

POTENCIAL DE EXTRAÇÃO NITROGENADA PELA AVEIA BRANCA EM SIPA COM SOJA E ARROZ E SOB DOSES DE NITROGÊNIO

Luís Paulo Gomes Vívian¹, Evelyn Carolini Ribas Alves¹, Luiza Vandrielli Goulart
Unamuzaga², Joana Correa Sturza¹, Rodrigo Holz Krolow³, Cleiton José Ramão⁴, Deise
Dalazen Castagnara³

Introdução

O crescimento da população mundial (Xiong e Lian, 2026) e as mudanças climáticas (Eisa et al., 2025) têm aumentado as preocupações com a produção de alimentos (Fu et al., 2025) demandando modelos produtivos mais sustentáveis. Paralelamente, o modelo exploratório agropecuário aplicado às áreas exploradas do Bioma Pampa precisam ser revisados devido à sua insustentabilidade (Milagre et al., 2025).

Nesse cenário, a transição para sistemas agrícolas mais sustentáveis emerge como prioridade global, com foco no aumento da resiliência produtiva e na redução dos impactos ambientais associados ao uso intensivo dos recursos naturais (Xiong e Lian, 2026). Sistemas baseados em práticas conservacionistas, diversificação de culturas e uso racional de insumos têm se mostrado alternativas promissoras (Liu et al., 2025). Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs) destacam-se nesse contexto por promoverem a reciclagem de nutrientes, a melhoria da fertilidade do solo, o aumento da eficiência do uso da terra e a redução da poluição agrícola, conciliando produtividade e sustentabilidade ambiental (Cerecetto et al., 2024).

Nas terras baixas do Bioma Pampa, tradicionalmente ocupadas pelo cultivo de arroz irrigado, a rotação arroz-soja tem sido adotada como estratégia para reduzir custos e melhorar a fertilidade do solo (Denardin et al., 2019; Santos et al., 2022). Nesses ambientes, a introdução da aveia (*Avena sativa* L.) destaca-se para suprir o vazio forrageiro no outono-inverno, aumentar a produção animal e contribuir para a sustentabilidade dos SIPAs (Souza et al., 2025). Esses benefícios podem ser potencializados com o uso racional de fertilizantes como o nitrogênio (N).

Este é um dos principais nutrientes limitantes da produtividade vegetal e da qualidade das forragens, sendo essencial para o crescimento das plantas e o desempenho animal (Berger et al., 2020; Ardeni et al., 2022). Em pastagens, a adubação nitrogenada promove aumentos significativos na produção de biomassa e no teor de proteína bruta, refletindo diretamente no consumo e no ganho de peso dos animais (Zhuang et al., 2022). Contudo, a eficiência de uso do nitrogênio nos sistemas agrícolas ainda é baixa, em razão de perdas por volatilização, lixiviação e emissões de gases de efeito estufa, sobretudo quando o manejo é inadequado (Zhang et al., 2021; Zhang et al., 2025).

Nesse contexto, objetivou-se por meio desse estudo mensurar o potencial de extração e retenção de nitrogênio pela aveia branca cultivada em SIPAs em sucessão à soja ou arroz e sob doses de nitrogênio.

Material e métodos

Para este estudo adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com parcelas subdivididas. As culturas antecessoras (soja e arroz) foram alocadas nas parcelas e as doses de N (0, 50, 100, 150 kg ha⁻¹), com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais.

¹ Discentes de Medicina Veterinária, UNIPAMPA. E-mail: luisvivian.aluno@unipampa.edu.br

² Med. Vet. Pós Graduação em Ciência Animal, UNIPAMPA. E-mail: luizaunamuzaga.aluno@unipampa.edu.br

³ Docentes na Medicina Veterinária, UNIPAMPA. E-mail: deisekastagnara@unipampa.edu.br

⁴ Pesquisador do Instituto Riograndense do Arroz, IRGA, Uruguaiana. E-mail: cramao@gmail.com

A área experimental estava situada na Estação Experimental do Instituto Riograndense do Arroz – IRGA, Uruguaiana – RS, sob as coordenadas latitude 29°45'33"N, longitude 57°05'37"E, a uma altitude de 74 m acima do nível médio do mar. No local da implantação do ensaio, o solo foi classificado como Chernossolo Ebânico (Santos et al., 2025), e o clima local é classificado como Cfa 2, segundo a classificação de Köppen.

Em 2020, a semeadura dos materiais de inverno foi realizada em 23 de abril, com emergência 12 dias após a semeadura. A primeira aplicação de ureia foi realizada 22 dias após a semeadura e a segunda 60 dias após a semeadura. Em 2021 a semeadura foi realizada em 30 de abril, com emergência nove dias após a semeadura. A primeira aplicação de ureia ocorreu 27 dias após a semeadura e a segunda, 66 dias após a semeadura.

Na semeadura adotou-se semeadora tratorizada de fluxo contínuo, que distribuiu as sementes e fertilizantes em linhas espaçadas de 0,17 m. Aplicou-se uma densidade de sementes de 80 kg ha⁻¹ e como adubação de base utilizou-se 200 kg ha⁻¹ do formulado 05-30-15 (N: P₂O₅: K₂O) e 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (00-00-60). Para fertilização de cobertura foi utilizado ureia (46% de N) aplicada à lanço no estágio vegetativo do terceiro trifólio (V₃).

Foram realizados três cortes avaliativos ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Estes eram realizados quando a forragem atingia a altura de 30 cm (Quatrin et al., 2017) recomendada para o pastejo. Em 2020 os três cortes ocorreram 60, 102 e 138 dias após a semeadura, enquanto em 2021 foram 65, 100 e 135 dias após a semeadura.

Nas amostragens as plantas foram colhidas em área amostral conhecida (0,25 m² lineares) em triplicata em cada unidade experimental com posterior secagem em estufa com circulação forçada de ar sob temperatura de 55°C, até atingirem peso constante, permitindo a estimativa da produção de matéria seca. Estas amostras foram trituradas e analisadas por Kjeldal para estimativa da concentração de N (%N), com posterior correlação com a produção de matéria seca e estimativa da extração de N forragem (ENF).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, onde as culturas antecessoras foram comparadas por meio do teste F de Fisher (5%) e as doses de N foram comparadas por meio de análise de regressão, testando-se os modelos linear e quadrático. Para escolha do modelo que melhor explicasse o comportamento dos dados considerou-se a significância dos coeficientes (Teste T de Student ao nível de 5%) e o coeficiente de determinação (R²).

Resultados e discussão

Na concentração de N na MS da forragem produzida, as respostas às doses de N foram lineares, com aumento de 0,0023% para cada kg de N aplicado em 2021 na aveia após arroz e soja. Em 2021 os incrementos foram superiores, com 0,0025 e 0,0032% na pastagem crescendo após lavoura de arroz e soja, respectivamente. Em 2020, as palhadas residuais não alteraram os teores de N na forragem, mas em 2021, a concentração de N foi superior na forragem produzida após a lavoura de soja em todas as doses de N aplicadas (Tabela 1).

Na extração de N na matéria seca de forragem, observou-se aumento linear em resposta às doses (Tabela 1). Em 2020, as extrações de N foram mais expressivas na forragem cultivada após a soja. No entanto, em 2021 essas diferenças desapareceram, sugerindo um potencial de retenção do N na palhada do arroz com posterior liberação para a aveia branca.

Ainda, ao se considerar as extrações totais, observou-se que na forragem produzida após a soja em 2020 e nas produzidas após a soja e arroz em 2021 a forragem produzida extraiu valores superiores a 0,5 kg (Tabela 1). Ou seja, para cada kg de N aplicado, foi extraído 0,51 e 0,58 kg de N (Arroz e Soja em 2020, respectivamente) e 0,58 e 0,65 kg de N (Arroz e Soja em 2021, respectivamente). Estas extrações de N sugerem que as quantidades, composição nitrogenada e ambiente de cultivo favorecerem a liberação de N presentes na palhada e no solo, permitindo significativa absorção pelas plantas, resultando nos expressivos valores de extração.

Ainda, nas pastagens crescendo após a lavoura da soja, a aplicação de N de 100 kg ha⁻¹ viabilizou produção de MS que exportou 126 e 115 kg de N ha⁻¹, enquanto na dose de N de 150 kg ha⁻¹, as exportações de N na MS de forragem foram de 152 e 156 kg ha⁻¹, nos anos de 2020 e 2021, respectivamente. A dose de N de 50 kg ha⁻¹ viabilizou a exportação de 63 e 69 kg de N ha⁻¹ na forragem após o arroz e 99 e 85 kg de N ha⁻¹ na forragem após a soja, em 2020 e 2021, respectivamente.

Os resultados obtidos para a concentração de N na MS da forragem produzida pela aveia branca, com aumentos em resposta às doses de N ocorrem porque as plantas direcionam o carbono obtido com a fotossíntese para redução do N inorgânico e síntese de aminoácidos e proteínas (Zayed et al., 2023). Esse processo aumenta a concentração de N no tecido vegetal ao mesmo tempo que reduz a taxa de resposta ao aumento no acúmulo de matéria seca nas plantas.

A maior concentração de N na MS da forragem semeada após a lavoura de soja em 2021 em todas as doses de N (Tabela 1) evidencia não somente os benefícios da cultura da soja, mas também, do SIPA implantado. Como foi adotado o sistema de alternância de culturas de verão nas áreas experimentais, área que recebeu semeadura do arroz em 2021 foi implantada com soja em 2021. A aveia semeada nesta área experimental e submetida à doses de N acumulou mais N na sua MS, mesmo na ausência da adubação nitrogenada devido à duas condições principais. A primeira refere-se ao aporte e características dos resíduos culturais da soja, que devido à menor relação C:N favorecem a mineralização do N e sua disponibilização para as plantas. E a segunda condição refere-se aos benefícios remanescentes da palhada de arroz cultivado na safra 2019/2020. Devido à menor relação C:N, a decomposição da palhada de arroz é mais lenta, mantendo-a por mais tempo na superfície do solo e também favorecendo sua incorporação no perfil do solo pela ação dos microrganismos. Esse ambiente minimiza a lixiviação do N devido à sua imobilização na palhada e liberação por meio de mineralização tardia. Nesse contexto, associa-se a possibilidade de as plantas de aveia terem absorvido também aminoácidos além do N inorgânico. Essa possibilidade ocorre em solos com adições orgânicas de resíduos culturais ou esterco, pois diversos transportadores de aminoácidos já foram identificados em raízes de plantas (Zayed et al., 2023).

O N excedente da adubação nitrogenada mineral aplicada exportado na MS da forragem produzida após a soja nas doses de N de 100 e 150 kg ha⁻¹ e na dose de N de 50 kg ha⁻¹ na MS da forragem produzida após o arroz e a soja pode ter origem na palhada depositada e nas reservas de matéria orgânica do solo. Na soja são conhecidos a sua capacidade de produção de biomassa e de acúmulo de N na MS (Otto et al., 2024). Na aveia branca são conhecidos o potencial para aumento da atividade biológica do solo (Fontana et al., 2024) com a liberação gradual dos nutrientes acumulados nos resíduos culturais (Hahn et al., 2024) e consequente aumento da disponibilidade de N (Piva et al., 2021). Desta forma, o ambiente proporcionado pelo SIPA implantado em rotação com a soja favoreceu a maior disponibilização e aproveitamento do N mineral aplicado via fertilização. Os mesmos resultados não foram observados nas doses de N de 100 e 150 kg ha⁻¹ na pastagem crescendo após a lavoura de arroz devido à imobilização do N (Rosa et al., 2021) durante a decomposição da palhada de arroz ao longo do ciclo da cultura da aveia branca.

Conclusões

A capacidade de absorção e retenção de nitrogênio na forragem produzida pela aveia branca em SIPAs com rotação soja/arroz é potencializada no segundo ano de implantação do sistema.

O cultivo da aveia branca após a soja permite extração de nitrogênio na matéria seca da forragem equivalente ou superior às doses de nitrogênio aplicadas até 150 kg ha⁻¹.

Referências

ARDENTI, F. et al. Matching crop row and dripline distance in subsurface drip irrigation increases yield and mitigates N₂O emissions. **Field Crops Research**, v. 289, n.1, 108732, 2022.

BERGER, K. et al. Crop nitrogen monitoring: Recent progress and principal developments in the context of imaging spectroscopy missions. **Remote Sensing of Environment**, v. 242, n.1, p. 111758, 2020.

CERECETTO, V. et al. Pasture-crop rotations modulate the soil and rhizosphere microbiota and preserve soil structure supporting oat cultivation in the Pampa biome. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 195, n. 10, 109451, 2024.

DENARDIN, L.G.O. et al. Integrated crop–livestock systems in paddy fields: New strategies for flooded rice nutrition. **Agronomy Journal**, v. 112, n.3, p.2219–2229, 2020.

EISA, M. et al. From urea to urea cocrystals: A critical view of conventional and emerging nitrogenous fertilizer materials for improved environmental sustainability. **Sustainable Chemistry for the Environment**, v. 9, n. 3, 100209, 2025.

FONTANA, M.B. et al. Cover crop benefit bacteria and increase aggregate-associate soil C and N storage. **Geoderma Regional**, v. 36, n. 3, e00743, 2024.

FU, S. et al. Discerning changes in carbon emission intensity of cultivated land utilization since agricultural green transformation: Based on the motivation-opportunity-ability (MOA) framework. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 114, n. 6, p. 107946, 2025.

HAHN, L. et al. Garlic yield after decomposition and nutrient release of cover crops under no-tillage and conventional tillage. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 48, n.1, e0230134, 2024.

KANG, J.H. et al. Optimized crop-livestock coupling to reduce agricultural manure-N surplus and greenhouse gas emissions in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 467, n. 3, 142835, 2024

LIU, W. et al. Interaction of nitrogen and mowing frequency in enhancing regeneration and crude protein content of forage oat in Northwestern of China. **Field Crops Research**, v. 331, n. 1, 109994, 2025

MILAGRE, J.C. et al. Long-term effects of cattle rearing on vegetation and soil in riparian forests in southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.92, n.2, e20240333, 2025.

OTTO, R. et al. Eight years of eco-intensification of maize-soybean rotation in south Brazil: Maize grain production and nitrogen fertilizer replacement value. **European Journal of Agronomy**, v. 159, n. 9, 127261, 2024

PIVA, J.T. et al. Use of winter cover crops improves maize productivity under reduced nitrogen fertilization: a long-term study. **Bragantia**, v. 80, n.1, p. 1–11, 2021.

SANTOS, A.B.D. et al. Management of rice straw in rice-soybean succession in tropical lowland. **Revista Ceres**, v. 69, n.4, 390–399, 2022.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 396 p.

XIONG, X.; LIAN, H. Assessing the impact of crop–livestock integration on food security: Evidence from the Huang–Huai–Hai region of China. **Journal of Cleaner Production**, v. 538, n. 1, 147395, 2026.

ZAYED, O. et al. Nitrogen Journey in Plants: From Uptake to Metabolism, Stress Response, and Microbe Interaction. **Biomolecules**, v. 13, n. 10, p. 1443, 2023.

ZHANG, X. et al. Quantification of global and national nitrogen budgets for crop production. **Nature Food**, v. 2, n. 7, p. 529–540, 2021.

ZHANG, X. et al. Two-time application of controlled-release fertilizer: Effects on wheat yield, nitrogen use efficiency, and N₂O emissions in coastal saline-alkaline soils. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 24, n. 12, 102493, 2025. 2026.

ZHUANG, Q. et al. Monitoring the impacts of cultivated land quality on crop production capacity in arid regions. **Catena**, v. 214, n. 7, 106263, 2022.

Tabela 1. Concentração de e extração de nitrogênio na forragem produzida por pastagens de Aveia Branca, cultivadas em sucessão à lavouras de arroz ou soja, fertilizadas com doses de nitrogênio, em três cortes, de abril a setembro de 2020 e 2021, Uruguaiana, Rio Grande do Sul, Bioma Pampa, Brasil.

	Doses de N (kg ha ⁻¹)				p-Value		Equação	EPM
	0	50	100	150	L	Q		
Concentração de N na MS da forragem (%)								
2020								
Arroz	1,76a	1,82a	1,95a	2,09a	0,000	0,571	Ŷ=1,73**+0,0023**x; R²=0,97	0,02
Soja	1,76a	1,90a	2,03a	2,10a	0,000	0,375	Ŷ=1,77**+0,0023**x; R²=0,98	
2021								
Arroz	1,68b	1,78b	1,87b	2,06b	0,000	0,267	Ŷ=1,66**+0,0025**x; R²=0,97	0,02
Soja	1,75a	1,89a	2,05a	2,23a	0,000	0,116	Ŷ=1,74**+0,0032**x; R²=0,99	
Extração de N na MS da forragem (kg ha ⁻¹)								
2020								
Arroz	36b	63b	86b	113b	0,000	0,845	Ŷ=37**+0,51**x; R²=0,99	1,38
Soja	64a	99a	126a	152a	0,000	0,321	Ŷ=66**+0,58**x; R²=0,99	
2021								
Arroz	44b	69b	96b	131b	0,000	0,162	Ŷ=42**+0,58**x; R²=0,99	1,45
Soja	58a	82a	115a	156a	0,000	0,116	Ŷ=54**+0,65**x; R²=0,99	

**Significativo pelo teste T de Student (1%). p-Value: significância pelo teste F de Fisher na análise de variância das dos modelos linear (L) e quadrático (Q). EPM: erro padrão da média. Fonte: elaborado pelos autores.