

Efeito do fósforo residual e da inoculação com *Azospirillum brasilense* no cultivo de aveia-preta em sistemas integrados

Effect of residual phosphorus and *Azospirillum brasilense* inoculation on black oat cultivation in integrated systems

Efecto del fósforo residual y de la inoculación con *Azospirillum brasilense* en el cultivo de avena negra en sistemas integrados

DOI: 10.34188/bjaerv9n1-246

Submitted: Jan 5th, 2026

Approved: Feb 4 th, 2026

Luiz Antonio Othechar Benedicto

Mestre em Ciência e Tecnologia Animal
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira, SP. Brasil
E-mail: luiz.othechar@unesp.br

Marcelo Andreotti

Livre Docente
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira, SP. Brasil
E-mail: marcelo.andreotti@unesp.br

Viviane Cristina Modesto

Doutora em Sistemas de Produção
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira, SP. Brasil
E-mail: viviane.modesto@unesp.br

RESUMO

Considerando que os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPAs) e o Sistema Plantio Direto (SPD) agregam benefícios ao solo através do fornecimento de matéria orgânica via palhada, observa-se que as Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) podem potencializar a produtividade com menor dependência de fertilizantes químicos. Objetiva-se avaliar a produtividade de matéria seca (MS) e a qualidade bromatológica de aveia-preta (*Avena strigosa*), cultivada em sucessão num sistema integrado, na ausência ou presença de inoculação com *A. brasilense* sob o efeito residual da adubação fosfatada. A pesquisa foi conduzida em área com histórico de 17 anos em SPD no município de Selvíria – MS, testando doses residuais de P₂O₅ (0, 30, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹) com e sem inoculação, durante duas safras (2020 e 2021). Observou-se que a inoculação com *A. brasilense* possibilitou o aumento significativo da produtividade de MS em ambos os anos, conferindo resiliência à cultura mesmo sob forte estresse hídrico na segunda safra. Além do ganho de massa, a inoculação promoveu maior acúmulo de fósforo e proteína bruta, preservando a qualidade bromatológica da forragem. Conclui-se que a adoção de biotecnologias via inoculação de sementes em SIPAs é uma estratégia eficiente para otimizar o uso do fósforo residual, garantindo sustentabilidade e eficiência produtiva.

Palavras-chave: aveia preta, estresse hídrico, palhada, qualidade bromatológica, sistema plantio direto

ABSTRACT

Considering that Integrated Agricultural Production Systems (IAPS) and the No-Tillage System (NTS) add benefits to the soil by providing organic matter via straw, it is observed that Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) can enhance productivity with less dependence on chemical fertilizers. It aims to evaluate the dry matter (DM) productivity and bromatological quality of black oat (*Avena strigosa*), grown in succession in an integrated system, in the absence or presence of inoculation with *A. brasilense* under the residual effect of phosphate fertilization. The research was conducted in an area with a 17-year history of NTS in Selvíria – MS, Brazil, testing residual doses of P₂O₅ (0, 30, 60, 120, and 240 kg ha⁻¹) with and without inoculation, during two harvest seasons (2020 and 2021). It was observed that inoculation with *A. brasilense* enabled a significant increase in DM productivity in both years, providing resilience to the crop even under severe water stress in the second season. Besides the mass gain, inoculation promoted a greater accumulation of phosphorus and crude protein, preserving the bromatological quality of the forage. It is concluded that the adoption of biotechnologies via seed inoculation in IAPS is an efficient strategy to optimize the use of residual phosphorus, ensuring sustainability and productive efficiency.

Keywords: black oats, chemical quality, no-tillage system, straw, water stress

RESUMEN

Considerando que los Sistemas Integrados de Producción Agropecuaria (SIPAs) y el Sistema de Siembra Directa (SSD) agregan beneficios al suelo al proporcionar materia orgánica vía paja, se observa que las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV) pueden mejorar la productividad con menor dependencia de fertilizantes. Tiene como finalidad evaluar la productividad de materia seca (MS) y la calidad bromatológica de la avena negra (*Avena strigosa*), cultivada en sucesión en un sistema integrado, en ausencia o presencia de inoculación con *A. brasilense* bajo el efecto residual de la fertilización fosfatada. La investigación se realizó en un área con 17 años de historia en SSD en Selvíria – MS, probando dosis residuales de P₂O₅ (0, 30, 60, 120 y 240 kg ha⁻¹) con y sin inoculación, durante dos zafra (2020 y 2021). Se observó que la inoculación con *A. brasilense* posibilitó un aumento significativo en la productividad de MS en ambos años, otorgando resiliencia al cultivo incluso bajo fuerte estrés hídrico en la segunda zafra. Además de la ganancia de masa, la inoculación promovió una mayor acumulación de fósforo y proteína bruta, preservando la calidad bromatológica del forraje. Se concluye que la adopción de biotecnologías vía inoculación de semillas en SIPAs es una estrategia eficiente para optimizar el uso del fósforo residual.

Palabras clave: avena negra, calidad bromatológica, estrés hídrico, paja, sistema de siembra directa

1 INTRODUÇÃO

A intensificação da produção pecuária exige o uso estratégico de áreas agrícolas para evitar o processo evolutivo de degradação das pastagens, caracterizado pela perda de vigor, de produtividade e da capacidade de sustentação nutricional dos rebanhos (Embrapa, 2018). Neste cenário, a adoção de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPAs) desponta como uma excelente alternativa, unindo a produção de grãos e carne de forma sinérgica e sustentável.

Nos solos do Cerrado brasileiro, os baixos teores e a alta complexação do fósforo (P) figuram como fatores limitantes para a produção de biomassa. Para minimizar a dependência de fertilizantes

fosfatados solúveis e maximizar o efeito residual dos nutrientes já presentes no solo, o manejo adequado da palhada em Sistema Plantio Direto (SPD) atua diretamente na ciclagem de nutrientes (Michelon *et al.*, 2019). Aliado a isso, o uso de Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV), como o *Azospirillum brasilense*, tem ganhado destaque pela sua capacidade de solubilizar fosfatos e estimular o crescimento radicular, demonstrando grande potencial agrônomo para a promoção de crescimento em sistemas agrícolas (Fernandes *et al.*, 2023).

A aveia-preta (*Avena strigosa*) é uma forrageira de inverno amplamente utilizada no Brasil, seja para pastejo, conservação ou como planta de cobertura. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produtividade de matéria seca e a qualidade bromatológica da aveia-preta cultivada em sucessão num sistema integrado, avaliando a eficiência da inoculação com *A. brasilense* sob diferentes níveis de fósforo residual no solo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS PLANTIO DIRETO (SPD) E INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA (ILP)

O agronegócio moderno exige tecnologias que aliem retorno econômico e preservação ambiental. O SPD e a ILP melhoram a produção de palha, as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo ferramentas essenciais para a recuperação de áreas degradadas (Macedo, 2009). A manutenção da palhada proporciona um microclima favorável no solo, reduzindo a amplitude térmica e conservando a umidade (Flores *et al.*, 2007).

2.2 AVENA STRIGOSA SCHREB.

A aveia-preta é uma gramínea de inverno rústica e bem adaptada ao Centro-Sul do Brasil (Derpsch; Calegari, 1992). Destaca-se pelo rápido estabelecimento, boa produção de biomassa e excelente resposta à fertilidade do solo, configurando-se como uma cultura chave para a sucessão de culturas e o fornecimento de volumoso de alta qualidade na entressafra.

2.3 AZOSPIRILLUM BRASILENSE

As BPCV colonizam a rizosfera e os tecidos internos das plantas (Davison, 1988). A inoculação de sementes com *A. brasilense* promove a síntese de fitohormônios, como o ácido indolacético (AIA), que estimulam o alongamento e a ramificação das raízes. Esse sistema radicular mais robusto aumenta o volume de solo explorado, otimizando a captação de água e nutrientes e conferindo maior tolerância a estresses abióticos (Nakao *et al.*, 2018).

2.4 DINÂMICA DO FÓSFORO

O fósforo é crítico para o estabelecimento das culturas no Cerrado (Valderrama *et al.*, 2011). A decomposição da palhada libera formas orgânicas de P, enquanto a ação de microrganismos solubilizadores atua nas frações inorgânicas fixadas aos óxidos de ferro e alumínio do solo, aumentando a disponibilidade desse macronutriente para a planta (Rodriguez *et al.*, 2004).

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida em condições de campo na área irrigada da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE/UNESP), em Selvíria – MS, durante as safras de inverno de 2020 e 2021. A área possui histórico de 17 anos sob SPD. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw. Dados climáticos de precipitação e temperatura foram monitorados durante a condução do experimento para auxiliar na interpretação do desempenho agrônômico da cultura. O solo é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso.

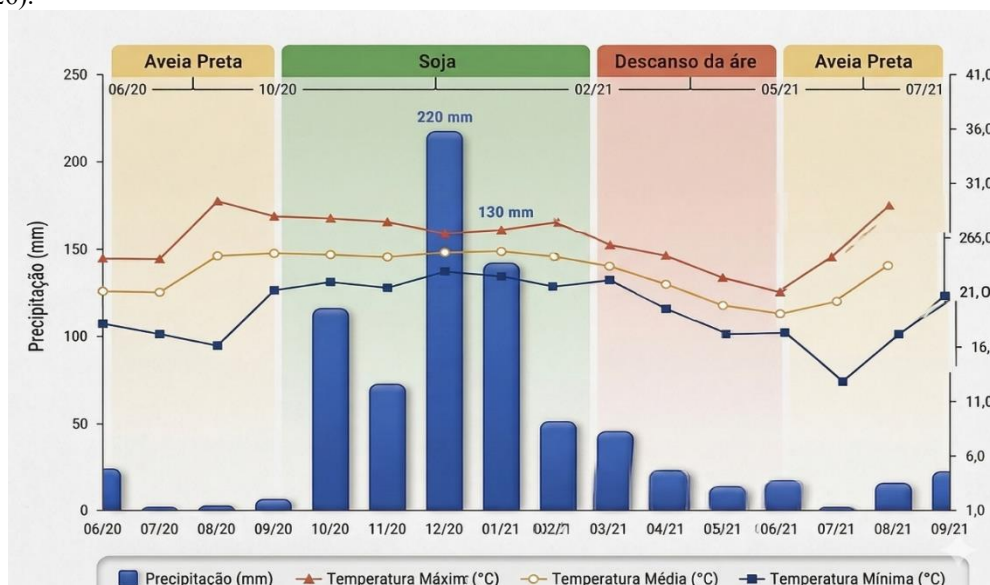
O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 5 x 2. Os tratamentos consistiram em cinco doses residuais de P₂O₅ na forma de MAP (0; 30; 60; 120 e 240 kg ha⁻¹) combinadas com a presença ou ausência de inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. A semeadura da cultivar EMBRAPA 29 ocorreu em junho de ambos os anos.

No estágio de enchimento de grãos, avaliou-se a produtividade de matéria seca por hectare (MSha). As amostras foram secas em estufa, moídas e submetidas às análises de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), nitrogênio (N) e fósforo (P) (Silva; Queiroz, 2002). Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F). As médias da inoculação foram comparadas pelo teste t (Student) a 5% de probabilidade, e as doses de P avaliadas por regressão, utilizando o software SISVAR® (Ferreira, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O regime hídrico e térmico ocorrido durante a condução dos experimentos (Figura 1) exerceu forte influência no desenvolvimento fenológico da aveia-preta, refletindo diretamente no potencial produtivo entre as safras avaliadas. No ano de 2021, observou-se um pronunciado período de escassez hídrica que, atrelado à impossibilidade do uso da irrigação complementar, acelerou o processo de maturação das plantas e limitou a produção de biomassa em comparação à safra de 2020.

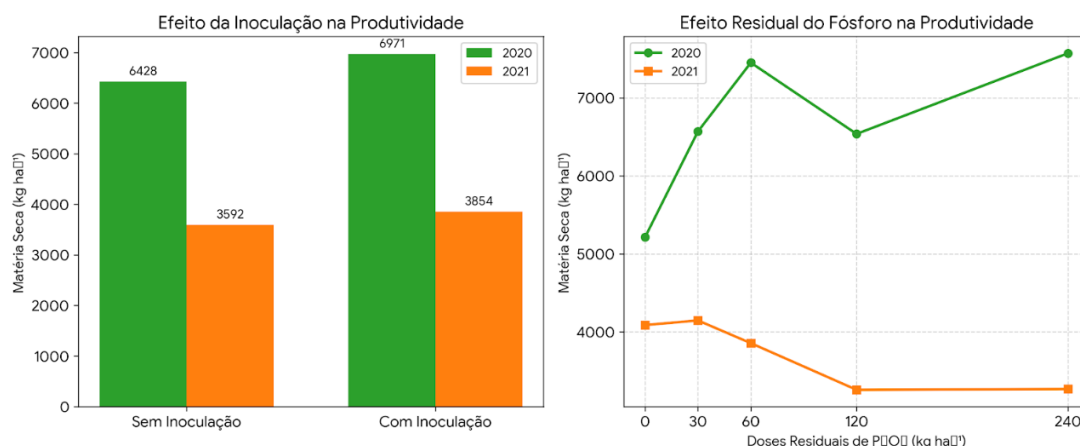
Figura 1. Dados climáticos de precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (°C) referentes ao período de condução do experimento (junho a outubro de 2020 e 2021) no município de Selvíria - MS. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).



Apesar da expressiva variação climática e da queda geral no teto produtivo no segundo ano, a biotecnologia de inoculação com *Azospirillum brasilense* provou sua eficácia de forma consistente. Em 2020, com condições hídricas mais favoráveis, a inoculação incrementou a produção de matéria seca (MS) em quase 10% (Figura 2A). De forma ainda mais relevante, em 2021, mesmo sob forte estresse hídrico, as plantas inoculadas mantiveram superioridade estatística na produção de massa (Figura 2B).

Esse comportamento ressalta o papel fundamental das BPCV na mitigação de estresses abióticos. A síntese de fitohormônios promovida pela bactéria estimula o aprofundamento do sistema radicular, permitindo que a planta acesse umidade em camadas mais profundas do perfil do solo, garantindo maior resiliência ao sistema.

Figura 2. Produtividade de matéria seca (MSha) da aveia-preta em função da inoculação com *A. brasilense* (A: 2020; B: 2021) e do efeito residual das doses de fósforo (C: 2020; D: 2021). Fonte: Elaborado pelos autores (2026).



Quanto à adubação, a análise de regressão (Figura 2C e 2D) demonstrou o efeito residual do fósforo na produtividade da forragem. A manutenção de níveis adequados de produção, mesmo nas menores doses nos anos subsequentes à aplicação, evidencia a eficiência do Sistema Plantio Direto de longa duração. A constante mineralização da palhada atua como uma “poupança” de nutrientes, disponibilizando P de forma gradual para a cultura em sucessão.

No que tange ao valor nutritivo da forragem (Tabelas 1 e 2), a inoculação proporcionou incremento nos teores de proteína bruta (PB) e promoveu maior acúmulo total de nitrogênio e fósforo na matéria seca em ambas as safras.

Tabela 1. Teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), acúmulo de fósforo (P) e nitrogênio (N) da aveia preta sob efeito residual da adubação fosfatada e inoculação (2020).

Tratamentos	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	P (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)
Inoculação (I)					
Sem	10,6b	68,8	39,5	11,5b	114
Com	11,5a	67,8	39,7	13,3a	119
Pr > Fc	0,00001	0,415	0,482	0,002	0,151
Doses P₂O₅ (D)					
0	9,8	68,6	40,2	7,9	79
30	11,8	67,5	39,5	12,9	124
60	11,3	68,7	40,0	15,1	134
120	11,7	67,7	39,2	13,7	112
240	11,1	69,0	39,3	12,3	132
Pr > Fc	0,0001	0,905	0,195	0,0001	0,0001

Fonte: Elaborado pelos autores(2026). (Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%).

Tabela 2. Teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), acúmulo de fósforo (P) e nitrogênio (N) da aveia preta sob efeito residual da adubação fosfatada e inoculação (2021).

Tratamentos	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	P (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)
Inoculação (I)					
Sem	9,5	63,4	40,9	5,3b	54,6b
Com	9,8	62,4	40,3	6,0a	60,3a
Pr > Fc	0,158	0,378	0,319	0,0001	0,0001
Doses P₂O₅ (D)					
0	9,6	64,5	40,5	6,6	62,7
30	9,8	62,7	40,5	6,4	64,9
60	9,5	62,1	41,4	5,8	58,4
120	9,6	62,7	40,3	4,6	50,3
240	9,7	62,6	40,2	4,8	50,8
Pr > Fc	0,819	0,724	0,697	0,0001	0,0001

Fonte: Elaborado pelos autores(2026). (Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5%).

É fundamental destacar que a qualidade da parede celular (FDN e FDA) permaneceu em patamares adequados para o consumo de ruminantes em ambas as safras. O aumento no acúmulo de nutrientes pela planta inoculada demonstra que a técnica não eleva apenas o volume produzido, mas otimiza a extração e o aproveitamento do fósforo residual do solo. Para propriedades rurais que adotam a integração lavoura-pecuária, esse resultado traduz-se em maior oferta de volumoso com

alto padrão nutricional, essencial para a sustentação do desempenho animal durante o período seco do ano.

5 CONCLUSÃO

A inoculação com *Azospirillum brasilense* configura-se como uma biotecnologia altamente eficiente para o cultivo de aveia-preta em sistemas integrados, promovendo incrementos significativos na produtividade de matéria seca e no acúmulo de proteína bruta e fósforo, inclusive sob condições de severo estresse hídrico. A associação entre o efeito residual da adubação fosfatada, o histórico consolidado de Sistema Plantio Direto e a inoculação de sementes garante a manutenção da qualidade bromatológica da forragem, consolidando essa estratégia como fundamental para o aumento da resiliência, sustentabilidade e eficiência nutricional dos Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPAs).

Do ponto de vista acadêmico e social, os resultados desta pesquisa demonstram que a adoção de biotecnologias aliadas ao manejo conservacionista do solo reduz a dependência de fertilizantes químicos solúveis. Para a sociedade, isso se traduz em sistemas de produção de alimentos mais sustentáveis, com menor impacto ambiental e maior segurança alimentar. Para o meio acadêmico, o estudo reforça a viabilidade das Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) como ferramenta mitigadora de estresses abióticos na integração lavoura-pecuária.

Como limitações desta pesquisa, destaca-se a condução do experimento em um único tipo de solo (Latosolo Vermelho Distrófico) e sob condições climáticas atípicas, com severo déficit hídrico no segundo ano de avaliação, o que pode ter limitado a expressão do potencial máximo de resposta da cultura. Para trabalhos futuros, recomenda-se a avaliação dessas interações em diferentes classes de solos e regiões edafoclimáticas, além da inclusão de análises econômicas para mensurar o retorno financeiro da inoculação associada ao fósforo residual a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A. *et al.* **Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa**. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989.
- ASSMANN, T. S. *et al.* Produção de gado de corte e de pastagem de aveia em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 7, p. 1387-1397, 2010.
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 80 p.
- EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF, 2018.
- FERNANDES, A. C. V. *et al.* Bactérias endofíticas associadas a *Paspalum vaginatum* Swartz. com potencial para promoção de crescimento vegetal e biocontrole. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 1071-1089, 2023.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- FLORES, J. P. C. *et al.* Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 771-780, 2007.
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009.
- MICHELON, C. J. *et al.* Atributos do solo e produtividade do milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 230-239, 2019.
- NAKAO, A. H. *et al.* Intercropping *Urochloa brizantha* and sorghum inoculated with *Azospirillum brasilense* for silage. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 501-511, 2018.
- RODRIGUEZ, H. *et al.* Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, v. 91, p. 552-555, 2004.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235 p.
- VALDERRAMA, M. *et al.* Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 254-263, 2011.