



Omissão de fósforo no solo e seus efeitos sob a morfologia e fisiologia de *Pinus taeda* L.

Matheus Severo de Souza Kulmann¹
Marcos Vinícius Miranda Aguilar¹
Álvaro Luís Pasquetti Berghetti²
Reinaldo Hoinacki da Costa³
Luciane Almari Tabaldi¹
Mauro Valdir Schumacher¹

¹Universidade Federal de Santa Maria (matheuskulmann@hotmail.com),
(aguilarmarcos2009@hotmail.com), (luciane.tabaldi@ufsm.br), (mauro.schumacher@ufsm.br),

²Universidade Federal do Paraná (alvaro.berghetti@ufpr.br), ³Juliana Florestal (reinaldo@frameport.com.br)

RESUMO: A baixa disponibilidade de fósforo (P) no solo é um dos fatores que limita a produtividade de plantações de *Pinus taeda*. A fertilização fosfatada em *Pinus* mostra divergência nas respostas de crescimento. Assim, a compreensão da resposta da eficiência fotossintética das plantas pode servir de base para orientar as práticas de gestão nas plantações de *Pinus taeda*. O estudo teve como objetivo avaliar se a omissão de fósforo P impacta a morfologia e fisiologia de *Pinus taeda* L. O experimento foi conduzido em uma plantação de *Pinus taeda* submetidos a fertilização de P: controle – sem adição de N, P e K; fertilizado – com adição de N, P e K; e omissão de P – adição de N e K, e omissão de P. Os parâmetros fator de produtividade, ETRm, Fv/Fm, clorofila total, foram avaliados. A fertilização de P aumentou o P disponível no solo, aumentando a absorção de P pelas raízes e concentração de P nas acículas. O aumento do P disponível no solo contribuiu para elevar os parâmetros fotossintéticos, como ETRm, Fv/Fm e clorofila total. Estes fatores auxiliaram para elevar a assimilação de C e aumentando o fator de produtividade.

Palavras-chave: omissão de P, fertilização fosfatada, nutrição florestal, pinheiro

Introdução

As florestas plantadas representam 7% da área florestal mundial, cobrindo 131 milhões de hectares. No Brasil, as florestas plantadas com o gênero *Pinus* cobrem 1,93 milhões de hectares (IBÁ, 2022). *Pinus taeda* é frequentemente cultivado em solos de baixa fertilidade natural, como o fósforo (P), comumente sem fertilização e com sucessivas rotações no mesmo sítio, promovendo a exportação de P do solo, explicando a baixa produtividade ($IMA < 20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Gatiboni et al., 2020).

Apesar do P ser limitante ao desenvolvimento de plantações florestais, o *Pinus taeda* raramente apresenta sintomas visuais de deficiências de P, mesmo em solos com baixos teores de P. Porém, é sabido que baixas concentrações de P no interior das plantas podem influenciar negativamente o metabolismo e a taxa de crescimento, diminuindo a produção de matéria seca e área foliar (Graciano et al., 2016; Kulmann et al., 2022). A avaliação de parâmetros fisiológicos das plantas pode ser uma estratégia para prever futuras deficiências de P, uma vez que estão diretamente relacionadas à taxa e concentrações de pigmentos fotossintéticos, como clorofila (Graciano et al., 2016; Kulmann et al., 2022).



A maioria dos estudos sobre fertilização fosfatada de *Pinus taeda* concentram-se nos efeitos do nutriente no solo, produção de biomassa e produtividade (Carlson et al., 2014). Porém, estudos que abordem o impacto negativo da baixa disponibilidade de P no solo, com base em avaliações de parâmetros de crescimento e fisiológicos, são escassos na literatura. O estudo objetivou avaliar se a omissão de fósforo impacta os parâmetros de crescimento e fisiológicos de *Pinus taeda* L.

Material e métodos

Área experimental e banco de dados

O estudo foi conduzido durante abril de 2019 a julho de 2021, em Caçador, Santa Catarina (SC), Brasil (26° 44' 48,72" S e 51° 04' 18,52" W, altitude 1030 m), pertencentes ao projeto PPPIB – Programa Cooperativo sobre Pesquisa do Pinus no Brasil, coordenado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). O clima da região é subtropical úmido com verão ameno (Cfb), segundo classificação de Köppen. *Pinus taeda* L. foram implantadas e submetidas as fertilizações: controle – sem aplicação de fertilizantes; fertilizado – fertilizado com N, P e K; omissão de P – fertilizado com N e K. As fertilizações foram (kg ha⁻¹): 60 de N (nitrato de amônio), 60 de P₂O₅ (superfosfato simples) e 100 de K₂O (cloreto de potássio), aplicados aos 180 e 360 dias após o transplante (DAT). Ao longo do estudo realizados o controle entomológico de formigas cortadeiras e da vegetação concorrente.

Avaliação morfológica e fisiológica

Aos 730 DAT, o diâmetro à altura do coleto e altura total das árvores foram medidos. A partir disso, foi calculado o fator de produtividade (m³ ha⁻¹), seguindo metodologia de (Rubilar et al., 2008), multiplicado pela densidade de plantas.

O rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm) e a taxa de transporte de elétrons (ETRm) foram determinadas através da análise de emissão de fluorescência da clorofila a foi determinada aos 760 DAT, utilizando fluorômetro portátil de luz modulada (Junior-Pam Fluorometer, Walz, Alemanha). A amostragem foi realizada em cinco repetições de cada tratamento, em três acículas totalmente expandidas em cada planta, em dias ensolarados, durante o período da manhã, entre 8:00 e 9:30 a.m.

Após as determinações de fluorescência da clorofila a, as acículas foram coletadas e congeladas em N₂ líquido, para a análise dos pigmentos fotossintéticos. As concentrações de pigmentos foram calculadas pela absorvância em espectrofotômetro (Celm E-205D, Bel Engineering, Itália). O teor total de clorofila foi determinado pelo somatório dos valores de clorofila a e b.



Análise estatística

Os resultados obtidos dos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) à significância estatística de 5%, utilizando o pacote “ExpDes.pt” do software R (Ferreira et al., 2022). A normalidade dos resíduos foi testada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Sempre que a hipótese nula (médias iguais) foi rejeitada, as médias foram comparadas pelo teste Tukey.

Resultados e discussão

As plantas sob fertilização apresentaram um aumento de 32% no fator de produtividade, em comparação a omissão de P (Figura 1a). A concentração de clorofila total aumentou em 51% nas plantas sob fertilização, quando comparado a omissão de P e controle (Figura 1b). O aumento do fator de produtividade nas plantas cultivadas no solo com fertilização de P pode ter acontecido por causa da maior disponibilidade de P no solo. Isso pode ter acontecido porque o P estimula o desenvolvimento de raízes finas, o que pode aumentar o volume de solo explorado, potencializando a absorção de água e nutrientes, inclusive o P (Kulmann et al., 2022). Além disso, o aumento da disponibilidade de P no solo condicionou a maior área foliar, aumentando a capacidade de interceptação luminosa das plantas. Dessa forma, a transferência de fotoassimilados para o sistema radicular é favorecida, o que ativa a emissão de raízes finas, especialmente pela ativação dos transportadores de alta afinidade de P, como da família PHT1. Com isso, se espera que a emissão de raízes finas seja aumentada, decorrente de alterações na arquitetura radicular, principalmente no comprimento de raízes, visando sítios do solo ricos em P (Kulmann et al., 2020), essa forma, as plantas ficam menos dependentes de nutrientes derivados do solo. Mas também, parte dos nutrientes acumulados no sistema radicular podem ser redistribuídos para os órgãos em crescimento, auxiliando o *Pinus taeda* a resistir as condições de stress, como a baixa disponibilidade de nutrientes (Carlson et al., 2014; González-Rodríguez et al., 2017).

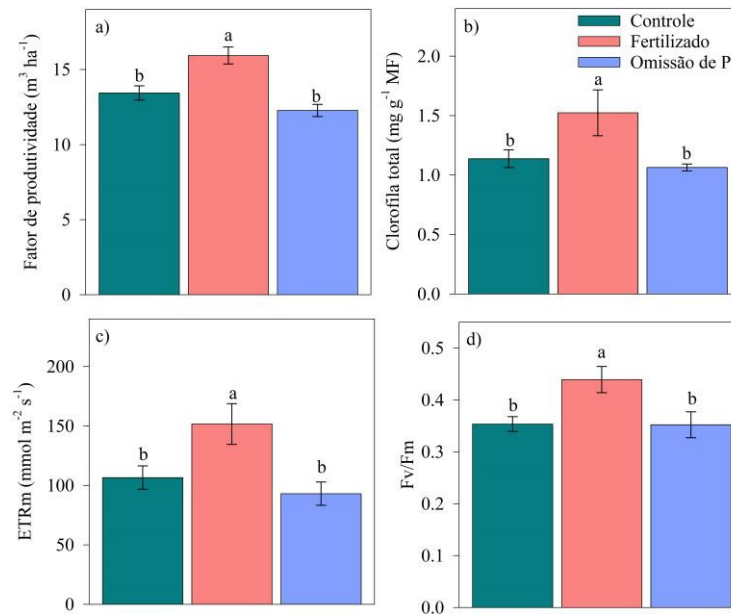
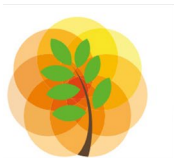


Figura 1. Fator de produtividade (a), clorofila total (b), taxa de transporte de elétrons (ETRm) (c) e rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm) (d) de *Pinus taeda* submetidas ao controle - sem fertilização; fertilizado e omissão de P. As barras verticais indicam o erro padrão (n = 12). Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre a fertilização pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

As plantas fertilizadas apresentaram incremento de 52 e 23% na taxa de transporte de elétrons (ETRm) e rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm), respectivamente, em comparação a omissão de P e controle (Figura 1c, d). O aumento da taxa de transporte de elétrons (ETRm) e rendimento quântico máximo do PSII (Fv/Fm) nas plantas fertilizadas está relacionado a menores perdas fotoquímicas e maior transferência de energia de excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação é aumentada (Carlson et al., 2014). Percebemos que isso ocorreu devido ao aumento da disponibilidade de P no solo e, conseqüentemente, nas acículas das plantas, o que elevou a energia utilizada em processos fotoquímicos da fotossíntese (Kulmann et al., 2022). Esses resultados indicam que o fornecimento adequado de P para as plantas de *Pinus taeda* favorece a fotossíntese, e conseqüentemente a produção de biomassa das plantas.

Conclusões

A fertilização de P aumenta a disponibilidade de P no solo, o contato das raízes e absorção de P pelas plantas. Com isso, a eficiência fotossintética foi aumentada, apresentando elevados valores de ETRm, Fv/Fm e clorofila total. Assim, a energia destinada aos processos fotoquímicos de



fotossíntese foi aumentada, potencializando o desenvolvimento de *Pinus taeda*, elevando o fator de produtividade das plantas.

Referências bibliográficas

- CARLSON, C.A.; FOX, T.R.; ALLEN, H.L.; ALBAUGH, T.J.; RUBILAR, R.A.; STAPE, J.L. Growth responses of loblolly pine in the southeast united states to midrotation applications of nitrogen, phosphorus, potassium, and micronutrients. *Forest Science*. v.60, p.157-69, 2014. <https://doi.org/10.5849/FORSCI.12-158>
- FERREIRA, B.; CAVALCANTI, P.; ALVES, D.; MAINTAINER, N.; FERREIRA, E.B. 'EspDes.pt': Experimental Designs pacakg; 2022.
- GATIBONI, L.C.; SILVA, W.C.; MUMBACH, G.L.; SCHMITT, D.E.; IOCHIMS, D.A.; STAHL, J.; VARGAS, C.O. Use of exchangeable and nonexchangeable forms of calcium, magnesium, and potassium in soils without fertilization after successive cultivations with *Pinus taeda* in southern Brazil. *Journal of Soils Sediments*. v.20, p.665-74, 2020. González-Rodríguez, H.; Ramírez-Lozano, R.G.; Cantú-Silva, I.; Gómez-
- MEZA, M.V.; ESTRADA-CASTILLÓN, E.; ARÉVALO, J.R. Deposition of litter and nutrients in leaves and twigs in different plant communities of northeastern Mexico. *Journal of Forestry Research*, v. 29, p. 1307-1314, 2018.
- GRACIANO, C.; FAUSTINO, L.I.; ZWIENIECKI, M.A. Hydraulic properties of *Eucalyptus grandis* in response to nitrate and phosphate deficiency and sudden changes in their availability. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. v.179, p.303- 309, 2016. <https://doi.org/10.1002/jpln.201500207>
- IBÁ – Indústria brasileira de árvores. Relatório anual 2022. 2022, 87p.
- KULMANN, M.S.S.; DICK, G.; EUFRADE-JUNIOR, H.J.; GUERRA, S.P.S.; SCHUMACHER, M.V. Soil physical-chemical aspects influence the fine roots parameters of *Pinus elliottii* Engelm. stands in southern Brazil. *Scientia Forestalis*. v.50, p.1-9, 2022.
- KULMANN, M.S.S.; STEFANELLO, L.O.; ARRUDA, W.S.; SANS, G.A.; PARCIANELLO, C.F.; HINDERSMANN, J.; BERGHETTI, Á.L.P.; ARAUJO, M.M.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G. Nitrogen supply methods affect the root growth dynamics in *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecology and Management*. v.473, p.118320, 2020.
- RUBILAR, R.; BLEVINS, L.; TORO, J.; VITA, A.; MUÑOZ, F. Respuesta temprana de *Pinus radiata* al control de malezas y la fertilización en suelos metamórficos de la Cordillera de la Costa de la Región del Maule. *Bosque*. v.29, p.74-84, 2008.

