

Fungos Micorrízicos Arbusculares no Teor e Acúmulo de Fósforo do Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) em Solo Contaminado com Rejeito de Carvão Mineral⁽¹⁾

Edenilson Meyer⁽²⁾; Shantau Camargo Gomes Stoffel⁽³⁾; Diana Morales⁽⁴⁾; Márcio José Rossi⁽⁵⁾; Admir José Giachini⁽⁵⁾; Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq proc. 561819/2010-6

⁽²⁾ Estudante de graduação em Agronomia, Bolsista Permanência; Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Florianópolis, SC; E-mail: edenilsonmeyer@hotmail.com. ⁽³⁾ Estudante de graduação em Agronomia, Bolsista PIBIC-CNPq; UFSC, Florianópolis, SC; ⁽⁴⁾ Estudante de Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais da UFSC, Bolsista PEC-PG, Florianópolis, SC; ⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia (MIP) da UFSC, Florianópolis, SC; ⁽⁶⁾ Professor Adjunto do MIP-UFSC, Bolsista Produtividade do CNPq.

RESUMO: A extração de carvão mineral causa sérios danos ambientais relacionados à acidificação, presença de contaminantes e baixa fertilidade do solo. Plantas como o vetiver apresentam tolerância a condições edáficas adversas, tornando-as promissoras para iniciar os processos de revegetação. No presente trabalho, avaliou-se os efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na absorção de P pelo vetiver em solo contendo rejeito de mineração de carvão. Foram avaliados seis tratamentos de inoculação de FMA e um tratamento não inoculado (NI). *Rhizophagus clarus* promoveu incrementos de 229% nos teores de P na parte aérea em relação ao tratamento NI. Em relação ao acúmulo de P, os FMA proporcionaram incrementos médios de 82, 194 e 300% para P acumulado nas raízes, parte aérea do primeiro (90 dias) e segundo corte (165 dias), respectivamente, sendo *Acaulospora colombiana*, *Gigaspora margarita* e *Rhizophagus clarus* os isolados mais eficientes para a nutrição fosfatada do vetiver.

Termos de indexação: simbioses radiculares, mineração, nutrição mineral

INTRODUÇÃO

O carvão mineral é uma fonte de energia muito utilizada no mundo, sendo a grande parte deste recurso destinado a geração de energia elétrica por meio de usinas termelétricas, e também utilizado para geração de energia térmica necessária para processos de fabricação de cerâmica e vidros. No Brasil as maiores jazidas situam-se nos estados do Rio Grande do Sul (89,25%) e Santa Catarina (10,41%), sendo as reservas neste último concentradas entre os municípios de Araranguá e Lauro Müller (DNPM, 1994).

Apesar de seu grande interesse econômico, o carvão mineral causa sérios danos ambientais, pois

a exposição dos sulfetos ao oxigênio atmosférico favorece a ocorrência de drenagem ácida, com consequente mobilização e solubilização de metais pesados, comprometendo grande parte dos recursos hídricos. Aliado a isso, a extração do carvão promove remoção da vegetação da superfície do solo acarretando destruição da estrutura do solo, redução da matéria orgânica e, consequentemente, redução da fertilidade do solo (Soares et al., 1997).

A replantagem da vegetação nativa ou implantação de espécies exóticas adaptadas possibilita a produção de matéria orgânica e a recuperação da comunidade microbiana do solo que possui papel fundamental na manutenção dos ecossistemas naturais. Uma das espécies que pode ser utilizada em programas de revegetação destas áreas é o vetiver (*Vetiveria zizanioides*) que apresenta características morfológicas e fisiológicas interessantes, como sistema radicular fasciculado e profundo e tolerância a condições climáticas e edáficas adversas como a presença de elevadas concentrações de elementos tóxicos (Truong, 2000). Outro motivo interessante para o uso do vetiver nestes ambientes é o fato desta espécie formar associação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) que são fundamentais para a nutrição vegetal, contribuindo com até 80% do P, 60% do Cu, 25% do N, 25% do Zn e 10% do K absorvidos pelas plantas. Desta forma, os FMA desempenham importante papel para a absorção de nutrientes que apresentam baixa mobilidade no solo, como é o caso do P, cujos benefícios variam entre os isolados fúngicos e as plantas envolvidas na simbiose (Moreira & Siqueira, 2006). Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da inoculação de isolados de FMA na absorção de P pelo vetiver em solo contendo rejeito de mineração de carvão proveniente de uma área degradada situada na região de Criciúma, SC.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia da UFSC, utilizando-se solo contendo rejeitos de carvão mineral coletado em uma área da extinta ICC (Indústria Carboquímica Catarinense), nas proximidades da cidade de Criciúma, região do extremo Sul do Estado de Santa Catarina. Esse solo apresentou as seguintes características químicas: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 3,8$; mat. Orgânica = 86 g kg^{-1} ; $\text{Al}^{3+} = 6,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis = $1,9$ e $3,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente; $\text{P}_{\text{Mehlich-1}} = 0,84 \text{ mg dm}^{-3}$; teores de elementos-traço, em mg kg^{-1} de: $8,60$ (As), $17,3$ (Cd), 125 (Pb) e 422 (Zn), sendo muitos destes valores superiores aos valores de prevenção da lista de referência da CETESB (2005), caracterizando este solo com elevada acidez, baixa fertilidade e elevado grau de contaminação. O solo foi acondicionado em tubetes com capacidade de 300 cm^3 e esterilizados em autoclave a $121 \text{ }^\circ\text{C}$ por duas horas. Mudanças de vetiver foram obtidas comercialmente, multiplicadas em substrato estéril contendo mistura de areia e vermiculita (1:1 v/v) e selecionadas por tamanho no momento do transplante para os tubetes. As raízes foram lavadas em água corrente para retirada de substratos e elementos que pudessem interferir na composição química do solo em estudo.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, composto de um tratamento testemunha não inoculado (NI) e seis tratamentos inoculados com FMA, incluindo *Acaulospora colombiana*, *A. morrowiae*, *A. scrobiculata*, *Dentiscutata heterogama*, *Gigaspora margarita* e *Rhizophagus clarus*. Esses isolados foram selecionados com base nos benefícios no crescimento de plantas em solos multi-contaminados (Silva et al., 2006). A inoculação dos FMA foi realizada no momento do transplante do vetiver, aplicando-se uma suspensão de modo a fornecer 50 esporos por tubete. Os esporos foram extraídos de vasos de cultivo contendo *Brachiaria decumbens* por meio de peneiramento úmido seguido de centrifugação em gradiente de sacarose (Gerdemann & Nicolson, 1963).

O experimento foi conduzido por um período de 165 dias, efetuando-se irrigações periódicas e aplicação quinzenal de solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950) com baixo P (15 mg dm^{-3}). Realizou-se dois cortes da parte aérea do vetiver, um aos 90 dias e outro ao final do experimento (165 dias) com a desmontagem dos tubetes, sendo o material submetido a secagem em estufa para posterior determinação do teor de P na matéria seca

da parte aérea nos dois cortes e também raízes das plantas.

A matéria seca da parte aérea do primeiro corte, do segundo corte e as raízes, após serem lavadas com água corrente, foram secas em estufa a 60°C e, após, moídas e submetidas à digestão nitroperclórica (Zasosky & Burau, 1977), e os extratos foram empregados para determinação dos teores de P por espectrofotometria pelo método de Murphy & Riley (1962). A quantidade de P acumulada nos tecidos foi calculada multiplicando-se o teor deste elemento na parte aérea e raízes por sua respectiva produção de massa seca. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 1998) e os gráficos gerados com o erro-padrão da média utilizando-se o software Sigma-Plot v. 12 (Systat Corp.).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho é uma continuidade dos resultados publicados na FertBio 2012 em que verificou-se que a colonização micorrízica do vetiver variou de 0,38 a 29%, sendo os maiores valores observados para os isolados *R. clarus*, seguido por *A. colombiana* e *G. margarita*. Ainda verificou-se que a inoculação de FMA beneficiou o crescimento do vetiver com incrementos superiores a 200%, principalmente para os fungos *G. margarita* e *A. colombiana* (Meyer et al., 2012).

Na **Figura 1** são apresentados os efeitos da inoculação de diferentes isolados de FMA sobre os teores e a quantidade acumulada de P na parte aérea e raízes do vetiver aos 90 (1º corte) e 165 dias (2º corte). Verifica-se que os teores de P na parte aérea foram influenciados pela inoculação de FMA, sendo constatados, aos 90 dias, incrementos da ordem de 229 % no tratamento com *R. clarus* em relação ao controle não inoculado. Os teores de P na parte aérea no segundo corte foram inferiores àqueles constatados na primeira avaliação, mas ainda assim verificou-se teores mais elevados nos tratamentos contendo FMA, comportamento este semelhante observado nos teores de P nas raízes quando inoculou-se *R. clarus*. Estes resultados evidenciam a importância do *R. clarus* para a nutrição fosfatada do vetiver em solo contendo rejeito de mineração de carvão e isso pode ter relação com os maiores valores de colonização micorrízica (Meyer et al., 2012) e também pela alta velocidade de crescimento e produção de esporos deste gênero conforme relatado por Hart et al. (2002).

Já em relação ao acúmulo de P, a inoculação de FMA proporcionou incrementos médios de 82, 194 e 300% para P acumulado nas raízes, parte aérea do

primeiro e segundo corte, respectivamente, em relação ao tratamento não inoculado. Os fungos que mais contribuíram para o acúmulo de P no vetiver foram *A. colombiana*, *G. margarita* e *R. clarus* e isso se deve ao estímulo na produção de matéria seca, pelos dois primeiros (Meyer et al., 2012), enquanto o último promoveu incrementos nos teores deste elemento na planta, conforme discutido anteriormente. Essa maior absorção de P pelas plantas associadas aos FMA se deve ao maior volume de solo explorado e a grande eficiência desses fungos em absorver este nutriente por suas hifas, mas isto é variável conforme as combinações FMA-planta simbiótica. De fato, de maneira geral, os tratamentos com *A. morrowiae*, *A. scrobiculata* e *D. heterogama* foram pouco eficientes na absorção de P pelo vetiver em solo contendo rejeito de mineração de carvão, não sendo, portanto, recomendados para a produção de mudas desta espécie. Outro ponto que merece ser destacado é o maior acúmulo de P na parte aérea em relação às raízes do vetiver quando inoculadas com FMA (incremento médio de 50%), fato importante quando se pretende fazer o enriquecimento deste nutriente na camada superficial do solo após deposição desse material vegetal. Isso pode favorecer a utilização de P por outras espécies vegetais, acelerando o processo de recuperação das áreas impactadas. Apesar dos mecanismos fisiológicos e bioquímicos que favorecem as plantas micorrizadas em ambientes sob estresse abiótico não estarem completamente elucidados, uma maior absorção de nutrientes por estas plantas pode ser um dos motivos para o seu melhor desempenho em ambientes impactados (Kafkas & Ortas, 2009). Desta forma, a inoculação de isolados selecionados de FMA para o vetiver com intuito de promover melhorias no estado nutricional de P desta espécie, pode contribuir para o seu estabelecimento em solos degradados pela mineração de carvão.

CONCLUSÕES

Mudas de vetiver micorrizadas apresentam melhorias no estado nutricional de P e isto pode explicar a sua capacidade de estabelecimento em solos degradados pela mineração de carvão.

A inoculação com *Acaulospora colombiana*, *Gigaspora margarita* e *Rhizophagus clarus* favorece a absorção de P pelo vetiver em solo contendo rejeito de mineração de carvão, enquanto *A. morrowiae*, *A. scrobiculata* e *Dentiscutata heterogama* foram pouco eficientes.

REFERÊNCIAS

- DNPM (Departamento Nacional da Produção Mineral). Informativo anual da indústria carbonífera. Brasília, 1994. 265 p.
- FERREIRA, D.F. Sistemas de análise estatística para dados balanceados. Lavras: Ufla: DEX: Sisvar, 1998. 141p.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British mycological Society, 46: 235-244, 1963.
- HART, M.; READER, R.J. Taxonomic bases for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist, 153: 335-344, 2002.
- HOAGLAND, D.; ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soil. California Agriculture Experimental Station Circular, 1950. 347p.
- KAFKAS, S.; ORTAS, I. Various mycorrhizal fungi enhance dry weights, P and Zn uptake of four *Pistacia* species. J. Plant Nutr., 32:146-159, 2009.
- MEYER, E.; SOUZA, R. I.; ARMAS, R. D.; GIACHINI, A. J.; ROSSI, M. J.; SOARES, C.R.F.S. Fungos Micorrízicos Arbusculares no Crescimento e Colonização Micorrízica do Vetiver em Solo Contaminado com Rejeito de Carvão Mineral. In: FERTBIO 2012. Anais. Maceió (AL): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. CD-ROM.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2ª edição atualizada e ampliada. Lavras, Editora UFLA, 2006. 729 p.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, 27:31-36, 1962.
- SILVA, S.; SIQUEIRA, J.O.; SOARES, C.R.F.S. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 12: 1749-1757, 2006.
- SOARES, E.R.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M.; CORRÊA, M.L.T. Drenagem ácida em materiais provenientes da mineração de Candiota (RS). Instituto de geociências – UFMG. Geonomos, 5:67-72, 1997.
- TRUONG, P. Vetiver grass technology for environmental protection. In: Proceedings of the 2nd International Vetiver Conference: Vetiver and the Environment. 2000. Annals. Cha Am: Thailand, 2000.
- ZASOSKI, R. J.; BURAU, R. G. A rapid nitric-perchloric acid digestion method for multi-element tissue analysis. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 3: 425-436, 1977.

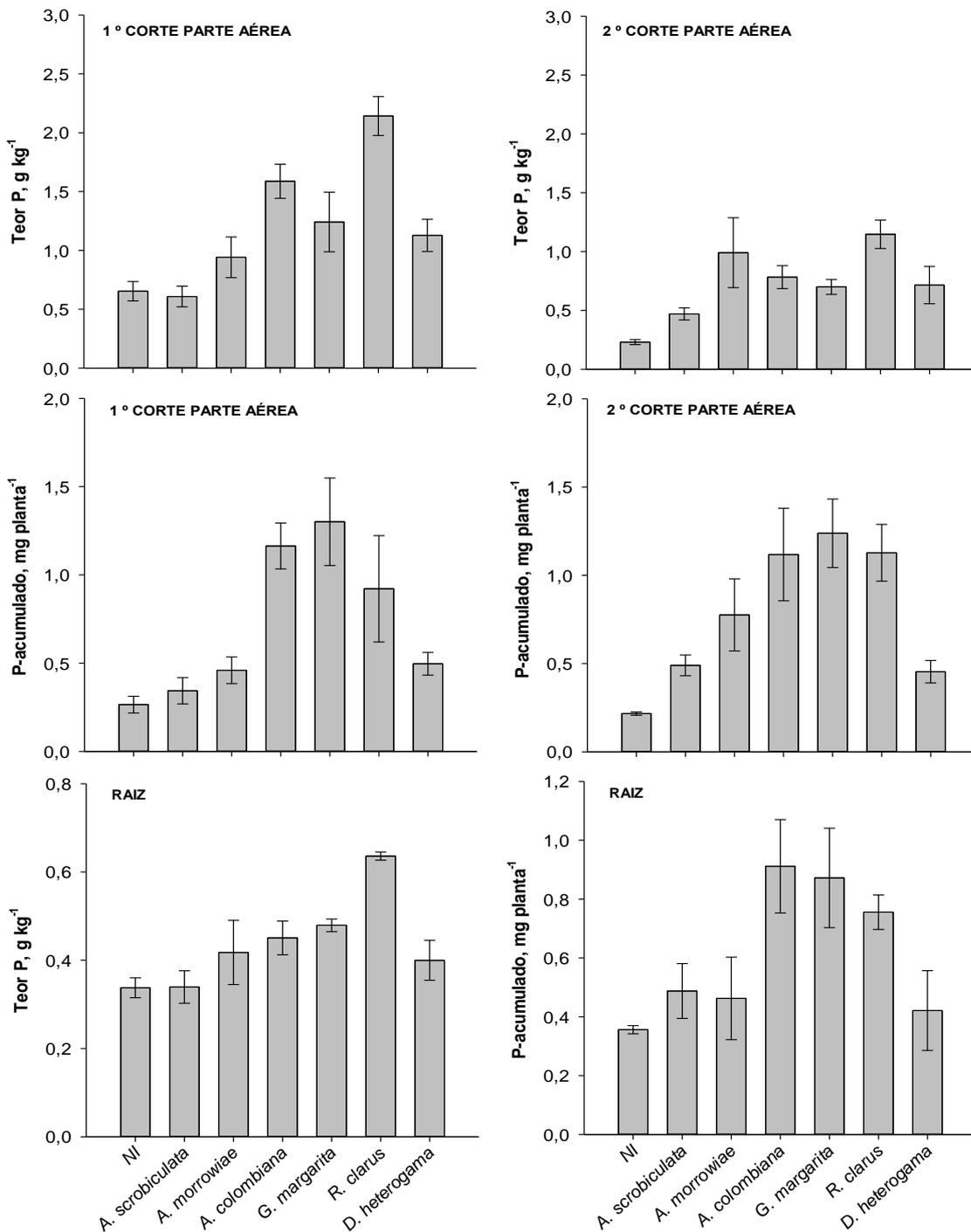


Figura 1- Teor e acúmulo de P na parte aérea e raízes do vetiver em duas épocas de avaliação em solo contendo rejeito de carvão mineral. NI = tratamento não-inoculado