,5*

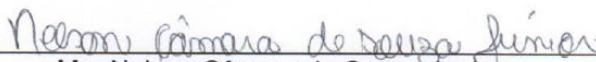
Comissão Examinadora:



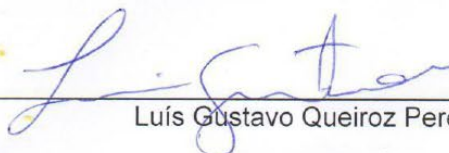
Prof. Dr. Marcelo Andreotti
Presidente (Orientador)



Dra. Naiane Antunes Alves Ribeiro



Me. Nelson Câmara de Souza Junior



Luís Gustavo Queiroz Pereira

Ilha Solteira, 12 de junho de 2025.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que me sustentou até aqui, fortaleceu-me em todos os momentos da minha vida, mostrou-me a direção certa e conduziu-me pelo melhor caminho.

À minha família, que sempre esteve comigo e apoiou-me nesse sonho de fazer uma faculdade. Em especial aos meus pais, Renata Cristina Queiroz de Pereira dos Santos e José Carlos Pereira dos Santos, que muitas vezes deixaram de lado os próprios sonhos para viver os meus. Nunca mediram esforços para me ajudar e estar ao meu lado. Aos meus irmãos, Yasmim Helena Queiroz Morais e José Victor Queiroz Pereira, que também me abraçaram durante todo esse período, e à minha namorada, Gabriela, que sempre me apoiou, ajudou e esteve comigo em todos os momentos.

Quero agradecer também à equipe Andreotti, que me fez crescer muito como pessoa e ensinou-me o valor de trabalhar em equipe. Vivemos muitos momentos bons, tanto de trabalho quanto de descontração. Ao meu orientador, Marcelo Andreotti, sou grato por todo o aprendizado e apoio ao longo dessa fase tão importante da graduação.

Agradeço imensamente à FEIS/Unesp por todos esses anos de aprendizado, crescimento e conquistas. Foram momentos que moldaram minha trajetória pessoal e profissional de forma inesquecível. Levo comigo gratidão, conhecimento e o orgulho de fazer parte dessa história.

Um agradecimento especial à República Pró Álcool, que me acolheu nesses anos e se tornou meu lar em Ilha Solteira. Em especial aos meus grandes amigos Guilherme Victor Vieira Pedro, Gustavo Cruz Gonçalves e Guilherme Leandro Leonel, que sempre estiveram ao meu lado, nos momentos bons e ruins. Sou muito grato por tudo.

E, claro, aos meus amigos das repúblicas Canta Galo, Overgasmo e Bola Gato, por tantos momentos de risadas, brincadeiras e descontração, que tornaram o dia a dia da graduação mais leve. Levo comigo cada risada, cada conselho e cada momento no coração e na memória.

RESUMO

A degradação de pastagens é um dos principais entraves à produtividade pecuária no Brasil, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas de produção. Nos sistemas integrados de produção agropecuários, a rotação de culturas com plantas de cobertura tem grande importância na recuperação da fertilidade do solo e produção forrageira. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do fósforo residual, aliado à inoculação ou não das gramíneas da rotação com *Azospirillum brasilense*, sobre o desempenho agrônomo e nutricional do consórcio entre aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) em sistema plantio direto consolidado. O experimento foi conduzido em Selvíria-MS, utilizando delineamento em blocos casualizados (DBC) com esquema fatorial 5x2 (doses de P_2O_5 x inoculação), totalizando dez tratamentos com quatro repetições. Foram avaliadas a produtividade de matéria seca e o acúmulo de macro e micronutrientes nas partes aérea e radicular das culturas. Os resultados demonstraram que as maiores doses residuais de P_2O_5 (240 kg ha⁻¹) promoveram maior acúmulo de nutrientes no nabo forrageiro, especialmente nas áreas não inoculadas, devido ao hábito de crescimento do nabo que se desenvolveu melhor e sufocou o desenvolvimento da aveia preta. Por outro lado, a inoculação com *A. brasilense* resultou em incrementos significativos no crescimento e na qualidade nutricional da aveia preta, especialmente em termos de matéria seca e proteína bruta. Houve sinergia positiva entre o fósforo e a inoculação, evidenciando a importância do manejo integrado. Conclui-se que a combinação de adubação fosfatada residual com inoculação biológica é uma estratégia eficiente para intensificação sustentável da produção forrageira, promovendo maior eficiência no uso de nutrientes e melhoria da qualidade do solo. O uso de consórcios sob SPD, aliado ao uso racional de insumos e à biotecnologia, pode representar uma alternativa viável para a recuperação de áreas degradadas e aumento da produtividade pecuária. Áreas manejadas sob o SPD por vários anos, observa-se uma otimização na produção agrícola, aliada à redução dos custos de cultivo.

Palavras-chave: adubação fosfatada; bactérias promotoras de crescimento; consórcio forrageiro; *Avena strigosa*; *Raphanus sativus*; integração lavoura-pecuária.

ABSTRACT

Pasture degradation is one of the main obstacles to livestock productivity in Brazil, compromising the sustainability of production systems. In integrated crop-livestock systems, crop rotation with cover plants plays a key role in soil fertility restoration and forage production. In this context, the objective of this study was to evaluate the effects of residual phosphorus, combined or not with the inoculation of grasses in rotation with *Azospirillum brasilense*, on the agronomic and nutritional performance of the intercropping between black oat (*Avena strigosa* Schreb.) and forage radish (*Raphanus sativus* L.) under a consolidated no-tillage system. The experiment was carried out in Selvíria (MS), using a randomized block design (RBD) in a 5x2 factorial scheme (P_2O_5 doses $\times$ inoculation), totaling ten treatments with four replications. Dry matter yield and macro- and micronutrient accumulation in the aerial and root parts of the crops were evaluated. The results showed that the highest residual doses of P_2O_5 (240 kg ha⁻¹) promoted greater nutrient accumulation in forage radish, especially in non-inoculated areas, due to the growth habit of the radish, which developed better and suppressed the growth of black oat. On the other hand, inoculation with *A. brasilense* significantly increased the growth and nutritional quality of black oat, particularly in terms of dry matter and crude protein. A positive synergy between phosphorus and inoculation was observed, highlighting the importance of integrated management. It is concluded that the combination of residual phosphorus fertilization with biological inoculation is an effective strategy for the sustainable intensification of forage production, promoting greater nutrient use efficiency and soil quality improvement. The use of intercrops under no-tillage systems, combined with rational input use and biotechnology, may represent a viable alternative for the recovery of degraded areas and increased livestock productivity. In areas managed under no-tillage for several years, agricultural production is optimized, and cultivation costs are reduced.

Keywords: phosphate fertilization; growth-promoting bacteria; forage consortium; *Avena strigosa*; *Raphanus sativus*; crop-livestock integration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Localização da área experimental.....	21
Figura 2- Histórico de cultivos da área experimental.....	22
Figura 3– Médias mensais de precipitação e temperaturas mínima, média e máxima do período que compreende a pesquisa, junho de 2024 a setembro de 2024. Selvíria/MS.....	23
Figura 4- Análise de regressão para o residual das doses de P_2O_5 para acúmulo de Cobre.....	34
Figura 5- Análise de regressão para o residual das doses de P_2O_5 para acúmulo de Ferro.....	35
Figura 6- Análise de regressão para o residual das doses de P_2O_5 para o acúmulo de cálcio.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Médias dos valores para os atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,10 m após a dessecação do capim Piatã, em área sob sistema plantio direto, por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2023/2024.....	24
Tabela 2– Médias dos valores para os atributos químicos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m após a dessecação do capim Piatã, em área sob sistema plantio direto, por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2023/2024.....	25
Tabela 3- Acúmulo de nutrientes na parte aérea, teor de proteína bruta e produtividade de matéria seca do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	26
Tabela 4- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para o acúmulo de nutrientes na parte aérea do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	27
Tabela 5- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para o teor de proteína bruta e produtividade de matéria seca parte aérea do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	29
Tabela 6- Acúmulo de nutrientes radicular no nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	30
Tabela 7- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para o acúmulo de nutrientes nas raízes do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	31
Tabela 8- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para a produtividade de matéria seca de raízes do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	32

Tabela 9- Acúmulo de nutrientes na parte aérea da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	33
Tabela 10- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para o acúmulo de nutrientes na parte aérea da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	35
Tabela 11- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para os teores de proteína bruta e a produtividade de matéria seca de parte aérea da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	37
Tabela 12- Acúmulo de nutrientes radiculares na aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	38
Tabela 13- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para o acúmulo de nutrientes da parte radicular da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	39
Tabela 14- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para os teores de proteína e a produtividade de matéria seca de parte radicular da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	40
Tabela 15- Acúmulo de nutrientes na parte aérea do consórcio (aveia preta + nabo forrageiro) por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	42
Tabela 16- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para o acúmulo de nutrientes da parte aérea do consórcio aveia preta e nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	43
Tabela 17- Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para a produtividade de matéria seca da parte aérea do consórcio aveia preta e nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por <i>A. brasilense</i> . Selvíria/MS, 2024.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- **SPD** – Sistema Plantio Direto
- **MS** – Matéria Seca
- **N** – Nitrogênio
- **ADP** – Difosfato de Adenosina
- **ATP** – Trifosfato de Adenosina
- **MO** – Matéria Orgânica
- **CV** – Coeficiente de Variação
- **FBN** – Fixação Biológica de Nitrogênio
- **pH** – Potencial Hidrogeniônico
- **SB** – Soma de Bases
- **CTC** – Capacidade de Troca de Cátions
- **V / m** – Saturação por Bases / Saturação por Alumínio
- **N₂** – Nitrogênio Molecular
- **Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, K, Mg, S, B, P** – Elementos químicos (Cobre, Ferro, Manganês, Zinco, Cálcio, Potássio, Magnésio, Enxofre, Boro, Fósforo)

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEORICO.....	15
2.1 Panorama nacional da pecuária e produção atual	15
2.2 Fósforo	16
2.3 <i>Azospirillum brasiliense</i>	17
2.4 Manejo Conservacionista	18
2.5 Consórcio <i>Avena strigosa Schreb</i> x <i>Raphanus sativus</i>	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
Localização e caracterização da área experimental	21
Instalação e condução do projeto de pesquisa	23
Análise estatística	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÃO.....	46
6. REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

As pastagens degradadas estão entre as grandes problemáticas da pecuária brasileira, em sua maior parte devido ao uso intensivo da exploração como pasto para alimento dos animais. Segundo pesquisas, há uma estimativa de que 55 milhões de hectares no Cerrado cerca de 80 % estão em alguma fase de degradação, onde as pastagens encontram-se em um processo de perda de vigor, impedindo sua recuperação natural e reduzindo drasticamente as chances de produção e qualidade exigidas pelos animais (Carvalho *et al.*, 2017).

Em sua grande maioria, os motivos da degradação estão ligados ao manejo errado de pastagens, desde o início na escolha de gramíneas de forma equivocada para utilização, a má formação inicial e falta de manejo adequado de adubação, principalmente nutrientes essenciais como nitrogênio (N) e fósforo (P). Todos esses fatores, acarretam aceleração do processo de degradação, fazendo com que as áreas se tornem degradadas e impedindo uma exploração viável para produção agropecuária no país, o que afeta consideravelmente a escala produtiva comercial do setor de carne bovina (Dias Filho *et al.* 2016).

O sistema de produção pecuária segue predominantemente de forma extensiva, na forma do pastejo dos animais em grandes áreas dependendo principalmente das forragens nativas ou cultivadas no local (Carneiro *et al.*, 2016). Desde o início da exploração pecuária, o sistema tem sido utilizado de forma extrativista não sustentáveis, o que levou as pastagens a atingirem diferentes níveis de degradação. Tais cenários de não adoção de técnicas sustentáveis, comprometem não apenas a produtividade, mas também a qualidade das forragens (Peron e Evangelista, 2004). As áreas destinadas as pastagens no Brasil vêm diminuindo devido ao grande aumento da produção de grãos, principalmente soja e milho. Nesse contexto, a intensificação do uso da terra por meio de sistemas como o sistema plantio direto (SPD) e a integração lavoura-pecuária (ILP) surge como alternativa sustentável para conciliar a produção de grãos com a manutenção da atividade pecuária, promovendo maior eficiência no uso das pastagens remanescentes. A maior exploração do solo nessas áreas e a adoção de técnicas como o SPD e ILP, fazem com que o sistema de produção em forma de pastejo seja mais eficiente, bem manejado e cuidado de forma correta, devido aos pilares essenciais desses sistemas de produção (Lima, *et al.*, 2024).

A agricultura conservacionista representa um método de produção agrícola que prioriza o mínimo revolvimento do solo, como ocorre no SPD, preservando a cobertura vegetal, como a palhada, e promovendo a rotação com uma grande variedade de espécies cultivadas, a exemplo dos consórcios entre gramíneas e leguminosas. Essa abordagem contribui para a

sustentabilidade da produção, o enriquecimento da biodiversidade e dos mecanismos biológicos naturais, otimizando também o aproveitamento da água e dos nutrientes (Bernardi *et al.*, 2023).

Como uma das novas técnicas utilizadas para aumentar o aporte de palhada e incentivar a exploração de diferentes culturas no perfil do solo, tem-se dado destaque, na pesquisa científica, ao uso do consórcio de plantas de cobertura. Tal técnica tem como principal objetivo melhorar a qualidade do solo, visto que a exploração de diferentes espécies pode beneficiar a estruturação do solo, bem como a retenção de água, além de aumentar a palhada no solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes e assim contribuindo com a principal cultura para exploração agrícola (Research Development, 2021). Como planta forrageira comum destaca-se a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) utilizada para formação de palhada, onde a cultura fornece alto aporte de matéria seca na superfície do solo além de contribuir com a melhoria na estrutura do solo, auxiliando na aeração e drenagem (Bacq-Labreuil *et al.*, 2019). Dentre os diferentes consórcios usados com a aveia preta, destaca-se o uso do nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) como excelente material para formação de matéria orgânica e exploração do solo no SPD (Crusciol *et al.*, 2005), proporcionando descompactação do solo pelas raízes vigorosas e abundantes além do aumento da ciclagem de nutrientes (Rauber *et al.*, 2025).

Outra técnica crescente nos sistemas produtivos é o uso de Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP), pois promovem maior desenvolvimento e crescimento vegetal, onde esses fertilizantes em associação com esses micro-organismos, apresentam efeitos adicionais, melhorando o rendimento das culturas (Hayat *et al.*, 2010). A interação entre bactérias do gênero *Azospirillum* e raízes auxiliam positivamente, o processo de crescimento da planta, melhorando a exploração no perfil do solo, o que favorece a absorção de água e nutrientes, além da fixação biológica de nitrogênio (FBN) e da produção de fitormônios vegetais pelo uso das bactérias do gênero *Azospirillum*, aumentando o rendimento das culturas (Fukami *et al.*, 2017).

Na produção agropecuária brasileira, o fósforo (P) tem sido o maior limitante na produtividade das culturas, pesquisas estimam 90% das áreas no país, apresentam teores de P disponível no solo abaixo do ideal 10-20 mg dm⁻³ para maioria das culturas. 15 mg dm⁻³ para forrageiras. Dados do boletim 100 (2022). (Hou *et al.*, 2020). Neste cenário, BPCP como *Azospirillum* tem potencial em converter fosfato insolúveis no solo em formas solúveis que pode auxiliar na disponibilidade de P no solo (Cassán *et al.*, 2020). Vale destacar que solos conduzidos em SPD por longa duração tendem a apresentar uma maior biodiversidade e sustentabilidade, o que aumenta o efeito residual do uso destas bactérias e fertilizantes minerais,

diminuindo custos e favorecendo o aumento das culturas de cobertura. Assim a hipótese desse estudo, é a de que o manejo conservacionista do solo, em combinação com o efeito residual da inoculação de BPCP e Da adubação fosfatada adequada, potencializa a produtividade vegetal, além de melhorar a qualidade nutricional das plantas, resultando em um material com maior valor nutricional.

O objetivo desse estudo foi avaliar, o efeito residual de doses de P em conjunto com a inoculação ou não da BPCP *Azospirillum brasiliense* nas gramíneas da rotação, sobre a produtividade e qualidade nutricional do consórcio entre *Avena strigosa schreb* e *Raphanus sativus*, em um solo sob SPD consolidado.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 Panorama nacional da pecuária e produção atual

O rebanho bovino do Brasil foi estimado no ano de 2023 em 197 milhões de cabeças. Dos estados com maior relevância na pecuária, pode se destacar o Tocantins com aumento no rebanho de $\pm 9,8\%$ e Pará com $\pm 8,1\%$. Em contrapartida, as áreas de pastagem caíram entre os anos de 2022 e 2023 em torno de $0,2\%$ chegando a 161 milhões de hectares no país. Em uma análise últimos 20 anos, as áreas de pastagem caíram $11,3\%$, e nesse período, a produtividade média brasileira quase que dobrou, de $32,6$ para $65,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de carcaça, fazendo com que o Brasil aumentasse a sua produção mesmo com uma menor área de produção, chegando a um peso médio de carcaça de 253 kg (ABIEC, 2024).

Na nutrição animal, a evolução do gado bovino como herbívoro, com dieta primária em forragens (gramíneas e leguminosas) de elevado teor de parede celular, determinou a especialização da microbiota ruminal. Ao longo do tempo, esse ambiente digestivo tornou-se predominantemente habitado por microrganismos fibrolíticos – bactérias, protozoários e fungos – essenciais para a eficiente fermentação e utilização dos carboidratos estruturais presentes nessas fontes alimentares (Millen, 2023).

As forragens são essenciais nas dietas de bovinos devido ao seu papel na estimulação da mastigação, ruminação, produção de saliva e por serem uma importante fonte de energia para os microrganismos do rúmen (Zabeli *et al.*, 2006). A maioria do rebanho bovino brasileiro é criado em áreas de pastagem, sendo ela a principal fonte de alimentação dos bovinos, oferecida como forma prática, para ofertar alimento aos animais. Também pelas condições climáticas e extensão de território do país há possibilidade de grande produção de forrageiras. Culturalmente, o Brasil persiste na utilização do sistema como uma atividade extrativista com

baixo uso das tecnologias disponíveis, mesmo com a pesquisa científica mostrando que tecnologias ou manejos e uso de insumos como nutrientes minerais podem possibilitar incrementos em matéria seca, proporcionando ganhos produtivos consideráveis (Dias-Filho, 2016).

Entretanto, a simples recuperação dessas áreas mostra grande potencial de produção pecuária para o Brasil (Dias-Filho, 2014). Qualquer nutriente que esteja em deficiência pode comprometer a produtividade das culturas, inclusive para forrageiras (Cocioto *et al.*, 2025). Países tropicais são importantes na produção de alimentos, porém os solos destas localidades normalmente, possuem baixa concentração de nutrientes, com destaque ao P, que junto com o N são os nutrientes que mais limitam a produção (Prado, 2008). O P, além de possuir alto potencial de fixação e imobilização no solo, é uma fonte finita e não renováveis tornando as pesquisas para melhor uso e dinâmica deste como nutriente vegetal indispensáveis (Saath; Fachinello, 2018).

2.2 Fósforo

Para a planta, o P é em dos mais importantes nutrientes, e possui várias funções dentre as quais destacam-se a transferência de genes e fornecimento de energia para o desenvolvimento da planta. O nutriente faz parte de diferentes moléculas químicas em especial o difosfato e o trifosfato de adenosina (ADP e ATP), ainda auxilia na respiração, fotossíntese, armazenamento de energia e resistência para certas doenças (Khan *et al.*, 2023). No interior da planta ele se apresenta como um nutriente móvel, principalmente em áreas de crescimento, como os meristemas, pois quando se tem deficiência de P, os sintomas se mostram principalmente nas partes mais velhas da planta, dentre seus sintomas surgimento de folhas mais finas, estreitas e arroxeadas (Heuer *et al.*, 2017).

Mesmo presente no solo em grandes quantidades, a maioria do P não é assimilável para a planta, fazendo com que fique inacessível para a cultura (Kurihara *et al.*, 2016). O P pode ser classificado em quatro formas: Fixado - formato de P ligado fortemente a outros nutrientes (Fe, Ca e Al), onde a quantidade de P fixado (não-lábil) no solo é variável, dependendo das características intrínsecas de cada tipo de solo, e essa fixação ocorre em diferentes graus; Imobilizado - quando o P se encontra na forma orgânica e não pode ser diretamente utilizado pelas plantas (não assimilável), ele está armazenado na MO do solo. No entanto, esse fósforo orgânico pode ser transformado em formas inorgânicas que as plantas conseguem absorver através do processo de mineralização da MO; Adsorvido - Forma do nutriente que fica retida nas partículas do solo, especificamente nos coloides (argila e matéria orgânica). Essa forma não

está imediatamente disponível para as plantas, mas pode se tornar disponível gradualmente, através de trocas iônicas com as raízes das plantas; Assimilável - é a fração do nutriente que está dissolvida na solução do solo. Essa forma é facilmente absorvida pelas raízes das plantas e representa a principal fonte de P para o crescimento vegetal (Kehrwald, 2025).

O P disponível no solo também pode ser correlacionado ao pH, pois com o pH ácido, a utilização desse macronutriente pode ser igual ou inferior a 30%, enquanto em solos com pH próximo da neutralidade e equilibrado, esse aproveitamento em relação ao pH pode ser de até 100%, mas podendo ter perdas por outros fatores (Kehrwald, 2025). Com o aumento da demanda da população por alimentos e intensificação da agricultura, a produção de alimentos superou a disponibilidade de P no solo (Cordell, White., 2011). O esgotamento de depósitos naturais e a concentração geográfica das reservas representam desafios significativos para a rocha fosfática, uma das principais fontes de P (Scholz; Wellmer, 2013). Projeta-se que as reservas de fosfato de alta qualidade se esgotarão até o final do século, resultando em aumento dos custos de produção e impactos negativos para agricultores em países em desenvolvimento (Edouard., 2024).

Para enfrentar a escassez de nutrientes, e aumentar a disponibilidade de P no solo através dos resíduos orgânicos se apresenta como estratégias alternativas indispensável para o aumento/manutenção da produtividade (Pantano *et al.*, 2016). A ação dos microrganismos no solo é fundamental para tornar o P acessível às plantas, que libera o P por meio de mecanismos como solubilização, quelação e mineralização (Lima *et al.*, 2024). A utilização de microrganismos solubilizadores de P como *Azospirillum brasilense* tem despertado interesse global como uma estratégia biotecnológica promissora para otimizar a solubilização e disponibilização do fosfato na agricultura (Khourchi *et al.*, 2023).

2.3 *Azospirillum brasilense*

As Bactérias promotoras de crescimento plantas (BPCP) representam um grupo diversificado de microrganismos que conferem múltiplos benefícios às plantas. Ao colonizarem a superfície das raízes, a rizosfera, a filosfera e os tecidos internos, elas estimulam o crescimento vegetal por diversos mecanismos. Isso inclui a fixação biológica de nitrogênio (FBN), o aumento da atividade da redutase do nitrato, a produção de uma variedade de hormônios vegetais como auxinas, citocininas, giberelinas e etileno, além da síntese de outras moléculas complexas. Adicionalmente, as BPCP contribuem para a solubilização de fosfato e atuam como agentes de controle biológico contra patógenos (Moreira, 2021).

O gênero bacteriano *Azospirillum* desempenha um papel crucial na vida das plantas. As espécies desse gênero são definidas como gram-negativas, microaerofílico e não fermentativas, sendo que sua grande importância está na capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, tornando-o disponível para o crescimento vegetal. Desde sua descoberta por Martinus Beijerinck em 1925 na Holanda, esta espécie tem sido extensivamente investigada como uma das BPCP mais relevantes para uso agrícola. (Cassán *et al.*, 2020).

O mecanismo de ação mais conhecido do *Azospirillum* para promover o crescimento das plantas engloba a fixação de nitrogênio e a produção de diversas substâncias bioativas, como fitormônios, poliaminas e trealose. A forma como *Azospirillum* atua é complexa e variada, sendo que a importância de cada mecanismo pode ser influenciada pelas características do solo, pelas condições climáticas e pela capacidade de solubilizar minerais importantes para a nutrição vegetal, como ferro (Fe) e P. A combinação desses efeitos geralmente leva ao desenvolvimento de plantas maiores e, em muitos casos, com maior produtividade (Cruz-Hernández *et al.*, 2022).

A introdução de linhagens específicas de *Azospirillum* sob a forma de inoculação, adaptadas às características do solo e clima locais, promove melhor crescimento do sistema radicular, que o torna mais ramificado e profundo, melhorando a exploração do solo pela planta e, conseqüentemente, a absorção de água e nutrientes. A utilização desses inoculantes, aliada a práticas de manejo conservacionista, configura-se como uma excelente forma de cultivo para a agricultura, contribuindo para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Silva, 2022).

2.4 Manejo Conservacionista

O Sistema Plantio Direto (SPD) representa uma técnica conservacionista fundamental na agricultura moderna, caracterizada pela semeadura sem aração ou gradagem. Sua adoção promove avanços significativos nos sistemas de cultivo, especialmente na atenuação do processo de erosão. Historicamente, o preparo do solo evoluiu de práticas rústicas e trabalhosas com constatação de movimentação do solo, o que pode aumentar a erosão e compactação (Miranda, 2022). A crescente adesão ao SPD justifica-se por múltiplos benefícios, incluindo o controle eficaz da erosão, a otimização do tempo de semeadura, a redução do consumo de combustível, o melhor estabelecimento das culturas, o aumento da retenção hídrica no solo e a economia de recursos como mão de obra, máquinas e implementos agrícolas (Andrade *et al.*, 2018).

No Cerrado brasileiro, o solo é caracterizado como naturalmente ácido, altamente intemperizados, com baixa fertilidade e capacidade de troca catiônica (CTC). Além disso, o inverno seco e rigoroso, marcado por poucas chuvas e longos períodos de estiagem, somado às

altas temperaturas ao longo do ano com um clima que se assemelha ao do verão, mesmo em épocas distintas, também influencia significativamente o sistema produtivo aumentando os intervalos entre safras sem produção. Com esses fatores, ter um planejamento de manejo do solo levando em consideração os fatores físicos e químicos, além do uso de palhada de cobertura, torna-se uma opção viável, aumentando a MO presente no solo, proporcionando ciclagem de nutrientes, melhorando o aproveitamento desses no solo, diminuindo a perda de fertilizantes e maximizando a absorção de nutrientes para as culturas subsequentes (Benedicto, 2022).

No Brasil, estima-se que 33 milhões de hectares destinados à produção de grãos são manejados sob os princípios do SPD, pela utilização de diversas culturas em sistemas de rotação. Essa prática proporciona benefícios como o controle de custos e a manutenção do solo em níveis químicos e físicos adequados. Adicionalmente, o aporte contínuo de MO ao solo, na frequência e qualidade requeridas por suas condições ambientais, desempenha um papel fundamental na manutenção e melhoria da sua qualidade estrutural (Amaral *et al.*, 2025). Locais onde os solos são naturalmente pouco férteis limitações associadas ao estágio de degradação ou baixa disponibilidade de nutrientes, sendo que manejado corretamente sob SPD consolidado podem melhorar sua eficiência de produção devido os diversos benefícios associados ao sistema (Angeletti *et al.*, 2022).

Em um contexto geral, o consórcio entre culturas e forrageiras surge como uma estratégia promissora para otimizar o SPD, especialmente em regiões onde a produção e persistência de cobertura de palhada sobre o solo são limitadas. Essa abordagem sinérgica eleva a viabilidade do SPD, impulsionando a produção de fitomassa essencial para a proteção do solo e favorecendo o estabelecimento de pastagens resilientes durante os períodos de estiagem. Além da formação de cobertura no solo, os consórcios entre espécies vegetais visam minimizar agravantes do sistema convencional, tais como a degradação do solo, o uso intensivo de máquinas, a adubação excessiva e os custos de produção (Magalhães, 2023).

2.5 Consórcio *Avena strigosa* Schreb x *Raphanus sativus*

A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) destacam-se como culturas de cobertura com potencial significativo para sistemas de produção integrados, oferecendo benefícios tanto para a nutrição animal quanto para a melhoria das propriedades do solo. Originária da Ásia e do Oriente Médio, a aveia preta é uma gramínea anual da família Poaceae, sendo cultivada globalmente, com o Brasil figurando como um importante produtor na América do Sul, especialmente nas áreas de produção no período

outono/inverno da região sul. Seu interesse reside na produção de grãos, feno e silagem, sendo uma alternativa valiosa na composição de rações para o setor pecuário, capaz de complementar o valor nutricional de pastagens nativas (Meneguzzo *et al.*, 2022).

No SPD, a aveia preta é amplamente utilizada como cobertura do solo durante a primavera e o inverno, promovendo a exploração do perfil, a manutenção da MO e a ciclagem de nutrientes, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Meneguzzo *et al.*, 2022). Suas raízes fasciculadas e o intenso perfilhamento proporcionam proteção contra a erosão, melhoram a infiltração da água e a disponibilidade de nutrientes, além de auxiliarem no controle de plantas daninhas (Guzatti *et al.*, 2015). Embora a decomposição de sua palhada possa inicialmente imobilizar N, a liberação gradual de nutrientes ao longo do tempo e os benefícios gerais para a sanidade e as propriedades do solo a tornam fundamental na rotação de culturas (Crusciol *et al.*, 2005).

O nabo forrageiro, pertencente à família Brassicaceae é originário do leste da Ásia e da Europa, é uma planta anual de rápido desenvolvimento e sistema radicular pivotante agressivo (Moura *et al.*, 2022). Amplamente utilizado como planta de cobertura no inverno em regiões como Sul, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (Crusciol *et al.*, 2005), o nabo forrageiro oferece múltiplos benefícios para o solo, incluindo a produção de grande quantidade de matéria seca, a reciclagem de nutrientes como nitrogênio e fósforo, e a atuação como um "subsolador natural", capaz de romper camadas compactadas do solo (Aziz *et al.*, 2020). Sua capacidade alelopática auxilia no controle de plantas daninhas e sua baixa exigência em fertilidade o tornam uma opção interessante para solos ácidos tropicais (Moraes *et al.*, 2009). A liberação de nutrientes de sua palhada ocorre de forma inicial acelerada, seguida por uma liberação mais lenta e contínua, contribuindo para a nutrição das culturas subsequentes e para a conservação do solo (Torres *et al.*, 2011). Adicionalmente, o nabo forrageiro apresenta potencial para a nutrição animal, com seus grãos contendo um teor significativo de óleo (30-43%) e o farelo apresentando cerca de 40% de proteína bruta, com valor energético similar ao farelo de soja, podendo ser utilizado como fonte proteica alternativa e valorizando o resíduo da produção de biodiesel (Rodrigues, Rondina., 2013).

O consórcio da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) apresenta-se como uma estratégia promissora para potencializar os benefícios de ambas as culturas. A combinação do sistema radicular fasciculado da aveia com o sistema pivotante do nabo pode otimizar a exploração de diferentes profundidades do solo, aprimorando sua estrutura física e a infiltração de água de maneira sinérgica. (Mauli., 2009) A diversidade

da biomassa produzida pode resultar em uma cobertura mais eficiente e duradoura, auxiliando no controle da erosão e de plantas daninhas (Guzatti *et al.*, 2015).

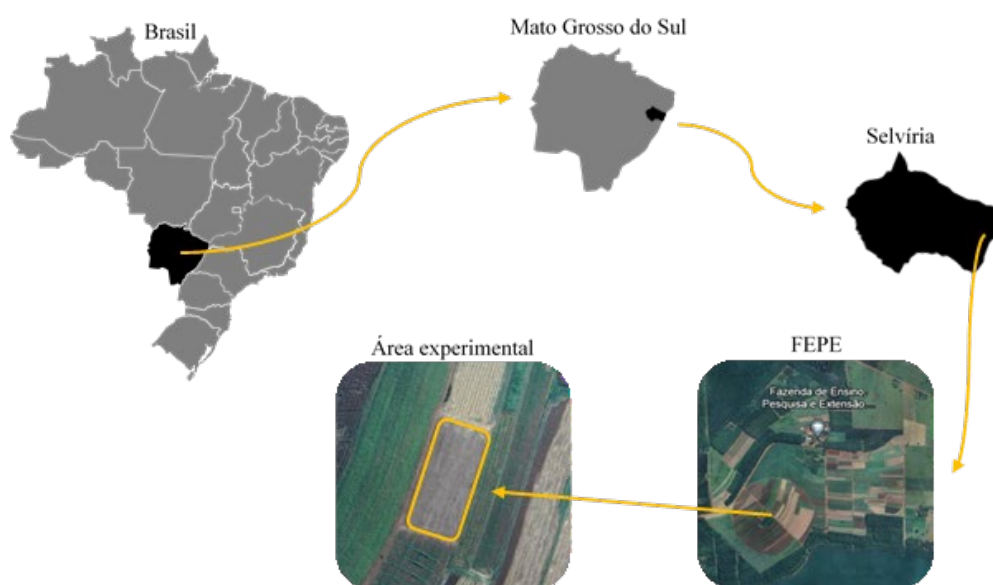
No âmbito da nutrição animal, a produção conjunta dessas culturas pode oferecer uma forragem com melhor equilíbrio entre fibra e proteína, dependendo do manejo e da proporção das espécies (Meneguzzo., 2022). Adicionalmente, a eficiente ciclagem de nutrientes promovida por ambas as culturas pode contribuir para a sustentabilidade do sistema a longo prazo, diminuindo a necessidade de insumos externos (Crusciol *et al.*, 2005). Investigações específicas sobre os efeitos do consórcio de aveia preta e nabo forrageiro na nutrição de bovinos e nas propriedades do solo são essenciais para definir as melhores práticas de manejo e quantificar os benefícios sinérgicos dessa combinação; (Bratti., 2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área experimental

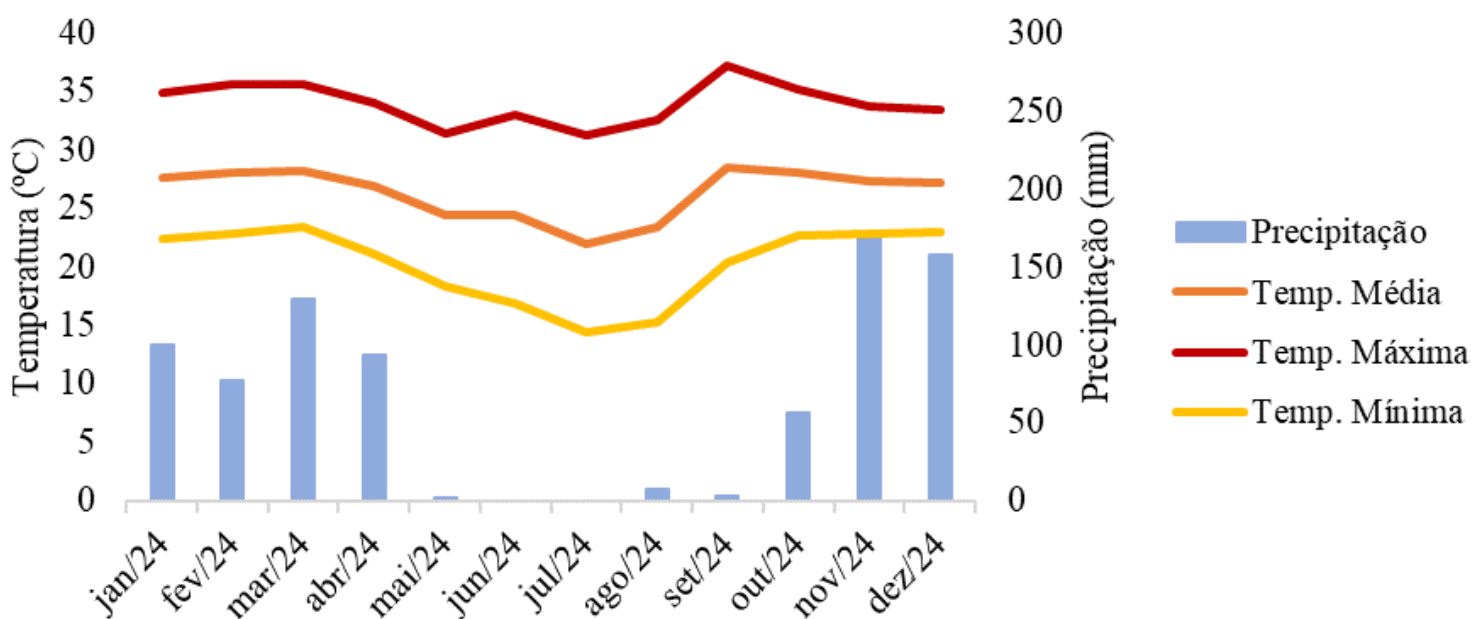
O experimento foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) – Setor de Produção Vegetal, pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS)/Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizada no município de Selvíria/MS (Esquema 1), com as coordenadas geográficas 20°20'45''S e 51°24'25''W e altitude de 350 m.

Figura 1 – Localização geográfica da área experimental no município de Selvíria/MS



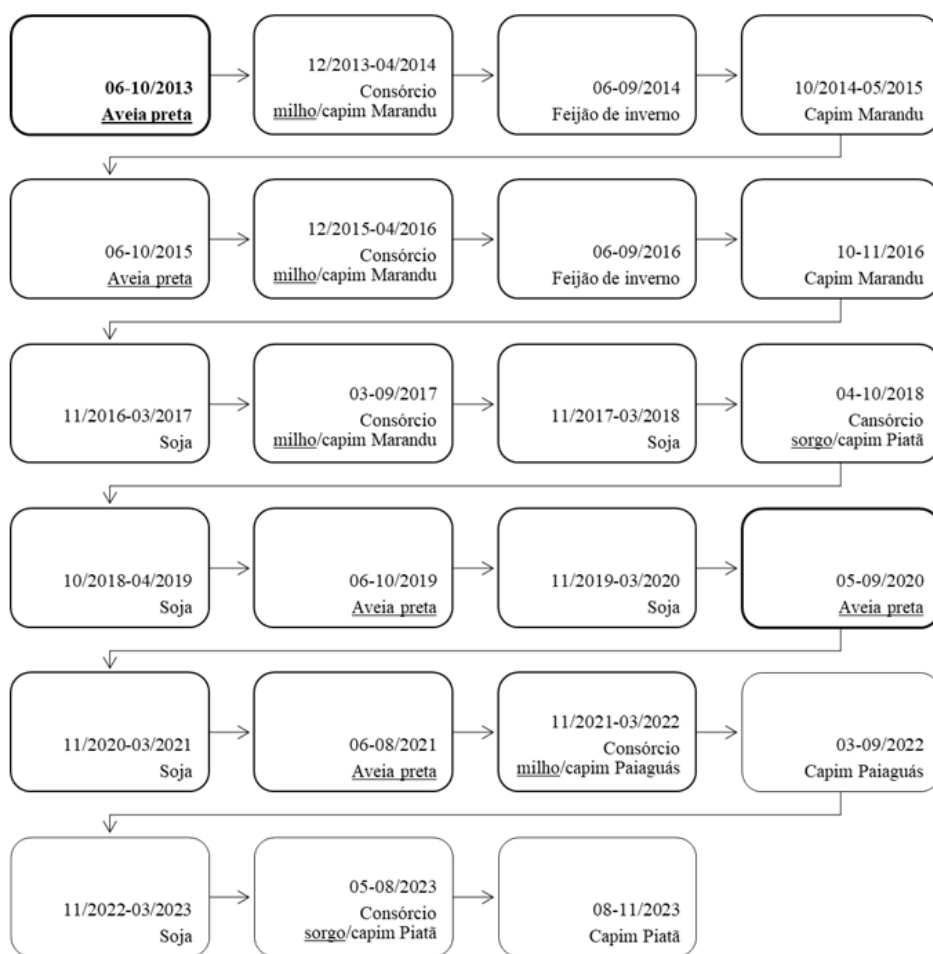
O relevo da área é caracterizado como moderadamente plano, com solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (Demattê, 1980), de textura argilosa, atualizado de acordo com a Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.* 2018). O tipo climático é o Aw, segundo classificação de Köppen (Alvares *et al.* 2014), descrito como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação média anual é de 1370 mm e a temperatura média de 23,5 °C (Hernandez; Lemos-Filho; Buzetti, 1995). Durante a condução do experimento foram coletados os dados climáticos junto à estação meteorológica instalada na FEIS (Figura 2).

Figura 2 – Médias mensais de precipitação e temperaturas mínima, média e máxima do período que compreende a pesquisa, junho de 2024 a setembro de 2024. Selvíria/MS



A área experimental possui histórico de cultivo constituído por culturas anuais em SPD há 21 anos e anteriormente à condução da atual pesquisa houve uma sequência dos seguintes cultivos na rotação de culturas (figura 3).

Figura 3 -Histórico de cultivos da área experimental em SPD no município de Selvíria/MS.



Em que: formas e informações de culturas em **negrito**: momento que ocorreram as adubações fosfatada; culturas sublinhadas: cultivos que foram inoculados com a bactéria *Azospirillum brasilense*.

Instalação e condução do projeto de pesquisa

O delineamento experimental adotado foi o em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 5x2, sendo 5 (cinco) doses de fósforo 0; 30; 60; 120 e 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ fornecidos

via Fosfato Monoamônico (MAP – N: 11%, P₂O₅: 52%), para observar o efeito da residual do P em formas assimiláveis. A dose recomendada em análise inicial do solo realizada ano de 2013, de acordo com o Boletim 100, foi de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a partir desta dose padrão, obteve-se as demais doses, sendo: meia dose (30 kg ha⁻¹), dobro da dose padrão (120 kg ha⁻¹), duas vezes (o dobro) da dose padrão (240 kg ha⁻¹) e a testemunha (0 kg ha⁻¹), a quantidade de nitrogênio (N) nas parcelas foi balanceada com a utilização de ureia, de forma que todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de N. A aplicação foi a lanço sem incorporação na semeadura da aveia preta no ano de 2013 e reaplicadas em 2020, junto com a inoculação ou não das gramíneas produtoras de grãos da rotação de culturas (Figura 2) com a bactéria *A. brasilense*, com quatro repetições por tratamento, totalizando 40 parcelas experimentais.

A unidade experimental (parcela) possui 3,2 m de largura e 10 m de comprimento, somando área de 32 m², tendo o experimento quatro blocos para cada área, inoculada e não inoculada, com as cinco doses de P₂O₅ em cada bloco, perfazendo área experimental total de 1280 m².

Antes da implementação do consórcio referente a presente pesquisa, coletas de solo foram realizadas em 01/11/2024, com o auxílio de um perfurador de solo Stihl BT 45, foram coletadas as amostras nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. As amostras foram colocadas em sacos plásticos, secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 5 mm (terra fina seca ao ar), posteriormente foram analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da FEIS/Unesp (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Médias dos valores para os atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,10 m após a dessecação do capim Piatã, em área sob SPD, por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2023/2024

Tratamento	P ----- mg dm ⁻³ -----	S	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	m	MO	pH
					mmol _c dm ⁻³				----- % -----		g dm ⁻³	(CaCl ₂)
Doses de P ₂ O ₅ (P)												
0	10	5	4,1	25	17	33	46,4	79,3	59	4	28	5,1
30	13	5	4,1	28	19	33	51,2	83,7	60	4	28	5,1
60	11	5	4,2	23	16	33	44,2	77,8	57	4	28	5,1
120	12	5	4,1	23	15	33	42,3	75,2	56	6	27	5,1
240	20	5	4,1	28	17	34	47,1	81,0	58	4	29	5,1
Inoculação (I)												
Sem	16	5	4,6	26	18	33	48,9	82,2	59	4,1	29	5,1
Com	11	5	3,8	24	16	33	43,6	76,8	57	4,8	28	5,1
CV%	20,44	20,15	14,09	16,02	23,24	13,9	23,33	9,79	13,21	22,77	8,27	4,61

Tabela 2. Médias dos valores para os atributos químicos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m após a dessecação do capim Piatã, em área sob SPD, por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2023/2024

Tratamento	P ----- mg dm ⁻³ -----	S	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	m	MO	pH
					mmol _c dm ⁻³				----- % -----		g dm ⁻³	(CaCl ₂)
Doses de P ₂ O ₅ (P)												
0	8	5	3,6	19	12	33	35,0	68,0	51	6	20	5,0
30	8	5	3,8	20	14	32	37,0	69,8	53	7	22	5,0
60	8	5	3,9	20	13	33	37,3	70,6	52	7	22	5,0
120	8	5	3,5	18	12	33	34,0	67,7	50	8	21	5,0
240	11	6	3,6	19	13	33	35,4	68,6	51	6	21	5,0
Inoculação (I)												
Sem	9	5	3,9	19	12	33	35,2	68,9	50	7,4	20	5,0
Com	8	5	3,5	20	13	32	36,5	68,9	53	6,4	22	5,0
CV%	23,84	20,78	15,64	24,74	16,45	11,31	22,99	8,33	15,91	22,29	8,6	4,93

A semeadura do consórcio (aveia preta + nabo forrageiro) foi realizada no dia 11/06/2024, mecanicamente com uso de semeadora-adubadora com mecanismo sulcador disco duplo para SPD, à uma profundidade de aproximadamente 0,03 m, com espaçamento entrelinhas de 0,17 m, em linhas alternadas de aveia e nabo. Utilizou-se 80 sementes por m² para a aveia preta, cultivar EMBRAPA – 29 (Garoa), com pureza de 96% e germinação de 80%, e para o nabo forrageiro, cultivar IPR 116, com pureza de 98% e germinação de 60 %, com gasto de aproximadamente 10,5 kg de sementes por hectare, sem adubação de semeadura. Como adubação de cobertura, no estágio de perfilhamento da aveia aplicou-se 250 kg ha⁻¹ do formulado 20-00-20.

As avaliações e colheita das plantas do consórcio foi realizada no dia 14/09/2024, momento onde foram coletadas as plantas inteiras (parte aérea e raízes) de ambas as espécies do consórcio presentes em 1 m² (média de 3 pontos por parcela), onde o material coletado foi separado por espécie e posteriormente, entre parte aérea e raízes. As raízes foram lavadas em água corrente e em seguida todos os materiais com suas respectivas porções foram pesados para obter-se a produção de matéria verde de cada cultura em 1 m². Após pesagem, esse material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e colocados em estufa de circulação forçada de ar à uma temperatura de 65°C por 72 horas. Com os materiais secos, realizou-se nova pesagem para obtenção da produção de matéria seca (MS) de cada cultura em 1 m², para posterior cálculo de produção de MS por hectare (ha). Estes mesmos materiais foram moídos e levados ao laboratório de Nutrição de Plantas da UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - SP para análise de macro e micronutrientes (Malavolta et al., 1997).

De posse dos resultados dos teores de nutrientes por espécie e parte da planta (parte aérea e raízes), calculou-se o acúmulo de nutrientes com base na matéria seca, por parte vegetal e espécie e o somatório do consórcio (aveia preta + nabo forrageiro).

Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$). Os efeitos de inoculação ou não com *A. brasilense* foram comparados pelo teste t (LSD) ($P < 0,05$). Enquanto o efeito da adubação fosfatada residual foi avaliado por análise de regressão ($P < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR® (Ferreira, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o acúmulo de nutrientes da parte aérea do nabo forrageiro, não houve efeito dos tratamentos para K, S, Cu, Fe e Zn (Tabela 3). Entretanto, houve efeito da interação doses residuais de adubação fosfatada e inoculação para os demais acúmulos de nutrientes, teores de proteína e produtividade de matéria seca (MS).

Tabela 3. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, teor de proteína bruta (Prot.) e produtividade de matéria seca (MS) do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Prot	MS
	-----kg ha ⁻¹ -----										%	kg ha ⁻¹
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) (P)												
0	19	0,7	25	18	5	6	0,07	4	0,6	0,4	12	942
30	22	0,8	26	16	6	6	0,06	4	0,4	0,3	14	951
60	20	0,7	24	18	6	6	0,06	2	0,4	0,3	12	1143
120	20	0,8	28	23	6	6	0,06	3	0,4	0,3	12	1072
240	27	1,6	27	24	8	8	0,06	4	0,7	0,3	16	1424
Inoculação (I)												
Sem	23	1,1	39	19	7	7	0,06	4	0,5	0,3	14	1030
Com	19	0,7	25	20	6	6	0,07	3	0,5	0,3	12	1183
Teste t - P	0,34 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,01 [*]
Teste t - I	0,11 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Teste t - PxI	0,016 [*]	0,05 [*]	0,06 ^{ns}	0,03 [*]	0,015 [*]	0,22 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,02 [*]	0,11 ^{ns}	0,016 [*]	0,0001 ^{**}
DMS	5,8	0,6	4,2	6,2	2,7	2,2	0,03	1,3	0,03	0,1	4,3	585,0
CV%	27,0	36,0	32,6	31,8	27,9	32,8	33,6	37,1	24,7	27,9	27,0	25,7

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, para tratamentos distintos, diferem entre si pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste t (LSD), respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: CV: coeficiente de variação. MS: matéria seca; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; Prot: proteína.

No desdobramento para acúmulos de N, P, Ca, Mg e Mn (Tabela 4), teores de proteína bruta e produtividade de matéria seca (Tabela 5) de parte aérea do nabo forrageiro, não houve ajustes significativos de regressão para doses de P_2O_5 , entretanto, a combinação de áreas não inoculadas com *A. brasilense* e a dose residual máxima de 240 kg ha^{-1} de P_2O_5 , proporcionaram a maior produção de matéria seca, determinando maiores acúmulo de nutrientes. A maior acumulação de nutrientes observada nas áreas não inoculadas pode estar relacionada ao menor desenvolvimento da aveia-preta, resultando em menor competição intraespecífica no consórcio e, conseqüentemente, favorecendo o crescimento do nabo forrageiro. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que, na ausência da inoculação com *Azospirillum brasilense*, a aveia apresentou menor vigor, permitindo que o nabo forrageiro explorasse de forma mais eficiente os recursos do ambiente. Além disso, deve-se considerar as características morfofisiológicas do nabo, uma dicotiledônea com raiz pivotante e crescimento secundário, o que favorece tanto a exploração de camadas mais profundas do solo quanto a acumulação de tecidos de reserva. Essa estrutura radicular mais robusta, aliada à maior disponibilidade de fósforo nos tratamentos com 240 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabelas 1 e 2), foi determinante para o desempenho superior do nabo. O fósforo, elemento essencial para o desenvolvimento de raízes e processos de armazenamento energético, teve papel central nesse contexto, permitindo que a espécie expressasse seu potencial fisiológico de crescimento em espessura e acúmulo nutricional.

Tabela 4. Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para o acúmulo de nutrientes na parte aérea do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

Acúmulo de N do nabo forrageira (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Com	Sem
	kg ha^{-1}	
0	17	21
30	17	28
60	25	15
120	23	16
240	15 B	38 A
Acúmulo de P do nabo forrageira (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Com	Sem
	kg ha^{-1}	
0	0,7	0,8
30	0,6	0,9
60	0,8	0,6
120	1,0	0,4
240	0,5 B	2,8 A
Acúmulo de Ca do nabo forrageira (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha^{-1})	Com	Sem
	kg ha^{-1}	

0	20	16
30	12	20
60	23	13
120	20	14
240	16 B	31 A
Acúmulo de Mg do nabo forrageira (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	5	6
30	4	7
60	8	4
120	6	5
240	5 B	11 A
Acúmulo de Mn do nabo forrageira (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,9	0,4
30	0,2	0,5
60	0,5	0,6
120	0,6	0,3
240	0,3 B	1,2 A

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

O P é um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Wang *et al.*, 2021). Ele participa diretamente da formação de moléculas fundamentais à vida, como DNA, RNA e fosfolipídios das membranas celulares, além de atuar em intermediários açúcar-fosfato envolvidos em vias metabólicas cruciais, como a glicólise, a respiração e a fotossíntese. A presença adequada de P no solo favorece a absorção de nutrientes pelas plantas e contribui para a melhoria da eficiência fotossintética, uma vez que é indispensável à transferência de energia e à síntese de compostos relacionados ao crescimento vegetal (Meng *et al.*, 2021). Observa-se que, em doses mais elevadas, o P promoveu não apenas maior produtividade, mas também uma interação sinérgica com outros nutrientes, potencializando o desempenho fisiológico e nutricional das plantas. No contexto deste experimento, esse efeito foi particularmente evidente nas parcelas que receberam 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅, nas quais se constatou, por meio da análise de solo, maior disponibilidade de P assimilável no perfil. Essa maior oferta de P no sistema radicular das plantas favoreceu, sobretudo, o desenvolvimento do nabo forrageiro, cuja morfologia e fisiologia, incluindo crescimento secundário e acúmulo de reservas, demandam maior aporte desse nutriente. A construção de um perfil de solo mais fértil ao longo do tempo, proporcionada pela adubação fosfatada residual, também contribuiu para a melhoria das condições edáficas, reforçando a capacidade do nabo de explorar camadas mais profundas do solo e expressar seu potencial produtivo.

A maior concentração de nutrientes nas áreas não inoculadas pode estar associada ao menor desenvolvimento da aveia-preta (Tabelas 9 e 11), decorrente da ausência de inoculação. Esse crescimento limitado reduz a competição intraespecífica no consórcio, especialmente por luz, água e nutrientes, favorecendo o maior desenvolvimento do nabo forrageiro. Com maior disponibilidade de recursos, o nabo tende a acumular mais biomassa e concentrar uma quantidade superior de nutrientes por unidade de massa vegetal. Resultados semelhantes foram observados por (Sui *et al.*, 2025), que constataram que o menor vigor de uma das espécies consorciadas, no caso a leguminosa, resultou em menor competição no sistema, favorecendo o crescimento da outra cultura e influenciando a dinâmica de absorção de nutrientes no solo.

Tabela 5. Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para o teor de proteína bruta e produtividade de matéria seca parte aérea do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*.
Selvíria/MS, 2024.

Teor de proteína do nabo forrageiro (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	%	
0	10	13
30	10	17
60	15	10
120	14	10
240	10 B	24 A
Produtividade de matéria seca do nabo forrageiro (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	860	993
30	804	1287
60	873	769
120	947	853
240	813 B	2129 A

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Esse resultado de maior crescimento e produção do nabo forrageiro em áreas não inoculadas, em detrimento da menor produção de matéria seca da aveia preta, pode ser interpretado por competição por fatores de produção como à luz, dentro do manejo do consórcio, como discutido por (Simioni *et al.*, 2014) onde destacam a necessidade de reduzir a dominância de uma planta para favorecer o desenvolvimento do consórcio. A menor competição observada nas áreas não inoculadas com aveia-preta, possivelmente menos vigorosa, permitiu maior aproveitamento dos recursos pelo nabo, refletindo diretamente em seu desempenho produtivo. Assim, reforça-se que o sucesso do consórcio depende do equilíbrio entre as espécies envolvidas, do manejo adequado e da compreensão das interações entre elas, para que não ocorra a supressão de uma cultura em detrimento da outra, o que comprometeria os benefícios

pretendidos com a consorciação. No presente estudo, é importante destacar que a aveia-preta, uma monocotiledônea, apresenta exigências nutricionais e padrão de crescimento distintos do nabo forrageiro, uma dicotiledônea com crescimento secundário e maior capacidade de exploração do solo. Essas diferenças morfofisiológicas influenciam diretamente a dinâmica competitiva no consórcio e devem ser consideradas no planejamento e na interpretação dos resultados.

Na Tabela 6, observa-se que houve diferenças significativas para o acúmulo de K e Mg, com efeito positivo nas áreas inoculadas para Mg, enquanto para K, o destaque foi nas áreas sem inoculação, demonstrando o efeito de competição destes nutrientes pelos sítios de absorção. Segundo (Meharg 2012), a absorção de cátions como K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} pode ser influenciada por interações competitivas nas membranas das células radiculares, uma vez que compartilham mecanismos de transporte similares. Além disso, a presença de microrganismos promotores de crescimento, como *Azospirillum brasilense*, pode alterar o padrão de absorção de nutrientes, favorecendo determinados íons em detrimento de outros, como discutido por (Hungria *et al.*, 2010). Isso sugere que a inoculação pode ter contribuído para maior eficiência na absorção de Mg, ao passo que a ausência dela permitiu maior acúmulo de K, refletindo um possível deslocamento competitivo entre os nutrientes

Tabela 6. Acúmulo de nutrientes radicular no nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Prot	MS
	-----kg ha ⁻¹ -----										%	kg ha ⁻¹
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) (P)												
0	1	0,03	1,6	0,4	0,2	0,4	0,02	2,7	0,07	0,02	0,7	109,1
30	1	0,02	1,2	0,4	0,1	0,3	0,01	2,1	0,04	0,01	0,7	95,4
60	1	0,03	1,3	0,4	0,1	0,3	0,01	2,3	0,04	0,01	0,7	100,1
120	1	0,06	1,6	0,5	0,2	0,5	0,03	3,3	0,14	0,02	0,6	125,2
240	1	0,04	2,0	0,5	0,2	0,3	0,01	3,0	0,06	0,01	0,6	123,9
Inoculação (I)												
Sem	1	0,03	1,8a	0,3b	0,1b	0,3	0,02	2,8	0,06	0,02	0,6	104,2
Com	1	0,04	1,3b	0,5a	0,2a	0,4	0,02	2,6	0,08	0,02	0,7	117,3
Teste t - P	0,81 ^{ns}	0,002 ^{**}	0,10 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,000 ^{**}	0,004 [*]	0,000 ^{**}	0,001 ^{**}	0,81 ^{ns}	0,03 [*]
Teste t - I	0,50 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,032 [*]	0,012 [*]	0,02 [*]	0,15 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Teste t - PxI	0,28 ^{ns}	0,002 ^{**}	0,06 ^{ns}	0,03 [*]	0,06 ^{ns}	0,04 [*]	0,006 [*]	0,003 [*]	0,012 [*]	0,03 [*]	0,28 ^{ns}	0,003 ^{**}
DMS	0,6	0,03	0,9	0,3	0,1	0,09	0,008	0,4	0,02	0,003	0,1	15,2
CV%	26,8	29,1	27,5	28,8	22,6	25,7	34,2	13,0	30,4	21,3	26,8	19,8

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, para tratamentos distintos, diferem entre si pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste t (LSD), respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: CV: coeficiente de variação.

Para os demais nutrientes da parte radicular do nabo forrageiro, houve efeito da interação doses residuais de P₂O₅ x inoculação, mas com efeito diferencial (Tabela 7), onde foi positivo na inoculação para Ca e S combinados com a dose de 120 kg ha⁻¹ P₂O₅.

Tabela 7. Desdobramento das interações - Doses de P₂O₅ x inoculação, para o acúmulo de nutrientes nas raízes do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

Acúmulo de P do nabo forrageiro (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,03	0,03
30	0,03	0,02
60	0,03	0,02
120	0,05	0,04
240	0,02 B	0,05 A
Acúmulo de Ca do nabo forrageiro (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,7 A	0,2 B
30	0,4	0,3
60	0,4	0,4
120	0,7 A	0,3 B
240	0,4	0,5
Acúmulo de S do nabo forrageiro (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,4	0,4
30	0,3	0,2
60	0,3	0,2
120	0,8 A	0,5 B
240	0,2	0,4
Acúmulo de Cu do nabo forrageiro (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,02	0,02
30	0,01	0,01
60	0,01	0,01
120	0,02	0,02
240	0,01 B	0,02 A
Acúmulo de Fe do nabo forrageiro (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	3	3
30	2	2
60	3	2
120	3	3

240	2 B	4 A
Acúmulo de Mn do nabo forrageiro (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,07	0,07
30	0,05	0,03
60	0,05	0,03
120	0,04	0,06
240	0,05 B	0,08 A
Acúmulo de Zn do nabo forrageiro (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,01 B	0,02 A
30	0,01	0,01
60	0,01	0,01
120	0,03	0,02
240	0,01 B	0,02 A

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Enquanto os acúmulos de P, Cu, Fe, Mn e Zn, assim como na parte aérea, os maiores valores, em função da maior produtividade de matéria seca radicular (Tabela 8) foram nas áreas não inoculadas, combinadas com a maior dose residual de P₂O₅ (240 kg ha⁻¹).

Tabela 8. Desdobramento das interações - Doses de P₂O₅ x inoculação, para a produtividade de matéria seca de raízes do nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

Produtividade de matéria seca do nabo forrageira (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	105	110
30	80	94
60	110	85
120	120	120
240	100 B	157 A

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Observou-se que a interação entre as doses residuais de P₂O₅ e a inoculação influenciou significativamente o acúmulo de nutrientes na parte radicular do nabo forrageiro, bem como a produtividade de MS. Esses resultados corroboram a literatura, que destaca a importância da adubação fosfatada e da inoculação das gramíneas para o aumento da absorção de nutrientes e o desenvolvimento das culturas, conforme relatado por (Ribeiro., 2024). Contudo, neste trabalho, a aveia-preta inoculada com *Azospirillum brasilense* apresentou maior vigor, o que resultou em maior competitividade sobre o nabo forrageiro, invertendo a relação de domínio esperada entre as espécies. A combinação dessas práticas pode favorecer o crescimento do

sistema radicular e a eficiência na absorção de nutrientes, resultados semelhantes aos observados por (Rocha., 2016) em estudos com nabo forrageiro.

O uso de P em gramíneas e leguminosas tem demonstrado efeitos positivos, aumentando significativamente a concentração de nutrientes como N, Ca e Mg em diversas espécies. Além disso, estudos sobre a inoculação de espécies forrageiras indicam impactos positivos na produção de biomassa aérea e radicular. (Martins., 2024) constatou que a pré-inoculação de leguminosas e gramíneas pode contribuir para o aumento da produtividade dessas culturas. Essas evidências reforçam a relevância de estratégias de manejo que considerem a interação entre a adubação fosfatada e a inoculação, com o objetivo de otimizar o crescimento e a produtividade das culturas forrageiras.

Isso reforçando a ideia de que a dose adequada de P_2O_5 no solo favorece a absorção de nutrientes pelas plantas e contribui para a melhor eficiência de absorção (Meng *et al.*, 2021). Confirmando efeitos positivos da inoculação de espécies forrageiras na produção de biomassa aérea e radicular, como no trabalho de Martins (2024), em que a adubação fosfatada em pré-inoculação de leguminosas e gramíneas pode contribuir para o aumento da produtividade dessas culturas, resultando em menor competição entre as plantas.

Quanto ao acúmulo de nutrientes da parte aérea da aveia preta (Tabela 9), é possível observar que quanto ao residual da adubação fosfatada, houve ajustes significativos para acúmulos de Cu (Figura 2) e Fe (Figura 3). Também houve efeito positivo da inoculação da aveia preta para acúmulo de Mn (Tabela 9), e efeito da interação doses residuais de P_2O_5 x inoculação para acúmulos de N, P e Zn, bem como para os teores de proteína bruta e produtividade de matéria seca da parte aérea, entretanto, sem ajustes significativos de regressão para doses residuais de P_2O_5 .

Tabela 9. Acúmulo de nutrientes na parte aérea da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

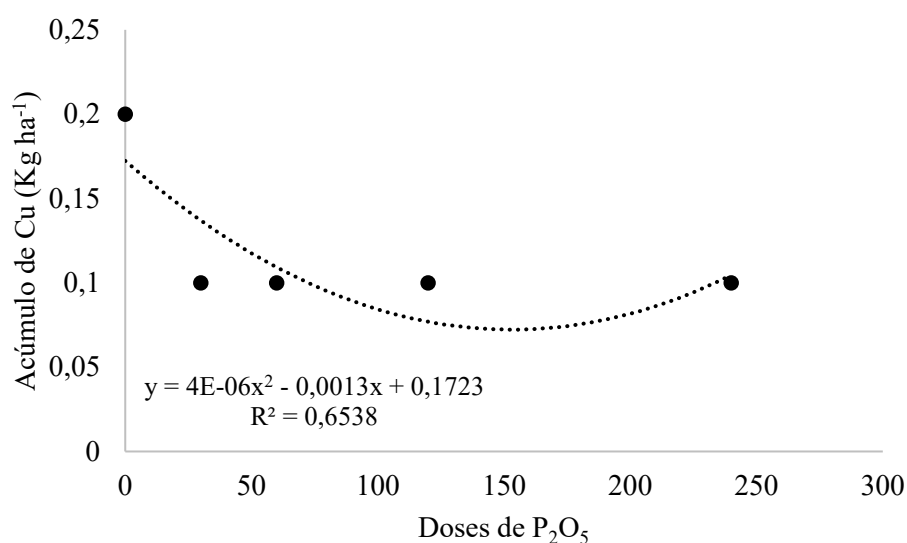
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Prot	MS
	-----kg ha ⁻¹ -----										%	kg ha ⁻¹
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) (P)												
0	34	2,3	40	7	3	4	0,2	8	4	0,5	20	1935
30	21	1,6	27	5	2	3	0,1	8	3	0,3	13	1118
60	25	1,6	28	6	2	3	0,1	9	3	0,4	15	1442
120	26	2,1	26	6	2	4	0,1	6	3	0,4	16	1444
240	23	1,6	20	5	2	3	0,1	4	2	0,3	14	1066
Inoculação (I)												
Sem	24	1,7b	27	6	2	3	0,1	6	2b	0,4	15	1275,6b

Com	27	2,0a	30	5	2	4	0,1	6	3a	0,4	17	1524,8a
Teste t - P	0,08 ^{ns}	0,005 ^{**}	0,09 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,01 [*]	0,01 [*]	0,07 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,08 ^{ns}	0,0001 ^{**}
Teste t - I	0,29 ^{ns}	0,013 [*]	0,47 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,01 [*]	0,42 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,007 ^{**}
Teste t - P x I	0,006 ^{**}	0,02 [*]	0,81 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,01 [*]	0,006 [*]	0,0001 ^{**}
DMS	5,9	0,3	19,0	1,7	0,8	0,7	0,03	2,0	0,8	0,1	3,7	194
CV%	22,9	15,2	31,7	30,6	33,6	18,3	22,5	32,8	25,3	17	22,9	19,5

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, para tratamentos distintos, diferem entre si pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste t (LSD), respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: CV: coeficiente de variação.

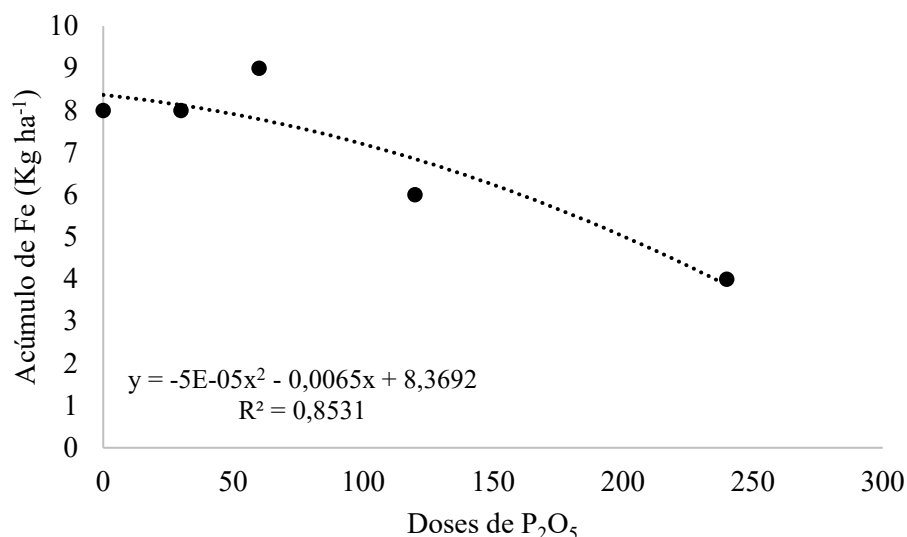
Na Figura 4 é apresentado a análise de regressão para o Cu, onde observa-se um comportamento de linha de tendência polinomial quadrático negativo com ponto de mínimo de 148 kg ha⁻¹ de P₂O₅, representando um maior acúmulo na área sem adubação fosfatada (dose 0 kg ha⁻¹) e nas demais áreas adubadas houve uma estabilização do acúmulo desse nutriente na parte aérea da aveia preta.

Figura 4. Análise de regressão para o residual das doses de P₂O₅ para acúmulo de Cobre (Cu).



Na Figura 5, embora com ajuste quadrático, observa-se a mesma tendência de menor acúmulo, com incremento da dose residual de P₂O₅.

Figura 5. Análise de regressão para o residual das doses de P₂O₅ para acúmulo de Ferro (Fe).



Na tabela 10 constam os desdobramentos para acúmulos de N, P e Zn, mantendo um padrão de maiores acúmulos dos nutrientes nas áreas com inoculação e nas áreas de residuais das maiores doses de fósforo (240 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Esse comportamento, provavelmente é devido a inoculação da aveia preta, que proporcionou maior desenvolvimento radicular e por consequência maior absorção desses nutrientes.

Tabela 10. Desdobramento das interações - Doses de P₂O₅ x inoculação, para o acúmulo de nutrientes na parte aérea da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

Acúmulo de N da aveia preta (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	35	33
30	18	24
60	32 A	17 B
120	30	21
240	35 A	11 B

Acúmulo de P da aveia preta (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	3	2
30	1	1
60	1	1

120	3 A	1 B
240	2 A	1 B
Acúmulo de Zn da aveia preta (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,4	0,4
30	0,3	0,3
60	0,4	0,4
120	0,5 A	0,3 B
240	0,4 A	0,2 B

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

A inoculação com *Azospirillum* tem se mostrado uma estratégia eficaz para potencializar o desenvolvimento das plantas, especialmente em condições de baixa disponibilidade de P no solo. Esse microrganismo coloniza preferencialmente a zona de elongação das raízes e os pelos radiculares, onde exerce sua ação promotora de crescimento vegetal por meio de mecanismos diretos e indiretos. Entre os mecanismos diretos, destacam-se a FBN, a solubilização de fosfatos insolúveis e a aceleração do processo de mineralização de nutrientes orgânicos presentes no solo (Sun *et al.*, 2022). Esses processos contribuem não apenas para a nutrição vegetal, mas também para o aumento do crescimento radicular e da parte aérea que com maior crescimento, resultou em ganho na competição com o nabo forrageiro em consórcio (Tabelas 3 e 5) (Cruz-Hernández *et al.*, 2022).

O maior desenvolvimento do sistema radicular, estimulado principalmente pelos hormônios produzidos por *Azospirillum*, resulta em uma maior exploração do volume de solo pelas raízes. Isso proporciona às plantas uma capacidade ampliada de absorver água e nutrientes, inclusive os oriundos de adubações residuais, como o P (Sun *et al.*, 2022). Dessa forma, a inoculação com contribui para a melhor utilização dos fertilizantes previamente aplicados, permitindo a redução da adubação complementar. Essa prática não apenas reduz os custos de produção, como também minimiza os impactos ambientais associados à lixiviação e às perdas de nutrientes, promovendo uma agricultura mais sustentável e eficiente (Souza *et al.*, 2025).

Na Tabela 11, constam os desdobramentos para os teores de proteína e produtividade de matéria seca da parte aérea da aveia preta. Mantendo também um padrão de maiores teores de proteína e produtividade de matéria seca nas áreas com inoculação e nas áreas de residuais das maiores doses de P. A possível explicação desse comportamento, também é devido a inoculação da aveia preta, que proporcionou maior desenvolvimento radicular e por consequência melhor desenvolvimento da cultura.

A presença do inoculante biológico potencializou o aproveitamento dos nutrientes, especialmente nas maiores doses de P_2O_5 , o que pode ser atribuído à ação direta do *A. brasilense* na FBN, produção de fitohormônios (auxinas, citocininas), solubilização de fosfatos e aumento da área de exploração radicular (Zhang et al., 2022). Esses mecanismos resultam em maior absorção de nutrientes, promovendo o crescimento da planta mesmo em condições de menor disponibilidade de fertilizantes (Piovesan, 2017),

Esse resultado é reforçado por (Benedicto, 2022), que observou acréscimos significativos na produtividade de matéria seca de aveia preta com inoculação, mesmo sob efeito residual do P, indicando que a inoculação pode compensar, ao menos parcialmente, a adubação fosfatada. Portanto, a integração entre práticas biológicas e manejo racional da adubação é uma alternativa viável e eficiente para otimizar a produtividade de culturas como a aveia preta em sistemas de cultivo conservacionistas.

Tabela 11. Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para os teores de proteína bruta e a produtividade de matéria seca de parte aérea da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*.
Selvíria/MS, 2024.

Teores de proteína da aveia preta (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	%	
0	22	21
30	11	15
60	20 A	11 B
120	19	13
240	22 A	7 B
Produtividade de matéria seca da aveia preta (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	2050	1799
30	1082	1152
60	1290	1519
120	1713 A	1036 B
240	1632 A	521 B

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Na Tabela 12 constam as médias para acúmulos de nutrientes na parte radicular da aveia preta, onde observa-se diferenças significativas das interações doses de P_2O_5 x inoculação para todos os nutrientes avaliados, com exceção ao Mg e Zn. Esses resultados de maiores acúmulos, inclusive de proteína, seguem o mesmo padrão da parte aérea, onde a maior produtividade de matéria seca das raízes da aveia preta elevam também o acúmulo nutricional.

Para os desdobramentos dos acúmulos de nutrientes da parte radicular da aveia preta (Tabela 13), o mesmo padrão é observado, com maiores valores nas áreas com inoculação e nas áreas de residuais das maiores doses de P. Com exceção do K, onde o maior acúmulo ocorreu no residual da dose de 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na área sem inoculação e para o Ca, que apresentou o maior acúmulo na área sem adubação fosfatada (0 kg ha⁻¹ de P₂O₅), porém na área com inoculação. A possível explicação desse comportamento, também é devido a inoculação da aveia preta, que proporcionou maior desenvolvimento radicular e por consequência, maior absorção dos nutrientes. A condução em SPD favorece a conservação do solo, o aumento da matéria orgânica e a melhoria da estrutura física, promovendo maior eficiência no uso de insumos ao longo do tempo. Em solos já manejados por anos sob SPD, a adoção de boas práticas de correção e preparo BPCP, como o manejo adequado da fertilidade e da acidez do solo, potencializa o aproveitamento de nutrientes residuais, como o P, podendo reduzir a necessidade de adubação fosfatada complementar e, consequentemente, os custos de produção (Torres *et al.*, 2025).

Tabela 12. Acúmulo de nutrientes radiculares na aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Prot	MS
	-----kg ha ⁻¹ -----										%	kg ha ⁻¹
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) (P)												
0	2	0,3	2	1	0,4	3	0,3	10	1,1	0,2	1,4	348,7
30	2	0,3	2	1	0,4	2	0,2	7	0,7	0,1	1,0	252,1
60	2	0,3	1	1	0,4	3	0,3	9	0,9	0,1	1,5	305,2
120	2	0,3	2	1	0,4	3	0,3	8	0,9	0,1	1,1	291,0
240	1	0,2	1	1	0,2	2	0,2	6	0,7	0,1	1,0	217,2
Inoculação (I)												
Sem	2a	0,3	2	1	0,4	2	0,2	7	0,7	0,1	1,4	259,0
Com	1b	0,3	2	1	0,3	3	0,3	9	1,0	0,1	0,8	306,7
Teste t - P	0,08 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,0001 ^{**}	0,01 [*]	0,18 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,01 [*]	0,11 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,001 ^{**}
Teste t - I	0,007 ^{**}	0,32 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,006 [*]	0,002 [*]	0,06 ^{ns}	0,009 [*]	0,69 ^{ns}	0,007 [*]	0,01 [*]
Teste t - PxI	0,005 ^{**}	0,01 [*]	0,0001 ^{**}	0,01 [*]	0,09 ^{ns}	0,003 [*]	0,001 [*]	0,005 [*]	0,003 [*]	0,11 ^{ns}	0,005 [*]	0,0001 ^{**}
DMS	0,6	0,1	0,5	0,3	0,1	0,7	0,05	1,8	0,2	0,05	0,4	62,0
CV%	34,2	28,7	25,3	34,8	29,1	23,9	18,9	22	23,1	36,2	34,2	21,4

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, para tratamentos distintos, diferem entre si pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ^{**} e ^{*}: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste t (LSD), respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: CV: coeficiente de variação.

Tabela 13. Desdobramento das interações - Doses de P₂O₅ x inoculação, para o acúmulo de nutrientes da parte radicular da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

Acúmulo de N da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	2	3
30	1	2
60	3 A	1 B
120	1	2
240	2 A	0,4 B
Acúmulo de P da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,4	0,3
30	0,2	0,4
60	0,2	0,3
120	0,4	0,3
240	0,4 A	0,1 B
Acúmulo de K da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	2	1
30	1 B	4 A
60	1	2
120	2	2
240	1	1
Acúmulo de Ca da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	2,1 A	0,8 B
30	1,1	0,4
60	0,8	0,8
120	1,2	1,4
240	0,8	0,2
Acúmulo de S da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	4	3
30	2	2
60	2	2
120	4 A	2 B
240	4 A	1 B
Acúmulo de Cu da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	0,4	0,3
30	0,3	0,2
60	0,2	0,3
120	0,4 A	0,2 B
240	0,4 A	0,1 B
Acúmulo de Fe da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	10	9
30	7	8
60	8	10
120	10 A	6 B
240	10 A	3 B
Acúmulo de Mn da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	1,2	1,0
30	0,7	0,5
60	0,7	0,6
120	1,1 A	0,6 B
240	1,2 A	0,3 B

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Na tabela 14, constam os desdobramentos para os teores de proteína e para a produtividade de matéria seca da parte radicular da aveia preta, e observa-se também o mesmo padrão com maiores valores nas áreas inoculadas e com os residuais das maiores doses de P. Isso ocorre, pelo provável efeito promotor de crescimento proporcionado pela inoculação, resultando em maior desenvolvimento radicular e por consequência maior absorção de nutrientes (Sun *et al.*, 2022).

Tabela 14. Desdobramento das interações - Doses de P₂O₅ x inoculação, para os teores de proteína e a produtividade de matéria seca de parte radicular da aveia preta por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*.
Selvíria/MS, 2024.

Teores de proteína da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	%	
0	1	1
30	1	1
60	2	2
120	1	1
240	1 A	0,3 B
Produtividade de matéria seca da aveia preta (parte radicular)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	370	315
30	252	270

60	397 A	228 B
120	350	214
240	353 A	78 B

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

A análise do acúmulo de nutrientes na parte radicular da aveia preta evidência que, tanto o residual das doses de P_2O_5 quanto a inoculação com *Azospirillum* influenciaram significativamente a absorção de elementos essenciais, como K, Ca, Cu, N, S e Mn. O maior acúmulo desses nutrientes em tratamentos com inoculação e doses elevadas de fósforo indica que a bactéria promove um desenvolvimento radicular mais eficiente, favorecendo a exploração do solo e a absorção mineral (Bashan *et al.*, 2004). A disponibilidade residual de P, somada à ação da microbiota benéfica, potencializa a nutrição das plantas, fundamental para seu crescimento e metabolismo.

Além disso, o aumento nos teores de proteína e produtividade de matéria seca nas raízes, observado nas áreas inoculadas, reforça o papel do *Azospirillum* como promotor do crescimento vegetal por meio da produção de fitohormônios e melhoria da absorção de nutrientes (Araújo *et al.*, 2014). A interação entre P residual e inoculação cria um ambiente favorável para o aumento da biomassa radicular, o que contribui para maior eficiência no uso de fertilizantes e, conseqüentemente, melhor desempenho produtivo. Este efeito é especialmente importante para sistemas agrícolas que buscam sustentabilidade e redução dos insumos agrícolas.

A variação observada para o acúmulo de alguns nutrientes, como K e Ca, em doses mais baixas ou sem aplicação de fósforo pode estar associada à dinâmica de disponibilização desses nutrientes no solo e à capacidade das raízes em absorvê-los em função da inoculação (Meharg, 2011). Portanto, o desenvolvimento radicular estimulado pelo *Azospirillum* potencializa o aproveitamento do banco residual de nutrientes, possibilitando uma resposta produtiva mesmo em condições de menor adubação fosfatada. Essa característica é valiosa para a agricultura de baixo impacto ambiental, que busca manter a produtividade aliada à conservação do solo e da qualidade ambiental.

Em suma, os resultados confirmam que a inoculação com *Azospirillum* associada ao manejo adequado do fósforo residual pode representar uma estratégia eficiente para melhorar a nutrição mineral, o crescimento e a produtividade da aveia preta mesmo em consórcio com nabo forrageiro. Essa combinação permite maior exploração do solo pelas raízes, promovendo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas por meio da redução da dependência de fertilizantes minerais e do estímulo à microbiota benéfica do solo (Bashan *et al.*, 2004)

Na tabela 15 constam os acúmulos de nutrientes da parte aérea do consórcio, e neste caso, observa-se diferenças significativas quanto ao residual das doses de P para o Ca (Figura

4), e das interações de doses de P_2O_5 x inoculação para acúmulos de P, Mg e Fe, bem como para a produtividade de matéria seca, entretanto, em todos sem ajustes significativos de regressão.

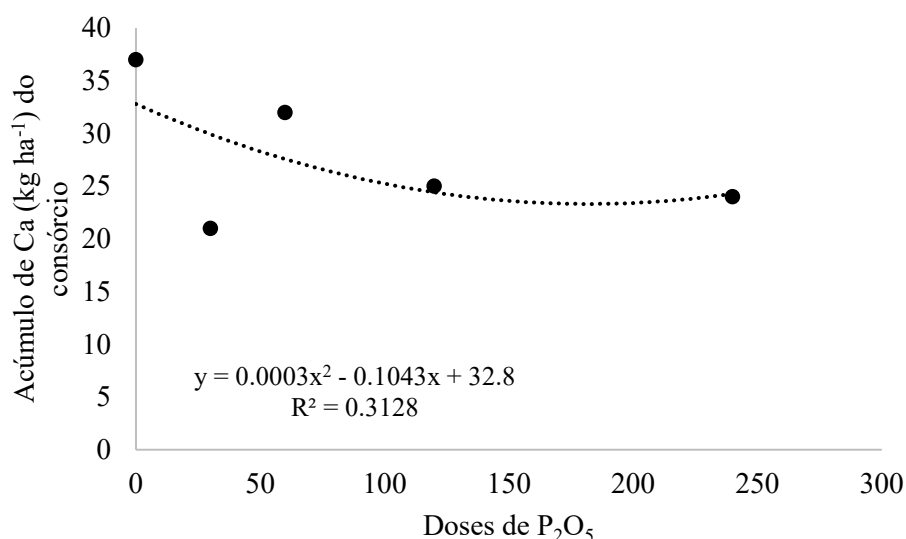
Tabela 15. Acúmulo de nutrientes na parte aérea do consórcio (aveia preta + nabo forrageiro) por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Prot	MS
	-----kg ha ⁻¹ -----										%	kg ha ⁻¹
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) (P)												
0	53,4	3,0	67,1	37,6	10,4	12,2	0,1	1,1	0,5	0,5	33,4	2439
30	38,3	2,2	50,0	21,0	8,3	9,5	0,1	0,6	0,3	0,3	23,9	2034
60	47,9	2,6	59,0	32,1	9,3	12,0	0,1	0,9	0,4	0,4	29,9	2292
120	46,8	2,6	57,4	24,7	9,2	10,8	0,1	0,9	0,4	0,4	29,2	2256
240	46,2	2,4	53,0	24,3	9,4	10,9	0,1	0,7	0,4	0,3	28,8	2245
Inoculação (I)												
Sem	45,8	2,5	56,2	27,8	9,1	10,9	0,1	0,9	0,4	0,4	28,6	2229
Com	47,8	2,6	58,3	28	9,5	11,3	0,1	0,8	0,4	0,4	29,5	2277
Teste t - P	0,41 ^{ns}	0,02 [*]	0,15 ^{ns}	0,03 [*]	0,02 [*]	0,14 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,04 [*]	0,08 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,0001 ^{**}
Teste t - I	0,77 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,0001 ^{**}
Teste t - PxI	0,45 ^{ns}	0,02 [*]	0,20 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,003 ^{**}	0,11 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,03 [*]	0,06 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,0001 ^{**}
DMS	11,2	0,7	17,9	14,2	2,0	4,8	0,03	0,4	0,2	0,05	7,0	2,6
CV%	22,3	10,6	15,8	24,5	7,5	13,3	18,3	21,4	21,8	23,5	22,3	10,2

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, para tratamentos distintos, diferem entre si pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade. ** e *: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo Teste t (LSD), respectivamente. ^{ns} não significativo. Em que: CV: coeficiente de variação.

Na Figura 6, observa-se que a regressão para o acúmulo de Ca, teve comportamento de linha de tendência polinomial de ordem 2 (quadrático), representando um maior acúmulo na área sem adubação fosfatada (dose 0 kg ha⁻¹), diminuindo para as doses maiores, sugerindo que a alta concentração de P no solo, diminui o acúmulo de Ca pelo consórcio pelo provável efeito de complexação do par iônico Ca^{2+} com $H_2PO_4^-$.

Figura 6. Análise de regressão para o residual das doses de P_2O_5 para o acúmulo de cálcio (Ca).



No desdobramento para o acúmulo de nutrientes da parte aérea do consórcio aveia preta e nabo forrageiro (Tabela 16), observa-se interação para os acúmulos de P, Mg e Fe, assim como para a produtividade de matéria seca da parte aérea do consórcio. Para o acúmulo de nutrientes, os padrões observados nas análises anteriores, com a interação ocorrendo apenas nos residuais das maiores doses de fósforo, com os maiores valores nas áreas inoculadas com *Azospirillum brasilense*.

Tabela 16. Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para o acúmulo de nutrientes da parte aérea do consórcio aveia preta e nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*. Selvíria/MS, 2024.

Acúmulo de P do consórcio (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	11	10
30	10	10
60	9	9
120	15 A	8 B
240	13 A	9 B

Acúmulo de Mg do consórcio (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Com	Sem

kg ha ⁻¹		
0	35	34
30	28	29
60	31	29
120	35 A	26 B
240	29	29
Acúmulo de Fe do consórcio (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
kg ha ⁻¹		
0	21	22
30	13 B	15 A
60	20 A	18 B
120	22 A	15 B
240	17	17

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Quanto a produtividade de matéria seca da parte aérea do consórcio (Tabela 17), observa-se no desdobramento dentro de todos os residuais das doses de P, maiores produtividades nas áreas inoculadas.

Os resultados indicam que o acúmulo de nutrientes na parte aérea do consórcio aveia preta e nabo forrageiro foi significativamente influenciado pelo residual das doses de P para os nutrientes P, Ca, Mg e Fe, além da produtividade de matéria seca, que apresentou aumento significativo na área inoculada (Tabela 15). A inoculação mostrou-se eficiente em promover maior produtividade, reforçando a importância da microbiota do solo na melhoria do desempenho produtivo das plantas (Vessey, 2003; Bashan *et al.*, 2014). A interação entre doses residuais de P e inoculação resultou em maiores acúmulos de P, Mg e Fe nas áreas inoculadas com maiores doses residuais de P (Tabela 16), corroborando o papel das bactérias promotoras de crescimento na otimização da absorção de nutrientes (Richardson *et al.*, 2009; SHEN *et al.*, 2013).

A produtividade de matéria seca da parte aérea do consórcio também foi significativamente maior nas áreas inoculadas em todas as doses residuais de P testadas (Tabela 17), evidenciando o efeito benéfico da inoculação para o aumento da eficiência nutricional e da produtividade da cultura (Bashan *et al.*, 2014; Vessey, 2003). Esses resultados reforçam a relevância do manejo integrado entre fertilização e inoculação microbiana para otimizar o crescimento vegetal e a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (Marschner, 2012).

Tabela 17. Desdobramento das interações - Doses de P_2O_5 x inoculação, para a produtividade de matéria seca da parte aérea do consórcio aveia preta e nabo forrageiro por efeito do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras por *A. brasilense*.
Selvíria/MS, 2024.

Produtividade de matéria seca do consórcio (parte aérea)		
TRATAMENTO	Inoculação	
Doses de P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Com	Sem
	kg ha ⁻¹	
0	2965 A	2835 B
30	2678 A	2153 B
60	3011 A	2967 B
120	3464 A	2393 B
240	2885 A	2776 B

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si, pelo Teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Os resultados apresentados nesse trabalho também demonstram que a condução em SPD por longa duração pode ser ideal para o desenvolvimento de práticas sustentáveis que otimizem a produção. Os resultados apresentados na dose controle (0 kg ha⁻¹ do adubo fosfatado), demonstram que ao longo dos anos o sistema tende a entrar em equilíbrio, devido o constante aporte de palhada, ciclagem de nutrientes e construção da fertilidade do solo. Tal fato é vital para que os produtores vejam esse sistema como indispensável para construção do ILP. Os resultados também demonstram que com o sistema consolidado, custos com fertilizantes podem ser diminuídos ao longo do processo. Em geral, o uso do consórcio entre o nabo forrageiro e a aveia preta, demonstra-se como uma alternativa para melhorar a dinâmica deste solo, onde solos recém implantados em SPD podem ter uma dinâmica de diferentes culturas na exploração do perfil, favorecendo a melhoria física. Torna-se indispensável a escolha de um bom mix de plantas de cobertura para manutenção/implantação do SPD, onde leve-se em consideração os caracteres de desenvolvimento e botânica das plantas.

5. CONCLUSÃO

O consórcio entre aveia preta e nabo forrageiro, cultivado sob, responde de forma significativa às doses residuais de e à inoculação da aveia com *Azospirillum brasilense*, especialmente no que se refere à produtividade de matéria seca e ao acúmulo de nutrientes nas partes aérea e radicular das culturas avaliadas. Nas maiores doses residuais de P (240 kg ha^{-1} de P_2O_5), houve maior acúmulo de macro e micronutrientes no nabo forrageiro, especialmente nas áreas sem inoculação, devido ao hábito de crescimento do nabo que proporcionou maior desenvolvimento e teve uma menor competição com a aveia preta e a fertilidade geral nessa área. Por outro lado, com a inoculação com *Azospirillum* houve maior desenvolvimento da aveia preta em relação ao nabo forrageiro, proporcionando aumentos significativos na produtividade de matéria seca, no teor de proteína bruta e acúmulo de nutrientes. Para esse trabalho os resultados da dose de 0 kg ha^{-1} de P_2O na produção total do consórcio evidenciam que conduzir o solo em SPD por longa duração tende a favorecer a fertilidade do solo, o que indica que as forrageiras poderão se desenvolver adequadamente e produzir bom volume de material vegetal para os animais. Isso comprova que os preceitos do SPD e da integração lavoura-pecuária são essenciais para produção de qualidade e eficiência nutritiva que pode gerar maior volume de carcaça animal. A integração entre manejo conservacionista, adubação fosfatada racional e uso de inoculantes biológicos representa uma estratégia eficiente para a melhoria da qualidade do solo, aumento da produtividade de forragem e maior eficiência na ciclagem de nutrientes, contribuindo para a sustentabilidade da produção agropecuária em regiões de pastagens degradadas ou em recuperação, sendo assim, esse consórcio pode vir a ser uma alternativa eficaz para melhoria desses solos.

6. REFERÊNCIAS

ABIEC (Brasil). **Beef Report 2024 | Perfil da Pecuária no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>. Acesso em: 21 jun. 2025.

AMARAL, André Julio do; DENARDIN, José Eloir; GIONGO, Vanderlise; SANTI, Anderson; DOSSA, Álvaro Augusto; HENNIGEN, Fabrício Jardim. Índice de Qualidade do Manejo Conservacionista do Solo (IQMCS) em Áreas Agrícolas. **Epagri**, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 35-45, abr. 2025. <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/1952/1858>.

ANDRADE, Alex Teixeira; TORRES, José Luiz Rodrigues; PAES, José Mauro Valente; TEIXEIRA, Cícero Monti; CONDÉ, Aurinelza Batista Teixeira. Desafios do Sistema Plantio Direto no Cerrado. **Researchgate**, S.I, v. 26, n. 1, p. 18-26, dez. 2018.

ANGELETTI, Maria da Penha; FONSECA, Aymbiré Angeletti da; GUARÇONI, André. PLANTAS DE COBERTURA PARA O MANEJO CONSERVACIONISTA DE HORTALIÇAS E GRÃOS NO ESPÍRITO SANTO. **Dspace**, Alegre-Es, v. 50, n. 30, p. 1-50, maio 2022. <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/4114>.

ARAËJO, Raul Matos; ARAËJO, Ademir Sérgio Ferreira de; NUNES, Luís Alfredo Pinheiro Leal; FIGUEIREDO, Marcia do Vale Barreto. Resposta do milho verde à inoculação com *Azospirillum brasilense* e níveis de nitrogênio. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 44, n. 9, p. 1556-1560, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130355>.

AZIZ, Sabir; YOUNIS, Adnan; JASKANI, Muhammad Jafar; AHMAD, Rashid. Effect of PGRs on Antioxidant Activity and Phytochemical in Delay Senescence of Lily Cut Flowers. **Agronomy**, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 1704, 3 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10111704>.

BACQ-LABREUIL, Aurelie; CRAWFORD, John; MOONEY, Sacha J.; NEAL, Andrew L.; RITZ, Karl. Cover crop species have contrasting influence upon soil structural genesis and microbial community phenotype. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 1-9, 16 maio 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-43937-6>.

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

BASHAN, Yoav; HOLGUIN, Gina; DE-BASHAN, Luz e. Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal Of Microbiology**, [S.L.], v. 50, n. 8, p. 521-577, 1 ago. 2004. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/w04-035>.

BENEDICTO, Luiz Antonio Othechar. **Efeito residual de doses de fósforo na produtividade de Avena strigosa com e sem inoculação de Azospirillum brasilense**. 2022. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Unesp-Feis, Ilha Solteira-Sp, 2022.

BERNARDI, Alberto C. de Campos; TADINI, Amanda M.; BIELUCZYK, Wanderlei; PEZZOPANE, José Ricardo Macedo. Manejo conservacionista da matéria orgânica do solo: sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. In: S.I. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropicais e subtropicais**. S.I: Embrapa, 2023. p. 549-600.

BRATTI, Felipe. **Nabo forrageiro (raphanus sativus l.) consorciado com aveia preta (avena strigosa) como estratégia de mitigação de emissões de óxido nítrico a partir de urina bovina**. 2021. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba PR, 2021.

CARNEIRO, Jefferson Santana da Silva; SANTOS, Antonio Carlos Martins dos; FIDELIS, Rodrigo Ribeiro; SILVA NETO, Sabino Pereira da; SANTOS, Antonio Clementino dos; SILVA, Rubens Ribeiro da. Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. **Revista de Ciências Agroambientais**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 11-21, dez. 2016.

CARVALHO, Thiago Bernardino de; ZEN, Sérgio de. A cadeia de Pecuária de Corte no Brasil: evolução e tendências. **Revista Ipecege**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 85-99, 16 fev. 2017. I-PECEGE. <http://dx.doi.org/10.22167/r.ipecege.2017.1.85>.

CASSÁN, Fabricio; CONIGLIO, Anahí; LÓPEZ, Gastón; MOLINA, Romina; NIEVAS, Sofia; CARLAN, Coline Le Noir de; DONADIO, Florencia; TORRES, Daniela; ROSAS, Susana; PEDROSA, Fabio Olivera. Everything you must know about Azospirillum and its impact on agriculture and beyond. **Biology And Fertility Of Soils**, [S.L.], v. 56, n. 4, p. 461-479, maio 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>.

COCITO, Daniel Consoni; SILVA, Eduardo de Lima; CARMANEIRO, Fernando Cesar; JASKI, Jonas Marcelo. A IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM PASTAGENS TROPICAIS COMO ALTERNATIVA NO MANEJO E SEUS MODELOS DE APLICAÇÕES. **Zenodo**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-24, 24 fev. 2025. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.14914893>

CORDELL, Dana; WHITE, Stuart. Peak Phosphorus: clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security. **Sustainability**, [S.L.], v. 3, n. 10, p. 2027-2049, 24 out. 2011. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su3102027>.

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa; COTTICA, Roberto Luiz; LIMA, Eduardo do Valle; ANDREOTTI, Marcelo; MORO, Edemar; MARCON, Edílson. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2005000200009>.

CRUZ-HERNÁNDEZ, María Antonia; MENDOZA-HERRERA, Alberto; BOCANEGRA-GARCÍA, Virgilio; RIVERA, Gildardo. Azospirillum spp. from Plant Growth-Promoting Bacteria to Their Use in Bioremediation. **Microorganisms**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 1057, 20 maio 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms10051057>.

DIAS-FILHO, J. M. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, n. 402). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>

DIAS-FILHO, Moacyr Bernardino. **Uso de Pastagens para a Produção de Bovinos de Corte no Brasil: Passado, Presente e Futuro**. Belém, Pa: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 41 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042092/1/DOCUMENTOS418.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025.

EDOUARD, Maxenal. **Solubilização de fosfato por bactérias em associação com genótipos de milho-pipoca**. 2024. 38 f. Trabalho de conclusão de curso- Curso de Biotecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Foz do Iguaçu, 2024.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019

FUKAMI, Josiane; OLLERO, Francisco Javier; MEGÍAS, Manuel; HUNGRIA, Mariangela. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with Azospirillum brasilense cells and metabolites promote maize growth. **Amb Express**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-13, 17 jul. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13568-017-0453-7>.

GUZATTI, G. C.; DUCHINI, P. G.; SBRISSIA, A. F.; RIBEIRO-FILHO, H. M. N.. Aspectos qualitativos e produção de biomassa em pastos de aveia e azevém cultivados puros ou consorciados e submetidos a pastejo leniente. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [S.L.], v. 67, n. 5, p. 1399-1407, out. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-8103>.

HAYAT, Rifat; ALI, Safdar; AMARA, Ummay; KHALID, Rabia; AHMED, Iftikhar. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. **Annals Of Microbiology**, [S.L.], v. 60, n. 4, p. 579-598, 28 ago. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13213-010-0117-1>.

HEINZ, Rafael; GARBIATE, Marcos Vinicios; VIEGAS NETO, Antonio Luiz; MOTA, Leandro Henrique de Sousa; CORREIA, Allan Michel Pereira; VITORINO, Antonio Carlos Tadeu. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 41, n. 9, p. 1549-1555, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782011000900010>.

HEUER, Sigrid; GAXIOLA, Roberto; SCHILLING, Rhiannon; HERRERA-ESTRELLA, Luis; LÓPEZ-ARREDONDO, Damar; WISSUWA, Matthias; DELHAIZE, Emmanuel; ROUACHED, Hatem. Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities. **The Plant Journal**, [S.L.], v. 90, n. 5, p. 868-885, 3 fev. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/tpj.13423>.

HUNGRIA, Mariangela; CAMPO, Rubens J.; SOUZA, Emanuel M.; PEDROSA, Fabio O.. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant And Soil**, [S.L.], v. 331, n. 1-2, p. 413-425, 13 jan. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>.

HOU, Enqing; LUO, Yiqi; KUANG, Yuanwen; CHEN, Chengrong; LU, Xiankai; JIANG, Lifeng; LUO, Xianzhen; WEN, Dazhi. Global meta-analysis shows pervasive phosphorus limitation of aboveground plant production in natural terrestrial ecosystems. **Nature Communications**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1-9, 31 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-14492-w>.

KEHRWALD, Joice Camila. **Eficiência de bactérias solubilizadoras de fósforo em diferentes ambientes no desenvolvimento do trigo**. 2025. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2025.

KHAN, Fahad; SIDDIQUE, Abu Bakar; SHABALA, Sergey; ZHOU, Meixue; ZHAO, Chenchen. Phosphorus Plays Key Roles in Regulating Plants' Physiological Responses to Abiotic Stresses. **Plants**, [S.L.], v. 12, n. 15, p. 2861, 3 ago. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/plants12152861>.

KHOURLI, Said; ELHAISSOUFI, Wissal; IBNYASSER, Ammar; HADDINE, Meryem; GHANI, Rachid; ZEROUAL, Youssef; DELAPLACE, Pierre; BARGAZ, Adnane. Integrated use of polyphosphate and P-solubilizing bacteria enhanced P use efficiency and growth performance of durum wheat. **Frontiers In Microbiology**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 1-12, 5 jul. 2023. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2023.1211397>.

KURIHARA, Carlos Hissao; SILVA, William Marra; DIAS, Matheus Marques; TSUJIGUSHI, Bruno Patrício; SILVA, João Vitor de Souza. Gradual correction of phosphorus availability in the no-tillage system. **Revista Ceres**, [S.L.], v. 63, n. 2, p. 256-264, abr. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201663020018>.

MAGALHÃES, Auara Rupiara. **Rotações de sistemas de manejo do solo e consórcio de milho com Panicum maximum cv Miyage na cultura da soja**. 2023. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Unesp-Feis, Ilha Solteira-Sp, 2023.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants** (3rd ed.). Academic Press, 2012

MARTINS, J. P. M. **Avaliação do efeito da inoculação de espécies forrageiras na produção de biomassa aérea e radicular**. 2024. Dissertação (Licenciatura) – Escola Superior Agrária de Elvas.

MAULI, Marcia Maria. **Manejo da cultura da soja e plantas invasoras sob cobertura vegetal de aveia preta e consórcio de aveia preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Unioeste, Cascavel Pr, 2009.

MEHARG, Andy. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition. Edited by P. Marschner. Amsterdam, Netherlands: elsevier/academic press (2011), pp. 684, us\$124.95. isbn 978-0-12-384905-2.. **Experimental Agriculture**, [S.L.], v. 48, n. 2, p. 305-305, 7 mar. 2012. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s001447971100130x>.

MENEGUZZO, Michele Renata Revers. **Qualidades fisiológica e química de sementes de aveia-branca e aveia-preta em função da umidade de colheita e do tempo de armazenamento**. 2022. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Meneguzzo, Passo Fundo-Rs, 2022.

MENG, Xin; CHEN, Wei-Wei; WANG, Yan-Yu; HUANG, Zeng-Rong; YE, Xin; CHEN, Li-Song; YANG, Lin-Tong. Effects of phosphorus deficiency on the absorption of mineral nutrients, photosynthetic system performance and antioxidant metabolism in *Citrus grandis*. **Plos One**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 1, 17 fev. 2021. Public Library of Science (PLOS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0246944>.

MILLEN, Danilo Domingues. Editorial: feedlot cattle nutrition and metabolism. **Frontiers In Veterinary Science**, [S.L.], v. 10, n. 2023, p. 1-2, 27 jun. 2023. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fvets.2023.1239768>.

MIRANDA, Matheus Henrique de Carvalho. **Avaliação do milho safrinha irrigado em SPD, com aplicação de nitrogênio em diferentes épocas, em consórcio com cultivares de braquiárias e sistema convencional**. 2022. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Dracena - Sp, 2022.

MORAES, Pedro Valerio Dutra de. Alelopatia de espécies de cobertura na inibição de plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Brasileira De Agroecologia**, 2009 4(3), 117. Recuperado de <https://periodicos.unb.br/index.php/rbagroecologia/article/view/49043>

MOREIRA, V. A. **Qualidade do solo em sistema plantio direto por efeito residual da adubação fosfatada e resíduos de aveia preta inoculada com *Azospirillum brasilense***. 2021. – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira.

MOURA, Luciana Minervina de Freitas; COSTA, Alan Carlos da; VITAL, Roberto Gomes; SILVA, Adinan Alves da; RODRIGUES, Arthur de Almeida; CÂNDIDO-SOBRINHO, Silvio Alencar; MÜLLER, Caroline. Características radiculares em plantas de *Crambe abyssinica* Hochst e *Raphanus sativus* L. estão associadas à tolerância diferencial ao déficit hídrico e à recuperação pós-estresse. **Peerj**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-24, 14 jun. 2022. PeerJ. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.13595>.

PANTANO, Glaucia; GROSSELI, Guilherme M.; MOZETO, Antonio A.; FADINI, Pedro S.. SUSTAINABILITY IN PHOSPHORUS USE: a question of water and food security. **Química Nova**, [S.L.], v. 6, n. 39, p. 732-740, jun. 2016. GN1 Sistemas e Publicacoes Ltd.. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20160086>.

PERON, Antônio José; EVANGELISTA, Antônio Ricardo. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 655-661, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542004000300023>

PIOVESAN, F. **Produção de biomassa de aveia preta inoculada por *Azospirillum brasilense***. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2017.

RAUBER, Lucas Raimundo; REINERT, Dalvan José; GUBIANI, Paulo Ivonir; LOSS, Arcângelo. Structure and water infiltration in an Ultisol affected by cover crops and seasonality. **Soil And Tillage Research**, [S.L.], v. 247, p. 106366, mar. 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2024.106366>.

RIBEIRO, G. H. **Residual da adubação fosfatada e da inoculação ou não das gramíneas antecessoras sobre a produtividade do milho em área de sistema de plantio direto**. 2024. 46 p. – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024.

ROCHA, W. S. **Inoculação e doses de fósforo em feijão caupi no sul do Estado do Tocantins**. 2016. 56 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Gurupi, 2016.

RODRIGUES, Fabiana Vinhas; RONDINA, Davide. An alternative use of bio-diesel sub-products as feed ingredients for ruminants: the crude glycerin. **Acta Veterinaria Brasilica**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 91-99, 23 ago. 2013. Editora da Universidade Federal Rural do Semi-Arido - EdUFERSA. <http://dx.doi.org/10.21708/avb.2013.7.2.2801>.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S. l.], v. 56, n. 2, p. 195 – 212, 2018. DOI: 10.1590/1234-56781806-94790560201.

SCHOLZ, Roland W.; WELLMER, Friedrich-Wilhelm. Approaching a dynamic view on the availability of mineral resources: what we may learn from the case of phosphorus?. **Global Environmental Change**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 11-27, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.013>.

SILVA, Jéssica Fernanda da. **Ultivo de milho verde em sistemas de manejo convencional e conservacionistas em experimento de longa duração**. 2022. 139 f. Tese (Doutorado) -

Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão /Se, 2022.

SIMIONI, Tiago Adriano; GOMES, Fagner Junior; TEIXEIRA, Ubiara Henrique Gomes; FERNANDES, Geferson Antonio; BOTINI, Leonardo Antonio; MOUSQUER, Claudio Jonasson; CASTRO, Wanderson José Rodrigues de; HOFFMANN, Alvair. Potencialidade da consorciação de gramíneas e leguminosas forrageiras em pastagens tropicais. **Pubvet**, [S.L.], v. 8, n. 13, p. 1-37, 9 set. 2015. Editora MV Valero. <http://dx.doi.org/10.22256/pubvet.v8n13.1742>.

SOUZA, José Augusto Liberato de; TEIXEIRA, Lucas dos Santos; FREITAS, Gabriela da Silva; ALVES, Lucas da Silva; SILVA, Maurício Bruno Prado da; SILVA, Juliana Franço da; GALINDO, Fernando Shintate; BONINI, Carolina dos Santos Batista; OLIVEIRA, Clayton Luís Baravelli de; HEINRICHS, Reges. Azospirillum brasilense in the Planting Furrow of Sugarcane to Minimize the Use of N Fertilizer. **Plants**, [S.L.], v. 14, n. 11, p. 1599, 24 maio 2025. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/plants14111599>.

SUI, Xin; BAO, Xuelian; XIE, Hongtu; BA, Xiaobo; YU, Yang; YANG, Yali; HE, Hongbo; LIANG, Chao; ZHANG, Xudong. Contrasting seasonal effects of legume and grass cover crops as living mulch on the soil microbial community and nutrient metabolic limitations. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.L.], v. 380, p. 109374, mar. 2025. Elsevier BV.

SUN, Nan; HUANG, Lin; ZHAO, Hongcheng; ZHANG, Nan; LIN, Xianyong; SUN, Chengliang. Beneficial Bacterium *Azospirillum brasilense* Induces Morphological, Physiological and Molecular Adaptation to Phosphorus Deficiency in *Arabidopsis*. **Plant And Cell Physiology**, [S.L.], v. 63, n. 9, p. 1273-1284, 21 jul. 2022. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcac101>.

Torres, Gessica & Araújo, Ruth & Tôrres, Sâmua & Carvalho, Leticia & Costa, Eleonora & Nascimento da Silva, Jaomara & Linhares, Andressa & Sousa, Antonio. (2025). QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO E SEQUESTRO DE CARBONO. 10.46898/rfb.56b35280-5700-4fd0-b55f-6fc31770948f.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 255, n. 2, p. 571–586, 2003.

WANG, Yan; WANG, Fei; LU, Hong; LIU, Yu; MAO, Chuanzao. Phosphate Uptake and Transport in Plants: an elaborate regulatory system. **Plant And Cell Physiology**, [S.L.], v. 62, n. 4, p. 564-572, 28 jan. 2021. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcab011>.

ZEBELI, Q.; TAJAJ, M.; STEINGASS, H.; METZLER, B.; DROCHNER, W.. Effects of Physically Effective Fiber on Digestive Processes and Milk Fat Content in Early Lactating Dairy Cows Fed Total Mixed Rations. **Journal Of Dairy Science**, [S.L.], v. 89, n. 2, p. 651-668, fev. 2006. American Dairy Science Association. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72129-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72129-4).