

IMPACTOS DO MANEJO DOS RESÍDUOS DA COLHEITA DE *Pinus taeda* L. NA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Laura Cristiane Nascimento de Freitas^{1*}, Josileia Acordi Zanatta², Jeferson Dieckow³

¹ Doutoranda PPGCS UFPR*freitaslauracn@gmail.com² Pesquisadora Dra. Embrapa Florestas³ Professor Dr. PPGSC UFPR

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi quantificar a emissão GEE provenientes do manejo dos resíduos florestais combinado com o uso de fertilizantes em plantações comerciais de *Pinus taeda* L. em regiões de clima subtropical. O estudo foi conduzido em experimento de campo, na Embrapa Florestas (Colombo – PR). A quantificação da emissão de GEE foi realizada durante 5 anos desde a implantação do pinus, sob o impacto de quatro tratamentos: sem resíduo da colheita florestal e sem fertilizante (sR-F); com resíduo e sem fertilizante (R-F); sem resíduo e com fertilizante (sR+F); e com resíduo e com fertilizante (R+F), em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. A retenção dos resíduos florestais em associação com a fertilização da área do plantio proporciona um aumento das emissões de N₂O no primeiro ano e do CH₄ nos primeiros 3 anos após o plantio do novo talhão de pinus, com uma tendência de queda após este período.

PALAVRAS-CHAVE: metano; óxido nitroso; fertilização nitrogenada, práticas silviculturais.

INTRODUÇÃO

Os plantios florestais tropicais são responsáveis por uma parcela crescente do suprimento global de madeira, sendo o Brasil destaque na indústria de árvores cultivadas como o maior exportador mundial de celulose (IBÁ, 2024). Uma das espécies mais utilizadas em plantios comerciais no Brasil é o *Pinus taeda* L., sobretudo na região Sul do país (HIGA *et al.*, 2008, IBÁ, 2024). O setor brasileiro de árvores plantadas e as práticas silviculturais de manejo tornam-se relevantes para a promoção da sustentabilidade do setor (de São José *et al.*, 2023), uma vez que o manejo adotado pode favorecer ou mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE) para atmosfera (Powlson *et al.*, 2011; Martins *et al.*, 2015).

A manutenção dos resíduos florestais da colheita está associada ao suprimento da demanda de nutrientes exigidos pelo cultivo florestal subsequente, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos (Besen *et al.*, 2021) e, conseqüentemente, as emissões associadas de GEE. Contudo, apresenta também impacto significativo na difusividade dos gases no solo (Keller *et al.*, 2005), podendo atuar como uma barreira física à difusão de gases, diminuindo a aeração do solo e influenciando a capacidade do solo de oxidar metano (CH₄), enquanto a remoção dos resíduos florestais pode diminuir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O) devido à restrição de nutrientes (Walkiewicz *et al.*, 2021).

Embora a área dedicada ao cultivo de pinus no Sul do Brasil seja expressiva, ainda não há estudos avaliando o impacto da retirada dos resíduos florestais sobre a emissão de GEE no médio e longo prazo. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar a emissão de GEE provenientes do manejo dos resíduos florestais combinado ao uso de fertilizantes em plantações comerciais de *Pinus taeda* L. em regiões de clima subtropical.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Florestas) localizada no Município de Colombo – Paraná, cujas coordenadas geográficas são 25°20'S e 49°14'W e altitude média de 920 m. O clima predominantemente na região é do tipo Cfb (Köppen), caracterizado por clima sempre úmido ou pluvial quente temperado. O solo é classificado como Cambissolo Húmico e a vegetação nativa é caracterizada como Floresta Ombrófila Mista.

O experimento foi instalado em junho de 2019 com o plantio de mudas da espécie *Pinus taeda* L, após a colheita de um talhão de pinus de 35 anos de idade. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, constituídos por três blocos e quatro parcelas e cada parcela foi constituída de 70 plantas de pinus dispostas no espaçamento de 2x3 m.

Os tratamentos, correspondentes aos sistemas de manejo da área experimental, combinaram o manejo do resíduo da colheita (retenção ou remoção) com a adubação N-P-K, compondo os seguintes tratamentos: (1) sem resíduo de colheita e sem fertilizante (sR-F); (2) com resíduo de colheita e sem fertilizante (R-F); (3) sem resíduo de colheita e com fertilizante (sR+F); e (4) com resíduo de colheita e com fertilizante (R+F). Nos tratamentos com adubação, foram aplicados 50 kg. ha⁻¹ de N, 60 kg. ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg. ha⁻¹ de K₂O, conforme recomendação para a espécie florestal do estudo. A adubação de N foi dividida em 2 parcelas iguais aplicadas em 04/12/2019 e 04/03/2020.

A coleta dos GEE foi realizada frequentemente após a instalação do experimento (junho/2019), totalizando 66 eventos de amostragem de ar e análise da emissão de GEE em 5,5 anos. Para a avaliação da emissão dos GEE foi utilizado o método da câmara estática fechada (Zanatta *et al.*, 2014). Em cada parcela foram distribuídas três bases metálicas (próximo a planta, na linha e entre-linha). Sobre as bases metálicas foram acopladas câmaras e as amostras de ar foram coletadas em dois intervalos de tempo (0 e 38 minutos), com auxílio do equipamento automático de coleta G2508 Picarro, que permite analisar as concentrações de CH₄ e N₂O em tempo real, através da tecnologia de CRDS (espectroscopia de cavidade ring-down).

A emissão acumulada dos GEE por hectare por ano foi determinada pela emissão média diária interpolada nos períodos correspondentes. Os dados obtidos foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias de Bartlett ($p > 0,05$), para analisar os efeitos dos manejos de resíduos de colheita do pinus sobre a emissão acumulada de CH₄ e N₂O. Posteriormente foi realizada a análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), com o auxílio do software Rstudio (versão 4.3.1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emissão acumulada média de óxido nitroso (kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹) no solo, para os tratamentos avaliados, foi maior no primeiro ano após a instalação do experimento, com valores de 0,33 a 2,62 (Figura 1A). Observa-se que a combinação da retenção do resíduo da colheita com o uso da adubação nitrogenada (R+F) diferiu significativamente dos demais tratamentos (Tabela 1), apresentando emissão média acumulada de 1,16 kg N-N₂O ha⁻¹ ano⁻¹. Possivelmente, o uso de fertilizantes nitrogenados associado ao aporte de matéria orgânica no solo (MOS) via retenção dos resíduos da colheita florestal, podem favorecer uma maior emissão de N-N₂O. A fertilização nitrogenada aumenta a disponibilidade de N mineral no solo, tanto amônio quanto nitrato, e esses compostos são substratos para o processo de produção do N₂O no solo. O resíduo vegetal, por sua vez pode aumentar a quantidade de carbono orgânico dissolvido no solo (COD) e também a atividade microbiana. O COD é um elemento necessário para o processo de desnitrificação do N (NO₃⁻) para formas mais reduzidas como N₂O. Outro sim, a elevada atividade microbiana pode restringir a disponibilidade

de oxigênio em alguns nichos do solo, possibilitando ambiente favorável para a desnitrificação do nitrogênio (N) e, como consequência, maior emissão de N_2O para a atmosfera (Abreu *et al.*, 2024).

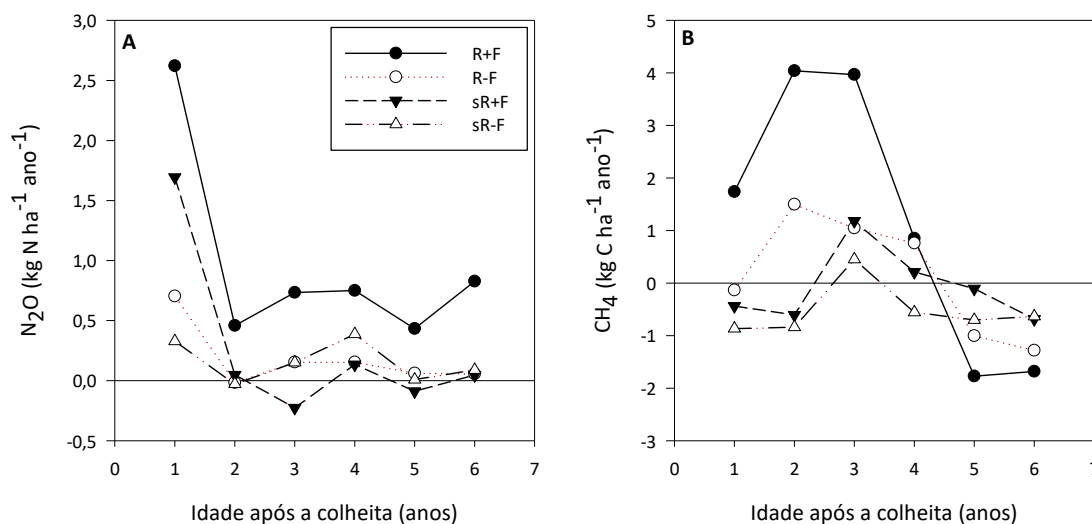


Figura 1. Emissão acumulada de N_2O (A) e CH_4 (B) a partir do solo sob os tratamentos: com resíduo de colheita e com fertilizante (R+F), com resíduo de colheita e sem fertilizante (R-F), sem resíduo de colheita e com fertilizante (sR+F) e sem resíduo de colheita e sem fertilizante (sR-F), no período de amostragem (5,5 anos) do plantio de *Pinus taeda*. Colombo – PR.

Para o metano ($kg\ C-CH_4\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) as maiores emissões observadas ocorreram no ano 2 e 3 (Figura 1B), com valores de -0,84 a 4,04 e 0,45 a 3,97, respectivamente. De modo geral, o tratamento R+F destacou-se como fonte de $C-CH_4$ nos primeiros anos após a implantação do experimento, diferindo significativamente dos demais tratamentos na média anual (Tabela 1). A retenção dos resíduos no solo pode favorecer uma maior atividade microbiana (De Melo *et al.*, 2023), e como já observado, uma elevação da atividade microbiana pode formar sítios com baixo suprimento de oxigênio. Fisicamente, a presença de resíduos na superfície do solo minimiza os efeitos da radiação solar (reduzindo a temperatura do solo, diminuindo a evaporação, mantendo a umidade do solo e diminuindo a concentração de oxigênio) (Abreu *et al.*, 2024). Esses aspectos podem favorecer a metanogênese em detrimento da metanotrofia, levando a maiores emissões de $C-CH_4$ (Tulio *et al.*, 2023). Por outro lado, nos primeiros anos de avaliação, os tratamentos com a remoção dos resíduos (sR+F e sR-F) atuaram como sumidouro, resultando no influxo do $C-CH_4$. Após o terceiro ano, houve uma tendência de consumo do $C-CH_4$ em todos os tratamentos.

Tabela 1. Emissão média acumulada de N_2O e CH_4 a partir do solo sob influência dos tratamentos: R+F: com resíduo de colheita e com fertilizante, R-F: com resíduo de colheita e sem fertilizante, sR+F: sem resíduo de colheita e com fertilizante e sR-F: sem resíduo de colheita e sem fertilizante, durante o período de amostragem do experimento com *Pinus taeda*. Colombo – PR.

Tratamentos	Emissão Acumulada	
	N_2O ($kg\ N\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) **	CH_4 ($kg\ C\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) *
R+F	1,16 a	1,05 a
R-F	0,22 b	-0,03 bc
sR+F	0,33 b	-0,13 bc
sR-F	0,18 b	-0,59 b

**significativo ao nível de 0,01%; *significativo ao nível de 0,05%.



CONCLUSÕES

Nas condições deste experimento, a retenção dos resíduos florestais em associação com a fertilização da área do plantio proporciona um aumento das emissões de N_2O e do CH_4 nos primeiros anos após o plantio do novo talhão de pinus, com uma tendência de queda após este período.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes pela concessão da bolsa de Doutorado, à EMBRAPA Florestas, ao Consórcio Internacional C_arouNd e demais profissionais envolvidos pelas contribuições na realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- ABREU, N. L., RIBEIRO, E. S. D. C., SOUSA, C. E. S., MORAES, L. M., OLIVEIRA, J. V. C., FARIA, L. A. A., RUGGIERI, A. C., CARDOSO, A. S., FATURI, C., RÊGO, A. C., SILVA, T. C. Mudanças de uso da terra e emissão de gases de efeito estufa: uma explanação sobre os principais drivers de emissão. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, p. 77646E, 2024.
- DE MELO, R. O., DE BARROS, N. F., DA SILVA TEIXEIRA, R., DA FONSECA, A. A., VASCONCELOS VALADARES, S., PREVIDENTE MARTINS, R., & MELO, I. N. CO_2 , N_2O and CH_4 emissions and C storage in eucalyptus forests with different management practices of harvest residues. **BioEnergy Research**, v. 16, n. 1, p. 398-415, 2023.
- DE SÃO JOSÉ, J. F. B., CHERUBIN, M. R., VARGAS, L. K., LISBOA, B. B., ZANATTA, J. A., ARAÚJO, E. F., & BAYER, C. A soil quality index for subtropical sandy soils under different Eucalyptus harvest residue managements. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 1, p. 243-255, 2023.
- HIGA, R. C. V., WREGE, M. S., RADIN, B., BRAGA, H., CAVIGLIONE, J. H., BOGNOLA, I., & DE OLIVEIRA, Y. M. M. **Zoneamento climático: *Pinus taeda* no sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.
- Industria Brasileira de Árvores - IBÁ. **Relatório anual 2023**. São Paulo: IBÁ, 2023. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2025.
- MARTINS, C. S., NAZARIES, L., MACDONALD, C. A., ANDERSON, I. C., & SINGH, B. K. Water availability and abundance of microbial groups are key determinants of greenhouse gas fluxes in a dryland forest ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 86, p. 5-16, 2015.
- SANTOS, H. H. dos; *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. - 5. ed., rev. e ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- TULIO, R. H., RACHWAL, M. F. G., ZANATTA, J. A., DA SILVA, K., & KASCHUK, G. Physical, chemical and microbiological soil attributes influence soil greenhouse gases fluxes in Atlantic Forest and pine (*Pinus taeda*) plantations in Brazil. **Soil Use and Management**, v. 39, n. 1, p. 183-197, 2023.
- ZANATTA, J. A., ALVES, B. J. R., BAYER, C., TOMAZI, M., FERNANDES, A. H. B. M., COSTA, F. D. S., & CARVALHO, A. D. Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo. **Embrapa Florestas**, 2014.