



INTERAÇÃO ENTRE BIOCHAR, ESTERCO DE AVES E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE PAU-PRETO (*Cenostigma tocantinum*)

Ruan Santos de Farias¹, Adrielly Souza de Oliveira¹, Vanessa Nascimento Brito^{1,2}

¹ Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil (ruansantos1n2@gmail.com)

^{1,2} Faculdade de Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil

Resumo: O estudo avaliou o efeito de fungos micorrízicos arbusculares, Biochar e esterco de aves no crescimento inicial de mudas de pau-preto (*Cenostigma tocantinum*). O experimento foi conduzido na UFPA com seis tratamentos. Houve diferenças significativas para altura e diâmetro do coleto, com destaque para alguns tratamentos combinados. O comprimento da raiz não deferiu entre tratamentos. Os resultados indicam potencial no uso desses insumos para produção de mudas e reflorestamento.

Palavras-chave: Reflorestamento; recuperação de áreas degradadas; restauração ecológica; inoculação microbiana.

INTRODUÇÃO

A qualidade das mudas é um fator fundamental para o sucesso no desenvolvimento das plantas, influenciando diretamente sua sobrevivência e crescimento após o transplante (Lima Filho *et al.* 2019). Características como altura, diâmetro do coleto e sistema radicular bem desenvolvido são essenciais para um bom estabelecimento no solo (Silva *et al.* 2023). Além disso, o substrato exerce papel importante, pois deve fornecer nutrientes, garantir aeração e retenção de água adequadas (Correa *et al.* 2019). Nesse contexto, o uso de resíduos orgânicos como substratos alternativos tem se destacado por ser uma opção viável, econômica e sustentável, especialmente pelo reaproveitamento de materiais disponíveis (Medeiros *et al.* 2018).

O uso de espécies nativas favorece a adaptação ao ambiente e aumenta as chances de sucesso no reflorestamento (Oliveira *et al.* 2014; Vieira *et al.* 2021). No entanto, o avanço do desmatamento na Amazônia tem causado sérios impactos ambientais, como perda de biodiversidade, alterações nos ciclos hidrológicos e aumento das emissões de gases de efeito estufa (Branco *et al.* 2021; Anderson *et al.* 2021). Esse cenário reforça a necessidade de estratégias sustentáveis para recuperação ambiental (Cruz *et al.* 2016; Ferigato *et al.* 2021).

Dentre as espécies nativas com potencial para reflorestamento, destaca-se a *Cenostigma tocantinum* Ducke (pau-preto), pertencente à família Fabaceae (Santos *et al.* 2020). Essa espécie apresenta rápido crescimento, tronco reto, copa densa e boa adaptação, sendo indicada tanto para recuperação de áreas

degradadas quanto para uso urbano (Coradin *et al.* 2022). Essas características tornam o pau-preto uma alternativa promissora para programas de produção de mudas e restauração ecológica (Diniz *et al.* 2022; Parisi *et al.* 2019).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos do filo Glomeromycota que estabelecem uma relação simbiótica com as raízes da maioria das plantas terrestres (Freitas *et al.* 2014). Nessa associação, os fungos ampliam a área de absorção radicular, favorecendo a captação de água e nutrientes, especialmente fósforo, além de contribuir para maior tolerância das plantas a estresses ambientais (Mccutcheon e Lekberg, 2019; Berude *et al.* 2015; Augé *et al.* 2015).

Além disso, a aplicação de Biochar e matéria orgânica, como o esterco de aves, pode melhorar as propriedades físicas e químicas do solo e estimular a atividade microbiana, potencializando os efeitos benéficos dos FMA (Rogovska *et al.* 2014; Silva *et al.* 2021; Araújo *et al.* 2018; Santos *et al.* 2020; Silva *et al.* 2022; Nardi *et al.* 2023). Dessa forma, com este estudo, pretende-se avaliar o crescimento e a qualidade das mudas de *Cenostigma tocantinum*, visando fortalecer o uso de técnicas aprimoradas no reflorestamento de ecossistemas em recuperação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório de Microbiologia da Faculdade de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará (UFPA), campus Altamira. Inicialmente, realizou-se a multiplicação dos esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) da coleção do laboratório de

microbiologia, utilizando uma mistura de solo e areia na proporção 1:1 (v/v), onde foram semeadas sementes de milho previamente desinfestadas com hipoclorito de sódio a 2,5% por 30 segundos. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação por 60 dias e, após esse período, a parte aérea das plantas foi cortada, mantendo-se os vasos sem irrigação por mais 30 dias para estimular a esporulação. Em seguida, o substrato contendo os esporos foi armazenado sob refrigeração até a instalação do experimento.

Posteriormente, foi preparado o substrato experimental com a mistura de solo e areia (1:1), acrescido de Biochar (15%), esterco de aves (15%) e inóculo de FMA (20 g por saco), conforme os tratamentos. O solo utilizado foi terra preta comum, a areia proveniente da construção civil, o Biochar de origem comercial e o esterco de aves adquirido em casa agropecuária, enquanto o inóculo de FMA foi obtido da coleção do laboratório.

As sementes de *Cenostigma tocantinum* foram coletadas em árvores matrizes no *campus* da UFPA em Altamira, sendo posteriormente beneficiadas e selecionadas para a semeadura em sacos de polietileno. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, composto por seis tratamentos e seis repetições, totalizando 36 plantas, incluindo controle, aplicação isolada e combinada de Biochar, esterco de aves e FMA.

Após 60 dias de cultivo, foram avaliadas as variáveis altura da parte aérea, diâmetro do colo e comprimento da raiz. As medições foram realizadas com régua milimetrada e paquímetro digital. Essas avaliações permitiram analisar o efeito dos diferentes tratamentos no crescimento inicial das mudas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de Variância (ANOVA) (Gotelli; Ellison 2012), utilizando o teste F ao nível de 5% de probabilidade, com o objetivo de verificar o efeito dos tratamentos sobre as variáveis analisadas. Quando constatado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, como alguns de nossos dados não cumpriram os pressupostos de homogeneidade e normalidade, utilizamos o teste não paramétrico Kruskal-Wallis. Todas as análises foram realizadas no software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variável altura apresentou resíduos com distribuição normal, porém sem homogeneidade de variâncias entre os tratamentos. Dessa forma, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, que indicou diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$). As mudas de *C. tocantinum* submetidas aos tratamentos T2 e T5 apresentaram maiores valores médios de altura, variando entre 21,3 cm e 24,57 cm, indicando efeito positivo desses tratamentos no crescimento inicial das

plantas (Figura 1). No entanto, não houve diferença estatística em relação ao tratamento controle (T1), que apresentou média de 23,58 cm, demonstrando desempenho semelhante entre os tratamentos e impossibilitando afirmar superioridade do controle.

Resultados semelhantes foram observados por Soares *et al.* (2012), os quais relataram que a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em mudas de jenipapo proporcionou incremento na altura das plantas, variando de 25,3% a 44,4%, porém sem diferir estatisticamente do controle. Esses achados reforçam que, em algumas espécies florestais, a inoculação pode favorecer o crescimento inicial, embora nem sempre resulte em diferenças estatísticas em comparação ao tratamento sem aplicação. Em contrapartida, o tratamento T6 apresentou os menores valores médios de altura, indicando menor eficiência para o desenvolvimento das mudas de pau-preto.

Esse comportamento pode estar relacionado a condições desfavoráveis ao crescimento vegetal ou a possíveis interferências na associação simbiótica entre planta e microrganismos. Tal resultado está de acordo com Nouri *et al.* (2014), que relataram que elevadas concentrações de nutrientes provenientes de matéria orgânica podem comprometer a simbiose micorrízica e reduzir o crescimento das plantas.

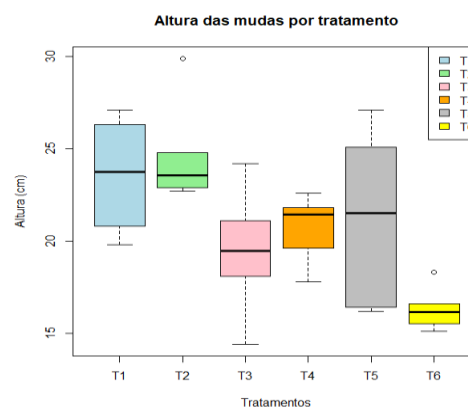


Figura 1. Boxplot da altura (cm) de mudas de *C. tocantinum* em diferentes tratamentos. A linha central representa a mediana, as caixas os quartis e os bigodes a variação dos dados.

A variável diâmetro do coleto apresentou resíduos com distribuição normal, porém sem homogeneidade de variâncias entre os tratamentos. Dessa forma, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, que indicou efeito significativo dos tratamentos sobre essa variável ($p < 0,05$). Os maiores valores médios foram observados nos tratamentos T2 (1,34 mm), T4 (1,13 mm) e T5 (1,06 mm), embora não tenham diferido estatisticamente entre si, demonstrando desempenho semelhante.



Esses efeitos positivos podem ser explicados pela capacidade dos fungos micorrízicos arbusculares em ampliar a absorção de nutrientes, especialmente fósforo, em solos com baixa disponibilidade, conforme relatado por Wen *et al.* (2022). O Biochar, por sua vez, pode ter atuado como condicionador do solo, promovendo maior retenção de água e aumento da disponibilidade de nutrientes, favorecendo o incremento do diâmetro do coleto, em concordância com Warnock *et al.* (2007).

Em contrapartida, o tratamento T6 apresentou os menores valores médios para essa variável, o que pode indicar possíveis interações negativas entre microrganismos presentes no esterco e os fungos micorrízicos, limitando a colonização radicular e o crescimento das mudas, como sugerido por Nirukshan *et al.* (2022). Esse resultado reforça a importância de considerar as interações entre Biochar, microrganismos e fontes orgânicas na adoção dessas práticas visando otimizar o desenvolvimento vegetal (Tabela 2).

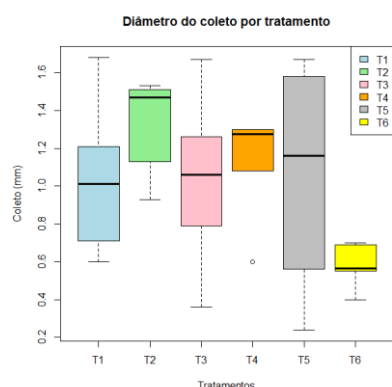


Figura 2. Boxplot do diâmetro do coleto (mm) de mudas de pau-preto submetidas a diferentes tratamentos. A linha central representa a mediana, as caixas os quartis e os bigodes a variação dos dados.

A variável comprimento da raiz apresentou resíduos com distribuição normal e homogeneidade de variâncias entre os tratamentos, atendendo aos pressupostos da análise de variância. Dessa forma, utilizou-se a ANOVA, que não indicou diferença significativa entre os tratamentos ($p = 0,252$), demonstrando que, nas condições experimentais avaliadas, os tratamentos não influenciaram o crescimento radicular das mudas de pau-preto.

Embora o tratamento T5 tenha apresentado a maior média de comprimento de raiz (27,05 cm), essa superioridade não foi estatisticamente significativa em relação aos demais tratamentos (Tabela 3). Esse resultado sugere que o comprimento radicular pode ser menos sensível à aplicação dos insumos testados quando comparado a outras variáveis morfológicas, como altura ou diâmetro do coleto.

Esses achados corroboram com Bock *et al.* (2015) e Huang *et al.* (2019), que relataram que, em determinados contextos, o Biochar pode exercer maior influência sobre atributos como retenção de nutrientes, melhoria das condições do solo e estímulo à atividade micorrízica, sem necessariamente promover incrementos diretos no crescimento das raízes.

CONCLUSÃO

Os tratamentos aplicados promoveram respostas distintas no crescimento inicial das mudas de *C. tocaninum*, influenciando principalmente as características da parte aérea. De modo geral, alguns manejos mostraram potencial para favorecer o desenvolvimento das plantas, enquanto outros apresentaram menor eficiência. Assim, a utilização combinada de insumos biológicos e condicionadores de solo pode ser uma alternativa promissora para a produção de mudas da espécie. Contudo, novos estudos devem ser realizados para ampliar o conhecimento sobre essas interações e definir as melhores condições de uso para a espécie.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará, em especial à Faculdade de Ciências Biológicas. Ao Laboratório de Microbiologia, pelo espaço concedido, apoio técnico e contribuição fundamental para a realização deste trabalho e ao Programa de Pós Graduação em Biodiversidade e Conservação. Adrielly Souza de Oliveira gostaria de agradecer pela bolsa de mestrado, CAPES (Processo: nº 88887.154488/2025-00).

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, P. R.; MERGULHÃO, J. C.; STOFFES, J. M. J.; STEIN, C. R. Simulação do efeito estufa, da intensificação do efeito estufa pela presença de CO₂ e do impacto da mudança da cobertura da Terra na temperatura média do meio utilizando o Arduino. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, e20200355, 2021.
- ARAÚJO, M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A. Produção de sementes e mudas: um enfoque à Silvicultura. Santa Maria: UFSM, p. 448, 2018.
- AUGÉ, R. M.; TOLER, H. D.; SAXTON, A. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, v. 25, p. 13-24, 2015.
- BERUDE, M. C.; ALMEIDA, D. S.; RIVA, M. M.; CABANÊZ, P. A.; AMARAL, A. A. Micorizas e sua importância agroecológica. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, v. 11, p. 132, 2015.
- BOCK, E.; SMITH, N.; ROGERS, M.; COLEMAN, B.; REITER, M.; BENHAM, B.; EASTON, Z. M.



- Enhanced Nitrate and Phosphate Removal in a Denitrifying Bioreactor with Biochar. V. 44, n. 2, p. 605-613, 2015.
- BRANCO, A. F. V. C.; LIMA, P. V. P. S.; MEDEIROS FILHO, E. S.; COSTA, B. M. G.; PEREIRA, T. P. Avaliação da perda da biodiversidade na Mata Atlântica. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 1885-1909, 2021.
- CORADIN, L.; CAMILO, J.; VIEIRA, I. C. G. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Norte. 53. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022.
- CORREA, B. A.; PARREIRA, M. C.; MARTINS, J. D. S.; RIBEIRO, R. C.; SILVA, E. D. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia Tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 9, n. 1, p. 97-104, 2019.
- CRUZ, F. R. D. S.; ANDRADE, L. A. D.; FEITOSA, R. C. Produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 1, p. 69-80, 2016.
- DINIZ, A. Y. S.; OLIVEIRA, T. N.; QUADROS, B. R.; PAMPLONA, V. M. S.; RIBEIRO, O. D. Biometria de frutos, sementes e plântulas de *Cenostigma tocaninum* Ducke. *Society and Development*, v. 11, n. 11, p. e460111133773, 2022.
- FERIGATO, E.; ROSINI, A. M.; CONCEIÇÃO, M. M.; CONCEIÇÃO, J. T. P. Desmatamento da Amazônia brasileira. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade - RMS*, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 183-197, 2021.
- FREITAS, K. M. L. D.; FURLANI, P. R.; RODRIGUES, C. A. M.; DIAS, S. A. P. Resposta do cafeeiro à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, em latossolo vermelho, do cerrado, 2014.
- GOTELLI, N. J., and A. M. Ellison. A primer of ecological statistics. Second edi. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers, 2012.
- HUANG, L.; MENGMEG, G. Effects of Biochar on Container Substrate Properties and Growth of Plants—A Review. *Horticulturae*, v. 5, n. 1, p. 14, 2019.
- KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, v. 47, n. 260, p. 583-621, 1952.
- LIMA FILHO, P.; LELES, P. S. D. S.; ABREU, A. H. M. D.; SILVA, E. V. D.; FONSECA, A. C. D. Produção de mudas de *Ceiba speciosa* em diferentes volumes de tubetes utilizando o biossólido como substrato. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 1, p. 27-39, 2019.
- MCCUTCHEON, J. P.; LEKBERG, Y. Symbiosis: Fungi as Shrewd Trade Negotiators. Elsevier, v. 29, p. 570-572, 2019.
- MEDEIROS, M. B. C. L.; JESUS, H. I.; SANTOS, N. F.; MELO, M. R. S.; SOUZA, V. Q.; BORGES, L. S. B.; GUERREIRO, A. C.; FREITAS, L. S. Índice de qualidade de Dickson e característica morfológica de mudas de pepino, produzidas em 33 diferentes substratos alternativos. *Agroecossistemas*, v. 10, n. 1, p. 159-173, 2018.
- NARDI, F. S.; CHIOMENTO, J. L. T.; COSTA, R. C.; TRENTIN, N. S.; TRENTIN, T. S.; LIMA, G. S.; CALVETE, E. O. Alterações morfofisiológicas promovidas pela micorriza arbuscular em plantas hortícolas: uma revisão integrativa. In: SANTOS, C. C. (ed.). Manejo fisiológico e nutricional de plantas: abordagens práticas na agricultura. Guarujá: Científica Digital, p. 79-95, 2023.
- NIRUKSHAN, G. S.; RANASINGHE, S.; STEUTEL, S. The effect of biochar on mycorrhizal fungi mediated nutrient uptake by coconut (*Cocos nucifera* L.) seedlings grown on a Sandy Regosol. *Springer*, v. 4, p. 68, 2022.
- NOURI, E.; SESSOMS, B. F.; FELLER, U.; REINHARDT, D. Phosphorus and Nitrogen Regulate Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in *Petunia hybrida*. *PLOS One*, v. 9, n. 3, p. e90841, 2014.
- OLIVEIRA, K. S. D.; OLIVEIRA, M. D. S.; PEREIRA, E. C.; LIMA, S. C. D.; ALOUFA, M. A. I. Efeito de diferentes meios de cultura na germinação in vitro de sementes de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes). *Revista Árvore*, v. 38, n. 4, p. 601-607, 2014.
- PARISI, J. J. D.; SANTOS, A. F.; BARBEDO, C. J.; MEDINA, P. F. Patologia de sementes florestais: danos, detecção e controle, uma revisão. *Summa Phytopathologica, Botucatu*, v. 45, n. 2, p. 129-133, 2019.
- ROGOVSKA, N.; LAIRD, D. A.; RATHAKE, S. J.; KARLEN, D. L. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma*, p. 230-231, 2014.
- SANTOS, C. C.; GUEDES JORGE, H. P.; DIAS, L. G. F.; VIEIRA, M. C. Shading levels and



substrates affect morphophysiological responses and quality of *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg seedlings. *Floresta e Ambiente*, v. 27, n. 2, p. e20190119, 2020.

SANTOS, T. M.; ALBUQUERQUE, A. R.; RAIMAM, M. P. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de *Cenostigma tocaninum* Ducke (Fabaceae). *Scientia Plena*, v. 16, n. 12, 2020.

SILVA, C. G. S.; SILVA, M. E. C. M.; FERREIRA, G. S.; SILVA, M. L. R. B.; OLIVEIRA, J. P.; SOUZA, R. J. C. Levantamento bibliográfico sobre a associação de rizóbios e fungos micorrízicos arbusculares em *Vigna unguiculata* L. Walp. (feijão caupi). *Research, Society and Development*, v. 11, n. 13, p. e297111335412, 2022.

SILVA, E.; SILVA, M. Impacts of biochar on soil microbial communities and nutrient dynamics in agricultural soils: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 306, p. 107-112, 2021.

SILVA, M. C.; OLIVEIRA, R. V.; MOTA, B. B.; DA SILVA, M. C.; FERREIRA, R. L. F. Qualidade de mudas de espinafre da Amazônia (*Alternanthera sessilis* L.) propagadas por estacas. *Scientia Naturalis*, v. 5, n. 1, p. 238-251, 2023.

SOARES, A. C. F.; SOUSA, C. S.; GARRIDO, M. S.; LIMA, F. S. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 1, p. 47-54, 2012.

VIEIRA, J. S.; CAVALCANTE, U. R.; DIAS, J. P. T. Recuperação de áreas degradadas com frutíferas nativas. In: DIAS, J. P. T.; MATA, J. F. Cultivo de frutíferas em clima tropical. Campina Grande: EPTEC, 2021.

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLIG, M. C. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Marschner Review*, v. 300, p. 9-20, 2007.

WEN, Z.; CHEN, Y.; LIU, Z.; MENG, J. Biochar and arbuscular mycorrhizal fungi stimulate rice root growth strategy and soil nutrient availability. *Elsevier*, v. 113, p. 103448, 2022.