

CULTIVO APÓS SOJA OU ARROZ E DOSES DE NITROGÊNIO ALTERAM A EFICIÊNCIA DE USO DO NUTRIENTE NA AVEIA PRETA

Ciane de Souza Jardim¹, Lueli Fernandes Bragança², Gabriela Dacas¹, Andressa Rodrigues Alderete¹, Evelyn Carolini Ribas Alves¹, Cleiton José Ramão⁴, Deise Dalazen Castagnara³

Introdução

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais essenciais para a produção de biomassa e para a formação do rendimento das culturas agrícolas, pois participa diretamente da síntese de clorofila, proteínas, enzimas e outros compostos fundamentais ao metabolismo vegetal (Zhang et al., 2025). Assim, a absorção de N pelas culturas, associada à intensidade fotossintética, à acumulação de matéria seca e à translocação de nutrientes, constitui um conjunto de processos determinantes para a produção de biomassa (Sun et al., 2024).

Entretanto, apesar de sua relevância agrônômica, a eficiência de uso do nitrogênio nas culturas é frequentemente baixa, em grande parte devido ao descompasso entre a oferta de N no solo e a demanda das plantas. A eficiência do uso do nitrogênio (EUN), geralmente definida como a razão entre a acumulação de N pelas plantas e a quantidade de N fornecida ao sistema, tem sido amplamente utilizada como um importante indicador agrônômico da eficiência dos fertilizantes nitrogenados (Bastidas et al., 2024).

Valores elevados ou reduzidos de NUE possuem implicações diretas sobre a produtividade das culturas, os custos de produção e os níveis de poluição ambiental (Bastidas et al., 2024). Embora a NUE em terras agrícolas globais tenha apresentado avanços nas últimas décadas, ela ainda permanece relativamente baixa, com estimativas recentes em torno de 46 % (40–53 %) (Zhang et al., 2021).

Considerando que Sistemas Integrados de Produção Agropecuária otimizam o uso de nutrientes adicionados ao sistema, objetivou-se mensurar parâmetros de eficiência do uso do nitrogênio na aveia preta sob doses de N em SIPAs com soja e arroz.

Material e métodos

Os ensaios experimentais foram conduzidos por dois anos em área experimental localizada no Bioma Pampa, em condições de terras baixas, com cultivo de sequeiro e irrigação por aspersão com pivô central nas culturas de verão. Geograficamente a localização esteve sob as coordenadas com latitude 29°45'33"N, longitude 57°05'37"E. A altitude era de 74 m acima do nível médio do mar, e o clima era Cfa 2 segundo a classificação de Köppen. O solo foi classificado como Chernossolo Ebânico (Santos et al., 2025).

Na implantação adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com parcelas subdivididas. O arranjo experimental correspondeu à 2x4, com duas culturas antecessoras (soja e arroz) e quatro doses de N (0, 50, 100, 150 kg ha⁻¹), com quatro repetições. As culturas antecessoras foram alocadas nas parcelas e as doses nas subparcelas, totalizando 32 unidades experimentais com dimensões de 4x10 m.

Mensurou-se a produção de matéria seca da forragem por meio de tripla amostragem em área conhecida e secagem em estufa com circulação forçada de ar (55°C) por 72 horas. Nestas amostras determinou-se os teores de N com o método Kjeldal.

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

² Med. Vet. Pós Graduação em Ciência Animal, UNIPAMPA. E-mail: luelibraganca.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 eficiência de uso do nitrogênio (EUN) foi estimada como a fração aparente de recuperação do N (Bastidas et al., 2024). Esta foi calculada como a diferença entre a absorção de N no tratamento fertilizado e no tratamento controle de cada parcela, dividida pela dose de N aplicada. O valor foi expresso como porcentagem do N aplicado, com a fórmula:

$$EUN (\%) = [(NT_{CN} - NT_{SN}) / DN] \times 100, \text{ onde:}$$

- NT_{CN} é o N absorvido no tratamento fertilizado (kg/ha);
- NT_{SN} é o N absorvido no tratamento sem fertilização (controle) (kg/ha);
- DN é a dose de nitrogênio aplicada no tratamento fertilizado (kg/ha).

A eficiência agrônômica do nitrogênio (EAN) equivale à produção de massa seca (MS) obtida por unidade de nutriente aplicado, é expressa em kg de MS / kg N aplicado e pode ser calculada pela seguinte equação (Fageria, 1998):

$$EAN = MS_{CN} - MS_{SN} / DN, \text{ onde:}$$

- MS_{CN} é a MS de forragem produzida no tratamento fertilizado (kg/ha);
- MS_{SN} é a MS de forragem produzida no tratamento sem fertilização (controle) (kg/ha);
- DN é a dose de nitrogênio aplicada no tratamento fertilizado (kg/ha).

A eficiência fisiológica é a produção biológica obtida por unidade de nutriente acumulado expressa em kg de MS/kg de N absorvido. É também chamada de eficiência biológica e pode ser calculada pela seguinte equação (Fageria, 1998):

$$EFN = MS_{CN} - MS_{SN} / NT_{CN} - NT_{SN}$$

- NT_{CN} é o N absorvido no tratamento fertilizado (kg/ha);
- NT_{SN} é o N absorvido no tratamento sem fertilização (controle) (kg/ha);

Os dados obtidos foram submetidos à Anava e as médias comparadas por Tukey (5%).

Resultados e discussão

A eficiência de uso do N (EUN) expressa em percentual (%) teve efeito das culturas antecessoras ($p < 0,01$) em 2020 e 2021. As EUN foram superiores na aveia preta após o arroz em 2020 apenas nas doses de N 50 e 100 kg ha⁻¹, enquanto em 2021 na aveia preta após a soja as EUN foram superiores em todas as doses (Tabela 1). Não houve diferença entre as doses nos dois anos e culturas antecessoras avaliados.

Na eficiência agrônômica do N (EAN) expressa em kg de MS para cada kg de N aplicado, houve significância de cultura antecessora e doses de N em 2020 e apenas da cultura antecessora em 2021 (Tabela 1). Em 2020, EAN foi superior na forragem da aveia branca semeada após o arroz em todas as doses de N, e estas, quando comparadas, revelaram EAN superior nas doses de N de 100 e 150 kg ha⁻¹ aplicadas na aveia preta após o arroz (22 e 20 kg, respectivamente), sem diferenças nas doses aplicadas na aveia semeada após a soja. Em 2021, a EAN foi superior na forragem após a soja e sob doses de N de 50 e 100 kg ha⁻¹ (21 e 19 kg, respectivamente), sem diferenças entre arroz (16 kg) e soja (18 kg) na dose de N 150 kg ha⁻¹. Neste ano também não foram detectadas diferenças na EAN entre as doses de N aplicadas na aveia preta semeada após arroz ou soja (Tabela 1).

E eficiência biológica do N (EBN) que é expressa em kg de MS por kg de N absorvido na biomassa vegetal da cultura não teve efeito de doses ou culturas antecessoras em 2021 ($p > 0,05$). Entretanto, em 2020 a EBN foi semelhante entre as doses aplicadas na pastagem após arroz, mas inferior (25 kg) na dose de N 150 kg ha⁻¹ aplicada na aveia branca após a soja em comparação à mesma dose aplicada na pastagem após arroz (37 kg). Comparando as culturas antecessoras, observamos menores EUN na aveia preta após arroz (33 kg) com N de 50 kg ha⁻¹, e na aveia preta após soja (25 kg) com N de 150 kg ha⁻¹.

A EUN é um importante indicador agrônômico da eficiência dos fertilizantes nitrogenados (Bastidas et al., 2024) e revela o percentual de N aplicado que foi acumulado na MS das plantas (Bastidas et al., 2024). Neste estudo, em todas as avaliações a EUN foi superior a 36% (Tabela 1), superando o valor de 30% citado com referência para EUN normalmente

obtida em sistemas agrícolas (Kumar e Sindhu 2026). O comportamento inverso de redução na EUN em 2020 e aumento da EUN em 2021 como resposta às doses de N aplicadas (Tabela 1) evidencia os benefícios dos SIPAs estudados no seu segundo ano de implantação. Destes, destacam-se o fornecimento de N para as culturas a partir de múltiplas fontes (palhada, adubação mineral e matéria orgânica do solo), maior atividade microbiana e melhor sincronização entre mineralização e absorção pelas plantas (Denardin et al., 2020).

A EAN, que corresponde a produção adicional de MS obtida por unidade de N aplicado (Fageria, 1998), as diferenças nos resultados de 2020 e 2021 pode ser justificadas pelos fatores que afetam a disponibilidade de N no solo e seu aproveitamento pelas plantas. Destes, destacam-se o tipo de matéria orgânica, características do solo, atividade microbiana, condições ambientais, estágio fenológico da cultura (Kumar e Sindhu, 2026).

Ainda, para essa variável destacam-se os baixos valores (12 à 22 kg de MS kg N aplicado⁻¹) (Tabela 1), que neste estudo, que visou avaliar a SIPAs não traduzem um resultado negativo. Como a estimativa da EAN considera dentre outros indicadores, a PMS obtida na ausência da aplicação de adubação, poucos kg adicionais de MS a cada kg de N aplicado revelam um resultado positivo do sistema. Ou seja, as dinâmicas de nutrientes em SIPAs com alternância de soja e arroz no verão e aveia preta no inverno permitem elevadas PMS que amortizam os efeitos do N mineral em cobertura. As baixas EAN não significam perdas do N aplicado, pois por se tratar de um sistema dinâmico, com cobertura permanente do solo o N mineral aplicado que não foi convertido em MS de forragem possivelmente está retido no ecossistema do solo. Assim, o N aportado nas pastagens de inverno pode ser ciclado e disponibilizado à cultura subsequente implantada em sucessão (Denardin et al., 2025).

As baixas EAN justificam-se em SIPAs com soja e plantio direto devido à menor relação C:N e maior aporte de N pelos resíduos culturais da soja (Denardin et al., 2025), aumento da ciclagem de nutrientes (Koudahe et al., 2022) e deposição de resíduos culturais na superfície do solo (Siqueira et al., 2025). Geng et al. (2024) constataram que em condições favoráveis, o N obtido por meio da mineralização da palhada de soja pode corresponder a mais de 50% do N inorgânico absorvido durante o crescimento das culturas. Ainda, além dos fatores citados, o aporte de N adicional por meio da fixação biológica de N pelas soja contribui com mais uma fonte de N no sistema, tornando-o menos dependente do N fertilizante (Denardin et al., 2025).

Embora tenham sido observados resultados positivos na ausência da adubação nitrogenada em cobertura na pastagem de inverno, a fertilização nitrogenada em SIPAs é relevante não apenas pelo fornecimento de N mineral mas também, pelo efeito *priming* desencadeado no sistema. O N mineral adicionado atua diretamente como atuar indiretamente como catalisador biológico, aumentando a atividade microbiana e a disponibilidade do N anteriormente imobilizado temporariamente (Denardin et al., 2025).

A produção biológica obtida por unidade de N acumulado na planta, denominada de eficiência biológica do N (EBN) foi menor (25 kg MS kg de N acumulado⁻¹) justamente na combinação experimental que proporcionou maior teor de N na MS de forragem (2,55%-dados não apresentados). Esse resultado justifica-se pela fisiologia vegetal das plantas, onde em condições de maior absorção de N, para fixação do mesmo na forma de aminoácidos e proteínas, a planta direciona o carbono fixado para a redução do N ao invés de utilizá-lo para o acúmulo de MS (Zayed et al., 2023).

Embora tenha ocorrido essa redução, em todas as demais avaliações a EBN se manteve acima de 32 kg MS kg de N acumulado⁻¹ e os valores de EBN foram superiores aos de EAN (Tabela 1). As EBN obtidas confirmam a eficiência das plantas no acúmulo de MS de forragem a partir do N absorvido.

Como considerações finais deste estudo podemos pontuar duas afirmações importantes com base nos resultados até aqui apresentados e discutidos. SIPAs com a introdução de soja são sustentáveis no uso do N independente da utilização ou não de adubação nitrogenada na

pastagem de inverno. Essa afirmação, além de sustentar-se nos resultados obtidos, fundamenta-se em conhecimentos técnicos. No solo, a disponibilização do N ocorre a partir de três fontes principais, que são a decomposição da MOS, a fixação biológica do N e a adubação nitrogenada mineral (Ladha et al., 2022).

A eficiência com que o N é absorvido e assimilado depende da integração entre absorção radicular, metabolismo fotossintético e translocação de nutrientes ao longo do ciclo das culturas (Sun et al., 2024). A alternância entre soja e arroz como lavouras de verão, sucedidos por aveia preta no inverno, independente do N em cobertura, permite a formação de um ambiente produtivo resiliente. Este pode ser potencializado pelos aportes de N mineral via adubações, pois estes promovem aumentos no teor de N do solo (Li et al., 2023) e alterações na decomposição da MOS ao longo dos anos.

Conclusões

A eficiência de uso do N é maior no segundo ano de SIPA e não é afetada pelas doses de N, com variações de EUN entre 36 e 61%, EAN entre 12 e 22 kg de MS por kg de N aplicado, e EBN entre 25 e 40 kg de MS por kg de N absorvido, em função das doses de N e culturas antecessoras. A aveia preta é uma cultura que otimiza o uso do N mineral aplicado.

Referências

BASTIDAS, M. et al. Optimizing nitrogen use efficiency of six forage grasses to reduce nitrogen loss from intensification of tropical pastures. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 367, n. 6, 108970, 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

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998

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

DENARDIN, L.G.D.O. et al. Enhancing nitrogen use efficiency in paddy fields: the role of livestock integration and rice-soybean rotation. **Field Crops Research**, v. 333, n.1, 110059, 2025.

GENG, S. et al. Nitrogen rhizodeposition from corn and soybean, and its contribution to the subsequent wheat crops. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 23, n. 7, p. 2446–2457, 2024

KUMAR, S.; SINDHU, S.S. Microbiome-mediated nitrogen cycling in soil: Impact on nitrogen use efficiency, crop production and environmental sustainability, **Soil Security**, v. 22, n. 3, 100225, 2026

QUATRIN, M. P. et al. Produtividade de genótipos de trigo duplo propósito submetidos ao pastejo com vacas em lactação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n. 6, p. 1615-1623, 2017

LADHA, J.K. et al. Biological nitrogen fixation and prospects for ecological intensification in cereal-based cropping systems. **Field Crops Research**, v. 283, n. 7, 108541, 2022.

LI, R. et al. Fertilizing-induced alterations of microbial functional profiles in soil nitrogen cycling closely associate with crop yield. **Environmental Research**, v. 231, n. 10, 116194, 2023.

SIQUEIRA, G.N. et al. Short-term effects of winter cover crops and summer cash crops on soil properties in Ultisol under no-tillage system in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 40, n. 3, e00935, 2025

SUN, G. et al. Responses of leaf nitrogen status and leaf area index to water and nitrogen application and their relationship with apple orchard productivity. **Agricultural Water Management**, v. 296, n. 3, 108810, 2024

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

Tabela 1. Eficiência de uso do nitrogênio (EUN), eficiência agrônômica do nitrogênio (EAN) e eficiência biológica do nitrogênio (EBN) em pastagens de Aveia Preta, cultivadas em sucessão ao arroz ou soja, e fertilizadas com doses de nitrogênio, em três cortes, de abril a setembro de 2020 e 2021, Uruguaiana, Rio Grande do Sul, Bioma Pampa, Brasil

Item	Ano	Antecessora	Doses de N (kg ha ⁻¹)			
			0	50	100	150
EUN (%)	2020	Arroz	-	50aA	61aA	54aA
		Soja	-	36bA	40bA	50aA
	<i>p-Value: 0,010</i>					
	2021	Arroz	-	45bA	42bA	45bA
		Soja	-	58aA	56aA	57aA
	<i>p-Value: 0,001</i>					
EAN (kg MS kg N aplicado ⁻¹)	2020	Arroz	-	16aB	22aA	20aA
		Soja	-	14bA	13bA	12bA
	<i>p-Value: 0,000</i>					
	2021	Arroz	-	15bA	17bA	16aA
		Soja	-	21aA	19aA	18aA
	<i>p-Value: 0,021</i>					
EBN (kg MS kg N acumulado ⁻¹)	2020	Arroz	-	33bA	37aA	37aA
		Soja	-	39aA	32aA	25bB
	<i>p-Value: 0,000</i>					
	2021	Arroz	-	35aA	40aA	37aA
		Soja	-	36aA	35aA	32aA
	<i>p-Value: 0,338</i>					

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem pelo teste Tukey (5%).

P-Value: significância pelo teste F de Fisher (5%) para a interação dos fatores estudados.

Fonte: elaborado pelos autores.