BIOCARVÃO DE RESÍDUOS DE CUPUAÇUZEIRO ASSOCIADO À ADUBAÇÃO MINERAL NO DESENVOLVIMENTO DO JAMBU

Maia, Bruno Kleidson da Silva[1]; CANUTO, Matheus Gustavo dos Santos [2]; DOS SANTOS, Luan Gabriel Belém[3]; DE JESUS, Kalwan Maciel Martins[4]; DA SILVA, Pedro Henrique Costa[5]; DE OLIVEIRA, Lívia Alves.

[1] Universidade Estadual Paulista – bruno.maia@unesp.br; [2] Universidade Federal Rural da Amazônia – engmatheuscanuto@gmail.com; [3] Universidade Federal Rural da Amazônia – luan.santos5210@gmail.com; [4] Universidade Federal Rural da Amazônia – kalwanjesus6@gmail.com; [5] Universidade Federal Rural da Amazônia - pedro.henriquecosta1010@gmail.com; [6] Universidade Federal Rural da Amazônia – liviaoliver1920@gmail.com.

RESUMO

A busca por sistemas agrícolas sustentáveis tem estimulado o uso de tecnologias que melhorem a fertilidade do solo e promovam o reaproveitamento de resíduos agroindustriais. Entre essas alternativas, o biocarvão destaca-se por sua capacidade de modificar propriedades químicas e físicas do solo, além de favorecer a eficiência nutricional das plantas. Na Amazônia, resíduos do cupuaçuzeiro representam uma fonte abundante de biomassa para produção de biocarvão, alinhando-se aos princípios da economia circular ao transformar materiais descartados em insumos agrícolas. Este estudo avaliou os efeitos da aplicação de biocarvões produzidos a partir da casca de cupuaçu e de podas fitossanitárias, isolados ou combinados com adubação mineral, sobre o desenvolvimento do jambu (*Acmella oleracea*) cultivado em Latossolo Amarelo. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com diferentes doses de biocarvão associadas a 50% da adubação mineral, comparando-se os resultados aos tratamentos com 50% e 100% de adubação sem biocarvão. As avaliações incluíram altura de plantas, número de folhas e massa fresca. Os resultados demonstraram que doses iniciais de biocarvão combinadas a 50% da adubação proporcionaram incrementos no crescimento, atingindo desempenho equivalente ao uso de 100% da adubação mineral. As respostas positivas devem-se, provavelmente, à maior retenção de nutrientes e à melhoria das condições estruturais do solo. Assim, o uso de biocarvão derivado de resíduos do cupuaçuzeiro constitui estratégia promissora para reduzir a dependência de fertilizantes minerais e fortalecer práticas agrícolas sustentáveis na região Amazônica.

Palavras-Chave: Sustentabilidade agrícola; Economia circular; Nutrição de plantas; *Acmella oleracea*.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por sistemas agrícolas mais sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias capazes de melhorar a fertilidade do solo e, simultaneamente, promover o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, em consonância com os princípios da economia circular (Gupta et al., 2021). Entre essas tecnologias, destaca-se o biocarvão (biochar), um material carbonáceo obtido pela pirólise de resíduos orgânicos, reconhecido por sua capacidade de modificar propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, contribuindo para a eficiência nutricional das culturas (Lehmann et al., 2015; Azevedo et al., 2021).

Na região Amazônica, resíduos provenientes da cadeia produtiva do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) representam uma fonte abundante de biomassa, cuja casca corresponde a cerca de 40% do peso do fruto. De modo semelhante, resíduos de podas fitossanitárias são frequentemente descartados por queima, ampliando impactos ambientais (Ribeiro et al., 2019; Mendonça et al., 2021). A conversão desses materiais em biocarvão constitui uma alternativa sustentável, capaz de reduzir o descarte inadequado e fornecer um insumo de elevado potencial agronômico, especialmente por seus efeitos na retenção de água, elevação do pH, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e adsorção de nutrientes (Araújo et al., 2021).

A associação do biocarvão à adubação mineral tem se mostrado eficiente no incremento da fertilidade do solo e no desempenho de culturas tropicais, como o jambu (*Acmella oleracea*), espécie de relevância econômica e cultural para a Amazônia. Pesquisas demonstram que o biochar pode melhorar a disponibilidade de nutrientes, favorecer a atividade microbiológica e contribuir para maior crescimento vegetal, sobretudo quando utilizado em conjunto com fertilizantes minerais (Lehmann et al., 2011).

Nesse contexto, o uso de biocarvão derivado de resíduos do cupuaçuzeiro, aliado exclusivamente à adubação mineral, representa uma estratégia promissora para intensificar a produtividade agrícola na região Amazônica, ao mesmo tempo em que reduz impactos ambientais decorrentes do acúmulo e descarte inadequado de resíduos agroindustriais. Assim, este estudo busca avaliar os efeitos dessa combinação na fertilidade do solo e no desenvolvimento do jambu, contribuindo para o avanço de práticas sustentáveis alinhadas à economia circular.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada a 48°23' O e 1°31' S, a 16 m de altitude. Utilizou-se um Latossolo Amarelo Distrófico de textura média (Santos et al., 2018), coletado na profundidade de 0–20 cm em área de vegetação nativa e submetido à caracterização química inicial.

O biocarvão foi produzido a partir da casca de cupuaçu e de resíduos de podas fitossanitárias de plantas infectadas por *Moniliophthora perniciosa*. Ambos os materiais foram previamente secos e posteriormente carbonizados em reator metálico acoplado a forno artesanal alimentado com biomassa vegetal. Após a carbonização, os biocarvões foram resfriados, triturados e analisados quimicamente conforme Embrapa (2009).

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com 11 tratamentos e quatro repetições. O fator A correspondeu aos dois tipos de biocarvão, enquanto o fator B consistiu em cinco doses (0, 15, 60, 105 e 150 g kg^{-1}), aplicadas em vasos contendo 3 kg de solo. Adicionalmente, foram incluídos dois tratamentos controles com 50% e 100% da adubação mineral recomendada (Brasil et al., 2020), sem biocarvão. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada a 48°23' O e 1°31' S, a 16 m de altitude. Utilizou-se um Latossolo Amarelo Distrófico de textura média (Santos et al., 2018), coletado na profundidade de 0–20 cm em área de vegetação nativa e submetido à caracterização química inicial.

O biocarvão foi produzido a partir da casca de cupuaçu e de resíduos de podas fitossanitárias de plantas infectadas por *Moniliophthora perniciosa*. Ambos os materiais foram previamente secos e posteriormente carbonizados em reator metálico acoplado a forno artesanal alimentado com biomassa vegetal (Figura 1). Após a carbonização, os biocarvões foram resfriados, triturados e analisados quimicamente conforme Embrapa (2009).



Figura 1: Etapas do processo de produção dos biocarvões utilizados no estudo. **Fonte:** Do autor.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com 11 tratamentos e quatro repetições. O fator A correspondeu aos dois tipos de biocarvão, enquanto o fator B consistiu em cinco doses (0, 15, 60, 105 e 150 g kg^{-1}), aplicadas em vasos contendo 3 kg de solo. Adicionalmente, foram incluídos dois tratamentos controles com 50% e 100% da adubação mineral recomendada (Brasil et al., 2020), sem biocarvão. A adubação mineral de referência, correspondente à dose integral (100%), foi estabelecida com base na necessidade nutricional da cultura, constituindo-se de ureia (0,3 g/vaso), superfosfato simples (2,49 g/vaso) e cloreto de potássio (0,22 g/vaso). A partir desses valores, foram calculadas as doses aplicadas nos tratamentos, correspondentes a 50% da adubação.

As sementes de jambu (*Acmella oleracea*) foram germinadas em bandejas com substrato comercial e, após 20 dias, plântulas com quatro folhas foram transplantadas para os vasos, mantendo-se uma planta por unidade experimental. A irrigação foi realizada diariamente conforme necessidade. As plantas foram conduzidas por 35 dias após o transplantio.

Na colheita, avaliaram-se altura da planta, número de folhas e massa fresca das folhas. A altura foi mensurada com fita métrica; o número de folhas obtido por contagem direta; e a massa fresca determinada em balança digital.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, $p \leq 0,05$). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, e os tratamentos adicionais foram contrastados com as doses de biocarvão + adubação mineral por meio do teste de Dunnett.

As sementes de jambu (*Acmella oleracea*) foram germinadas em bandejas com substrato comercial e, após 20 dias, plântulas com quatro folhas foram transplantadas para os vasos, mantendo-se uma planta por unidade experimental. A irrigação foi realizada diariamente conforme necessidade. As plantas foram conduzidas por 35 dias após o transplantio.

Na colheita, avaliaram-se altura da planta, número de folhas e massa fresca das folhas. A altura foi mensurada com fita métrica; o número de folhas obtido por contagem direta; e a massa fresca determinada em balança digital.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, $p \leq 0,05$). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, e os tratamentos adicionais foram contrastados com as doses de biocarvão + adubação mineral por meio do teste de Dunnett.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis biométricas apresentaram respostas diferenciadas em função dos tipos de biocarvão e das doses aplicadas (Tabela 1).

Tabela 1 - Interação entre doses e tipos de biocarvão na altura da planta, número de folhas e massa fresca das folhas ou parte aérea da cultura do jambu.

Biocarvão	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	Dose 4	AD1	AD2
Altura da planta (cm)							
Casca (BC) Poda (BP)	23,5*”	32,5b 34,5a*	32,6b 35,2a*	31,8a" 30,2b”	32,7a 30,0b*”	31,8	34,2
Número de folhas							
Casca (BC) Poda (BP)	82*”	150b” 154a"	145b*” 160a*”	127b*” 157a*”	115b*” 121a*”	151,7	169,2
Massa fresca das folhas (g)							
Casca (BC) Poda (BP)	20,47*”	61,8ns*” 60,7ns*”	67,5a* 63,7b*	55,0a” 39,0b*”	42,4b*” 49,3a"	52	68

Tabela 1: Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A média do tratamento acompanhada por * difere do tratamento adicional 1 (AD1), e a média acompanhada por “ difere do tratamento adicional 2 (AD2) (Dunnett, $p < 0,05$). Dose 0 = sem biocarvão; Dose 1 = 15 g kg^{-1}; Dose 2 = 60 g kg^{-1}; Dose 3 = 105 g kg^{-1}; Dose 4 = 150 g kg^{-1}. **Fonte:** Do Autor.

Para altura de plantas, observaram-se diferenças entre os biocarvões em todas as doses, com destaque para as doses 1 e 2 do BP, que alcançaram 34,5 e 35,2 cm. Embora essas doses não tenham diferido estatisticamente do tratamento com 100% de adubação (AD2), registraram incrementos de até 2,9%. Esse comportamento indica que a combinação de 50% de adubação com biocarvão foi capaz de atingir desempenho equivalente à adubação plena, evidenciando eficiência nutricional complementar.

O número de folhas também variou entre os tratamentos, com maiores valores obtidos nas doses 2 e 3 do BP (160 e 157 folhas). Em comparação à AD1, essas doses promoveram aumentos de até 5,5%, porém apresentaram redução em relação à AD2. Ainda assim, o desempenho próximo ao tratamento completo reforça o potencial do biocarvão em manter níveis produtivos adequados mesmo com redução de 50% na adubação mineral.

Para a massa fresca das folhas, diferenças ocorreram nas doses 2, 3 e 4, com destaque para a dose 2 do BC (67,50 g). As doses 1 e 2 de ambos os biocarvões promoveram incrementos de até 29,8% em relação à AD1. Embora algumas combinações não tenham igualado estatisticamente a AD2, os valores absolutos obtidos foram semelhantes, reforçando que os tratamentos com 50% de adubação + biocarvão foram capazes de alcançar produtividades comparáveis ao uso exclusivo de 100% de adubação mineral.

Os resultados encontrados neste estudo estão alinhados com os relatados por Silva et al. (2020), que observaram aumento no crescimento da parte aérea e no desenvolvimento das raízes de chicória quando o biocarvão foi utilizado em conjunto com adubação nitrogenada. De acordo com esses autores, tais respostas positivas decorrem principalmente da maior retenção de nutrientes e melhorias estruturais no solo, fatores que favorecem a absorção de elementos essenciais como nitrogênio e fósforo.

A literatura aponta que a combinação entre biocarvão e fertilizantes minerais tende a gerar efeitos complementares, potencializando o desenvolvimento das plantas. Enquanto o biocarvão atua como condicionador do solo (aprimorando propriedades químicas, físicas e biológicas, além de reduzir perdas de nutrientes por lixiviação), os fertilizantes minerais disponibilizam nutrientes de forma imediata, resultando em um ambiente mais favorável ao crescimento vegetal (Andrade et al., 2023). Além disso, o biocarvão pode liberar nutrientes de maneira gradual e estimular a atividade microbiana, contribuindo para maior disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas (Silva et al., 2020).

Embora o biocarvão não seja capaz, por si só, de suprir completamente as exigências nutricionais das culturas, sua utilização associada à adubação mineral tem demonstrado bons resultados, tanto na melhoria das condições do solo quanto no incremento da produtividade. Dessa forma, o uso integrado desses insumos desponta como uma alternativa sustentável para aprimorar o manejo da fertilidade do solo e aumentar a eficiência no uso de fertilizantes (Andrade et al., 2023).

CONCLUSÕES

A combinação de biocarvão com 50% da adubação mineral resultou em desempenho equivalente ao uso de 100% de adubação, indicando maior eficiência no aproveitamento de nutrientes. O biocarvão produzido a partir de resíduos do cupuaçuzeiro mostra-se uma alternativa sustentável, ao reutilizar materiais descartados e melhorar o desenvolvimento do jambu. Ainda assim, são necessários novos estudos para aperfeiçoar seu manejo e ampliar seu uso em sistemas agrícolas sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. A.; SOUZA, L. C.; ALMEIDA, R. Biocarvão: uso agrícola e ambiental. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023.

ARAÚJO, R. M.; OLIVEIRA, A. T.; CUNHA, M. R. Efeito do biocarvão na eficiência no uso de nutrientes em solos tropicais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 45, n. 2, p. 385-397, 2021.

AZEVEDO, H. L. S.; SOUZA, J. P.; MENDES, F. R.; SANTOS, C. A.; LIMA, R. T.; OLIVEIRA, F. C. Efeito do biocarvão na fertilidade do solo e no crescimento de culturas agrícolas: uma revisão sistemática. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 45, p. e0200123, 2021.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. (Ed.). Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 419 p.

GUPTA, R.; VERMA, R. S.; SINGH, M. O papel do biocarvão na agricultura sustentável e na redução de impactos ambientais. Sustainable Agriculture Reviews, v. 56, p. 235-250, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-44339-5_10.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). Biochar for environmental management: science and technology. 2. ed. London: Routledge, 2015.

LEHMANN, J.; RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota – a review. Soil Biology and Biochemistry, v. 43, n. 9, p. 1812-1836, 2011.

MENDONÇA, E. M.; RIBEIRO, C. A.; SOARES, J. T. A importância do reaproveitamento de resíduos agroindustriais na Amazônia. Revista Agroindústria Brasileira, v. 34, n. 2, p. 92-104, 2021. DOI: 10.1590/rab.2021.0243.

RIBEIRO, P. R. A. et al. Potencial econômico e desafios do cultivo de jambu na Amazônia. Revista de Economia Agrícola, v. 68, n. 2, p. 78-89, 2021.

SANTOS, J. A.; BARROS, F. D. R.; MENDONÇA, E. A.; LIMA, R. S. Impacto da utilização de resíduos agroindustriais na sustentabilidade agrícola da Amazônia. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 16, n. 3, p. 300-311, 2021.

SILVA, L. C.; SOARES, F. R.; MOURA, J. P.; OLIVEIRA, A. M.; CRUZ, L. H. Potencial do biocarvão derivado de resíduos agroindustriais para a agricultura tropical. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 9, n. 2, p. 123-135, 2020.