

## EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO POR SULCOS: EFEITOS DO MANEJO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA

Aline Cristine Pontes<sup>1</sup>; Nathan Roschmidt<sup>2</sup>; Yasmin Jacondino Nunes<sup>3</sup>Walkyria Bueno Scivittaro<sup>4</sup>; Rogério Oliveira de Sousa<sup>5</sup>.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; Nitrogênio; Metano; Óxido Nitroso.

### Introdução

As atividades agrícolas são responsáveis por grande parte das emissões antropogênicas de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), dois dos principais gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2023). No Brasil, a produção de arroz irrigado ocorre majoritariamente por alagamento contínuo do solo (EMBRAPA, 2021), que promove profundas alterações nas condições redox do solo, que resultam em emissões significativas de  $\text{CH}_4$  (Sousa et al., 2021; Song et al., 2024).

No sistema de irrigação por alagamento contínuo as emissões de  $\text{CH}_4$  são potencializadas pois a ausência do oxigênio favorece o metabolismo das bactérias metanogênicas. Sistemas alternativos de irrigação, como a irrigação por sulcos, mostram-se eficazes na redução de impactos ambientais (Vories et al., 2013), pois diminuem as emissões de  $\text{CH}_4$  e o volume de uso da água enquanto mantém alta produtividade (Massey et al., 2014).

Na irrigação do arroz por sulcos desenvolvem-se três zonas distintas de umidade ao longo do sulco: porção superior com solo úmido e condições oxidantes; porção intermediária com solo saturado; e porção inferior com solo alagado e condições redutoras (Bueno et al., 2020). Em cada porção as condições de umidade influenciam a dinâmica do nitrogênio, as emissões de GEE e o consumo de água (Linquist et al., 2012). Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar as emissões sazonais de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e o Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) em diferentes porções do sulco em arroz adubado com duas fontes de N no Sul do Brasil.

### Material e Métodos

Um experimento foi conduzido na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Planossolo Háplico no município do Capão do Leão, RS. Foi utilizado um delineado em blocos ao acaso e se constituiu por um fatorial 3X2 onde foram testados os fatores: porção do sulco (superior – solo úmido; intermediária – solo saturado; e inferior – solo alagado); adubação nitrogenada (ureia normal e ureia tratada com NBPT e DCD na dosagem de 130 kg  $\text{ha}^{-1}$ ).

Foram semeadas o equivalente a 113 kg  $\text{ha}^{-1}$  de sementes da cultivar de arroz BRS Pampa CL com adubação de base de 312 kg  $\text{ha}^{-1}$  da fórmula 05-20-20. A primeira adubação nitrogenada em cobertura para o arroz foi realizada em V3 e a segunda adubação nitrogenada em cobertura ocorreu em R0. As doses de N parceladas corresponderam a 60% da dose recomendada em V3 e 40% em R0 totalizando 130 Kg  $\text{ha}^{-1}$ .

Foram avaliadas as emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  em 3 repetições de cada tratamento. Para a avaliação das emissões dos gases foi utilizado o método da câmara fechada estática (Mosier, 1989). As coletas de ar foram realizadas com intervalos regulares de 7 dias, com intensificação das coletas por ocasião das duas adubações nitrogenadas de cobertura. As amostras foram transferidas para frascos evacuados, e enviados ao laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para determinação das concentrações de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  em

<sup>1</sup> Mestranda do PPG Manejo e Conservação do Solo e da Água, UFPEL

<sup>2</sup> Mestrando do PPG Manejo e Conservação do Solo e da Água, UFPEL

<sup>3</sup> Graduanda em Agronomia UFPEL

<sup>4</sup> Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado

<sup>5</sup> Professor da FAEM/UFPEL

cromatógrafo gasoso (Shimadzu GC – modelo 2014). Os dados foram analisados por estatística descritiva (média e desvio padrão).

O PAGp foi calculado a partir das emissões sazonais integrando a área sob a curva de interpolação dos valores diários de emissão do solo com base nas emissões acumuladas de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , convertendo essas emissões em equivalentes de  $\text{CO}_2$  para avaliar seu impacto climático. (Gomes et al., 2009).

## Resultados

As emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  apresentaram picos máximos após a primeira e segunda adubações nitrogenadas de cobertura, em ambos os tratamentos de adubação nitrogenada. A ureia comum apresentou as maiores emissões após a primeira época de adubação, nas porções intermediária e inferior, enquanto a porção superior teve emissões baixas. Após a segunda adubação, as emissões foram menores, possivelmente devido à maior absorção de nitrogênio pela planta durante a fase reprodutiva (figura 1a). Já no tratamento com a ureia protegida (NBPT+DCD), as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  foram menores, figura 1b, devido à ação dos inibidores de urease (NBPT) e nitrificação (DCD), que reduzem a conversão de  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NO}_3^-$  e, posteriormente, a desnitrificação a  $\text{N}_2\text{O}$ .

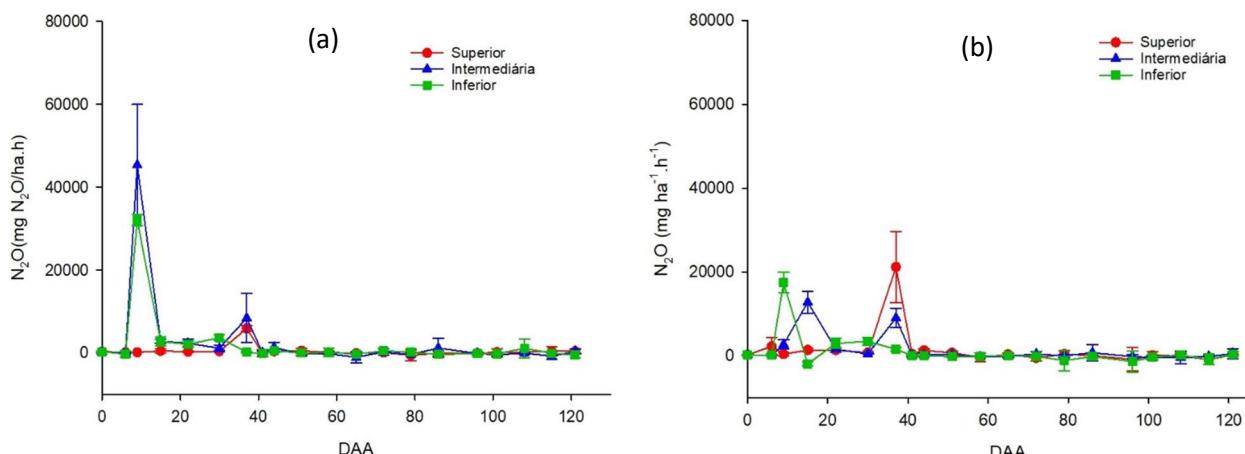


Figura 1 - Fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  em arroz irrigado por sulco, adubado com ureia (a) e ureia protegida (NBPT + DCD) (b) em diferentes posições ao longo dos sulcos de irrigação. Embrapa clima temperado. Capão do Leão-RS.

Em cultivos de arroz irrigado, as perdas de  $\text{N}_2\text{O}$  tendem a ser baixas (Bayer et al. 2015; Veçozzi et al. 2021), o que foi confirmado neste estudo. No tratamento com ureia convencional, as emissões totais de  $\text{N}_2\text{O}$  foram de 7,1; 5,2 e 1,3  $\text{kg ha}^{-1}$  (dados não apresentados) nas partes intermediária, inferior e superior dos sulcos, respectivamente. Já com a ureia protegida, as emissões foram de 3,7; 3,9 e 2,3  $\text{kg ha}^{-1}$  (dados não apresentados) nas partes superior, intermediária e inferior, respectivamente. Essa redução deve-se à menor disponibilidade de nitrogênio para os processos de nitrificação e desnitrificação, em função da liberação controlada do fertilizante, que retarda a hidrólise da ureia e inibe a atividade enzimática (Veçozzi et al. 2021).

Quanto às emissões de  $\text{CH}_4$  (Figura 2), os maiores fluxos ocorreram durante a fase reprodutiva, devido ao aumento da atividade microbiana metanogênica em condições de solo reduzido (Aulakh et al., 2000). As emissões foram maiores na porção inferior do sulco, enquanto as porções superior e intermediária apresentaram os menores fluxos (Figura 2a). O tratamento com uréia protegida apresentou menores emissões de  $\text{CH}_4$  comparativamente a ureia convencional (Figura 2b).

As emissões totais de  $\text{CH}_4$  no tratamento com ureia convencional apresentou valores de 23,4; 63,2 e 164,6  $\text{kg ha}^{-1}$  (dados não apresentados) nas porções superior, intermediária e inferior, respectivamente. Com a ureia protegida, as emissões totais foram de 18,2; 91,3 e 120,9  $\text{kg ha}^{-1}$  (dados não apresentados). As altas emissões de  $\text{CH}_4$  decorrem de condições ambientais favoráveis à atividade metanogênica (Devêvre e Horwáth, 2000). A redução nas emissões de  $\text{CH}_4$  com uréia protegida ocorreu porque a menor disponibilidade de nitrogênio limitou a atividade microbiana

metanogênica, exceto na porção intermediária, onde houve um aumento de 28,1 kg ha<sup>-1</sup> em relação à ureia convencional. (Bayer et al., 2014).

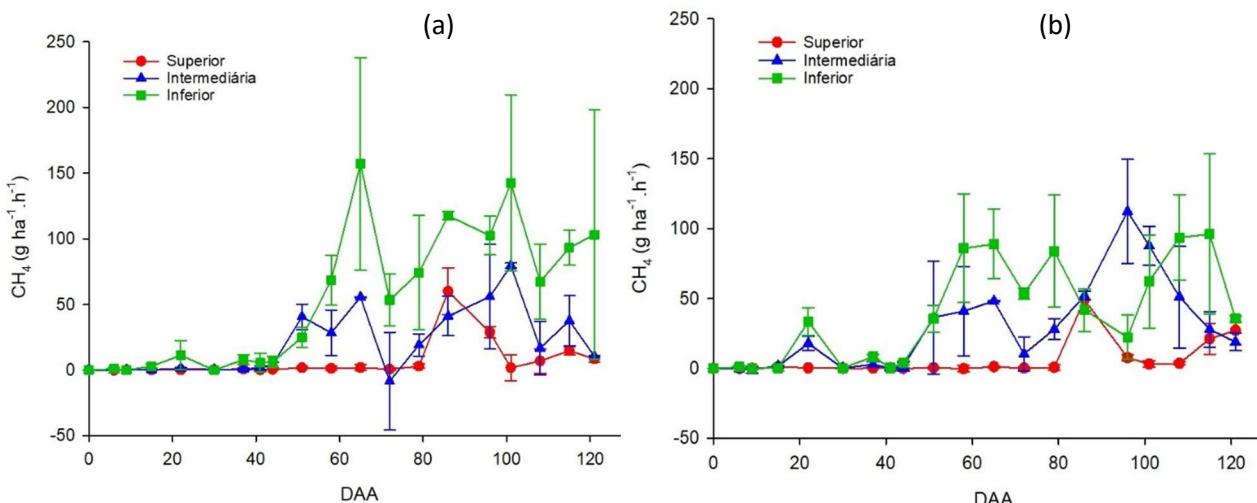


Figura 2 - Fluxos de CH<sub>4</sub> em arroz irrigado por sulco, adubado com ureia (a) e ureia protegida (NBPT + DCD) (b) em diferentes posições ao longo dos sulcos de irrigação. Embrapa clima temperado. Capão do Leão-RS.

O PAGp (Figura 3), expresso em kg de CO<sub>2</sub> equivalente por hectare, demonstra diferenças entre os tratamentos com ureia convencional e ureia protegida no cultivo de arroz irrigado por sulcos. Em ambas fontes de N, as contribuições de N<sub>2</sub>O ao PAGp foram menores do que as de CH<sub>4</sub>, porém com variações importantes entre as diferentes porções do sulco.

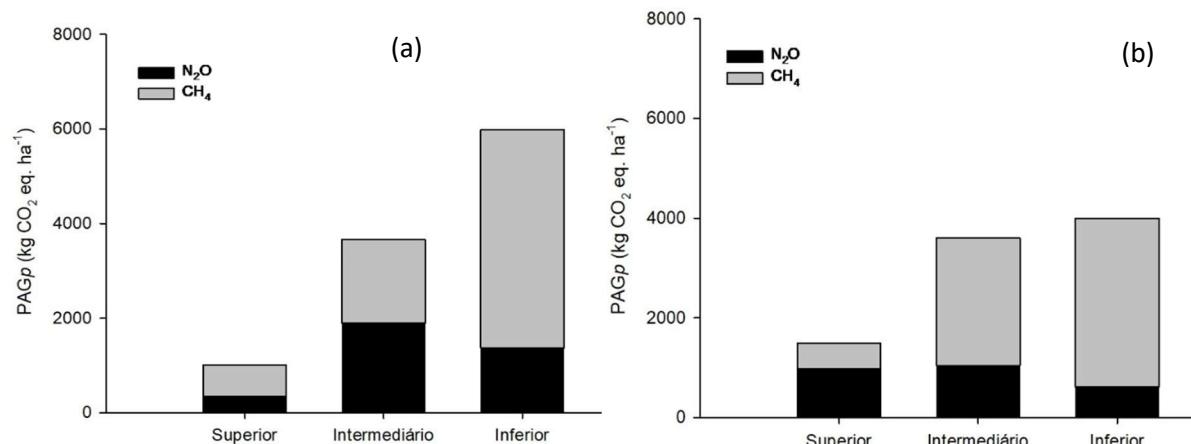


Figura 3 - Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) em cultivo de arroz irrigado por sulco, com uso de ureia (a) e ureia protegida (NBPT + DCD) (b) em função da posição da lavoura ao longo dos sulcos de irrigação. Embrapa clima temperado. Capão do Leão-RS.

No tratamento com ureia convencional, as emissões de N<sub>2</sub>O foram de 348, 1895 e 1377 kg CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup>, enquanto as de CH<sub>4</sub> atingiram 655, 1768 e 4609 kg CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup> nas porções superior, intermediária e inferior, respectivamente (figura 3a). Já com a ureia protegida, as emissões de N<sub>2</sub>O foram 981, 1046 e 615 kg CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup>, e as de CH<sub>4</sub>, 510, 2556 e 3385 kg CO<sub>2</sub> eq. ha<sup>-1</sup>. Considerando-se que as emissões de CH<sub>4</sub> na porção inferior do sulco seriam semelhantes às emissões proporcionadas pelo alagamento contínuo do solo, esses resultados demonstram que o manejo da irrigação por sulcos, em comparação com a inundação contínua, reduziria significativamente o PAGp (figura 3b).

A ureia protegida mostrou-se mais eficiente na redução das emissões totais, tanto de N<sub>2</sub>O quanto de CH<sub>4</sub>. Isso ocorre porque os inibidores NBPT+DCD diminuem a disponibilidade de nitrogênio para os processos de nitrificação e desnitrificação, reduzindo a formação de N<sub>2</sub>O. Além

disso, a menor disponibilidade de N também limita a atividade das bactérias metanogênicas, diminuindo a produção de  $\text{CH}_4$ , exceto na porção intermediária, onde houve um aumento.

## Conclusões

O estudo demonstrou que o manejo adequado da adubação nitrogenada, combinado com a irrigação por sulcos, pode reduzir significativamente as emissões de GEE no cultivo de arroz. O uso de ureia protegida com inibidores de urease e de nitrificação mostrou-se especialmente eficaz, reduzindo as perdas de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ . As emissões variam conforme a posição no sulco: na parte superior, há maior liberação de  $\text{N}_2\text{O}$  devido aos processos de nitrificação e desnitrificação, enquanto na parte inferior, a produção de  $\text{CH}_4$  é maior. Apesar de as emissões serem inevitáveis no cultivo de arroz, o sistema por sulcos mostrou-se mais sustentável que a irrigação por inundação contínua, ajudando a mitigar o potencial de aquecimento global nas lavouras do sul do Brasil. A introdução de práticas como fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e o manejo diferenciado da irrigação pode, assim, reduzir o impacto ambiental da oricultura.

## Referências

- AULAKH, M. S.; WASSMANN, R.; RENNENBERG, H. Methane emissions from rice fields - quantification, mechanisms, role of management, and mitigation options. *Advances in Agronomy*, v. 70, p. 193-260, 2000.
- BAYER, C. et al. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled greenhouse gas emission from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. *Soil and Tillage Research*, v. 145, p. 118-125, 2015.
- BUENO, E. et al. Dinâmica da umidade do solo em sistema de irrigação por sulcos e sua influência na emissão de gases de efeito estufa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, 2020.
- EMBRAPA. Manejo da irrigação no cultivo de arroz. Brasília: Embrapa, 2021.
- GOMES, J. et al. Métodos de quantificação de gases de efeito estufa em sistemas agrícolas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 8, p. 949-958, 2009.
- IPCC. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Geneva: IPCC, 2023.
- LINQUIST, B. et al. Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: a quantitative review and analysis. *Field Crops Research*, v. 135, p. 10-21, 2012.
- MASSEY, J. H. et al. Farmer adaptation of intermittent flooding using multiple-inlet rice irrigation in Mississippi. *Agricultural Water Management*, v. 146, p. 297-304, 2014.
- MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMEL, D. S. (Eds.). *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere*. New York: John Wiley & Sons, 1989. p. 175-187.
- SONG, H. J. et al. Benefits of organic amendments on soil C stock may be offset by increased methane flux in rice paddy field. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 359, 2024.
- SOUZA, R. O. et al. Alterações redox em solos de várzea sob cultivo de arroz irrigado. *Ciência Rural*, v. 51, n. 3, 2021.
- VEÇOZZI, T. A. et al. Yield-scaled greenhouse gas emissions from the use of common urea and controlled-release nitrogen fertiliser in a subtropical paddy rice field. [S.l.: s.n.], 2021.
- VORIES, E. D. et al. Rice production with center pivot irrigation. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 29, p. 51-60, 2013.