

BIOSSÓLIDO COMO SUBSTRATO NA PRODUÇÃO DE BRACATINGA: INTEGRANDO SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA CIRCULAR NO USO DE REJEITOS

O biossólido gerado pelo tratamento de efluentes configura-se como passivo devido aos altos custos de descarte e à necessidade de acondicioná-lo em grande volume em aterros. Sua reciclagem agrícola e florestal pode ser uma alternativa interessante, tanto para os geradores de biossólido, que passam a dispor seu resíduo de forma mais sustentável, como para os receptores, que passam a receber um material rico em nutrientes e matéria orgânica, em quantidade e com baixo custo (ABREU, et al, 2019).

O reaproveitamento de lodo de tratamento de esgoto doméstico resulta na economia circular, que ganha espaço como novo paradigma para mitigar a crise ambiental que o planeta enfrenta (DE JESUS et al., 2017). A economia circular se molda por soluções inovadoras e tecnológicas com benefícios sociais, ambientais e econômicos, quanto ao saneamento, forma-se um ciclo fechado na coleta, tratamento, disposição de efluentes, promovendo redução de custos, reciclagem de nutrientes e melhoria na eficiência do processo (LIPINSKA, 2018).

O biossólido como alternativa de fonte de matéria orgânica, também pode ser utilizado na recomposição de solos degradados, na fertilização das culturas (CAMPOS e ALVES, 2008), e na produção de mudas, auxiliando na capacidade de retenção hídrica, fornecendo macro e micronutrientes às mudas, permitindo economia na adubação, podendo ser uma alternativa menos onerosa que os substratos comerciais ou outros componentes (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003).

A bracatinga (*Mimosa scabrella*) se apresenta como cultura de uso desse material, uma espécie utilizada recomposição de áreas degradadas (FOELKEL, 2012), que possui capacidade de, em associação com microrganismos fixadores de nitrogênio, fixar nitrogênio, sendo ela recomendada para a recuperação de áreas degradadas (CARPANEZZI; LAURENT, 1988). Outrossim, essa espécie apresenta capacidade de associar-se com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) responsáveis pela absorção de nutrientes, especialmente o fósforo (CARPANEZZI; LAURENT, 1988). Essa planta se torna um candidato natural em programas de recuperação ambiental, onde ambientes com baixa disponibilidade nutricional e outros fatores impeditivos limitam o estabelecimento e crescimento da vegetação.

Dessa maneira, esse trabalho teve como objetivo buscar uma alternativa ao destino do biossólido por meio da sua utilização como substrato na produção de mudas de bracatinga utilizando diferentes concentrações deste resíduo higienizado por meio da técnica de secagem solar, verificando seus efeitos sobre o número de esporos e sobre a colonização micorrízica.

METODOLOGIA

O biossólido foi coletado numa Estação de tratamento anaeróbio, localizada no município de Florianópolis-SC. Um total de 500 litros de biossólido foi coletado, apresentando teor de umidade inicial de 80%. O material foi exposto a luz solar para secagem por 8 horas diárias, por 50 dias consecutivos, sendo semanalmente revolvido. As amostras de biossólido foram submetidas a análises para quantificação de coliformes totais, *E. coli*, coliformes não *E. coli*, vírus, *Salmonella* e Helminhos, antes e após a secagem solar. Após a secagem, apresentando ainda um teor de umidade de 20%, o material foi moído em moinho da marca Tecnal modelo TE-680 em malha de 2 mm. Solo da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Santa Catarina foi coletado e peneirado em malha de 4 mm. Parte dele (50 mL), separado para extração e contagem de esporos de FMA segundo metodologia descrita por Gerdemann e Nicolson (1963).

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação do departamento de Microbiologia e Parasitologia da UFSC, utilizando um substrato base composto por uma mistura de solo-vermiculita na proporção 1:1 (v/v). Os tratamentos de bio-sólido avaliados referem-se às proporções adicionadas ao substrato base, sendo esses: 100%, 75%, 50 %, 25%, 10%, 5% e 0% (controle) de bio-sólido. Foi empregado o delineamento em blocos casualizados, com 30 repetições, sendo os tubetes (300 mL) dispostos em estande de grade.

Para o plantio da bracatinga efetuou-se a quebra de dormência das sementes pela imersão destas em água quente a 80 °C (quatro vezes o volume), deixando-as em repouso nesta condição por 24h. A semeadura foi realizada depositando três sementes por tubete. A emergência das plantas de bracatinga ocorreu a partir do 5º dia pós-semeadura. No trigésimo quinto dia realizou-se o desbaste resultando uma planta por tubete. A partir do desbaste, e desde então, quinzenalmente as plantas receberam solução nutritiva de Hoagland (HOAGLAND; ARNON, 1950). O experimento foi encerrado aos 98 dias após implantação.

AValiação DOS EXPERIMENTOS

Ao final da condução do experimento o solo de cada tubete foi retirado e as raízes separadas do mesmo por meio de lavagem em água corrente sobre peneira de 0,5 mm de malha. Na sequência, um grama de raízes finas foi coletado, armazenado em cápsulas e em solução de FAA (formalina-álcool-ácido acético) para posterior clarificação e coloração com azul de tripano (PHILLIPS; HAYMAN, 1970), destinado à quantificação da taxa de colonização micorrízica (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980).

Com o solo de cada tratamento fez-se uma mistura composta e homogênea para determinação do pH do solo e também para extração e contagem de esporos de FMA, segundo metodologia descrita por Gerdemann e Nicolson (1963). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011), e à análise de regressão feitas por meio do programa SigmaPlot 12 (Systat Software Corp.).

RESULTADOS

Os resultados das análises (Tabela 1) obtidas de uma amostra composta do material coletado mostram que o tempo que o bio-sólido foi exposto a secagem solar (50 dias, por 8 horas diárias) foi eficiente para eliminação dos patógenos, enquadrando o material da ETE de Canasvieiras dentro dos limites exigidos pela Resolução CONAMA 498/2020.

Tabela 1. Quantificação de patógenos existentes em lodo de esgoto proveniente da ETE da CASAN Canasvieiras, Florianópolis, pré secagem solar.

Patógenos	Pré secagem solar	50 dias após a coleta
Coliformes totais	2,1 x 10 ⁶ UFC/mL	120 UFC/mL
<i>E. coli</i>	7,5 x 10 ⁵ UFC/mL	Não detectado
Coliformes não <i>E. coli</i>	1,31 x 10 ⁶ UFC/mL	120 UFC/mL
Vírus	Presença	Não detectado
<i>Salmonella</i>	Presença	Ausência
Contagem de OPG	50 ovos/grama	Não detectado

Fonte: Autores, 2024

O resultado da análise química realizada com o bio-sólido apresentou teores de nitrogênio, fósforo e potássio de 5,1 g kg⁻¹, 35,7 g kg⁻¹, e 3,33 cmolc dm³, respectivamente. Para carbono orgânico e matéria orgânica os valores foram 156,4 g kg⁻¹ e 269,0 g kg⁻¹, respectivamente. Também foram avaliados os teores de sódio (2 cmolc dm³), enxofre (36,3 g/kg⁻¹), cálcio (134,50 cmolc dm³), magnésio (116,66 cmolc dm³) e o pH em água (6,1). 2

O pH médio da amostra composta de biossólido e solo antes do início dos experimentos era 4,58. Após a condução dos experimentos esse valor ficou em 5,07. É possível verificar que há um aumento, ainda que pequeno, no valor de pH do substrato contendo biossólido, quando comparado ao tratamento controle. Ao longo do experimento foi possível observar que concentrações elevadas de biossólido, acima de 25%, promoveram elevada taxa de mortalidade das mudas testadas, conforme evidenciado na Tabela 2. Nos tratamentos acima de 25% também se observou a ocorrência de compactação do substrato. A Tabela 2 mostra também que a partir da concentração de 25% de biossólido a bracinga foi impactada no que se refere a taxa de mortalidade, com 100% das mudas mortas para esta e as demais concentrações maiores que esta. Desta forma, a avaliação dos efeitos da aplicação do biossólido foi realizada apenas até a concentração de 10% de biossólido.

Tabela 2. Taxa de mortalidade (%) por espécie de planta e por tratamento ocorrida nos experimentos com adição de diferentes doses/percentuais de biossólido.

Tratamento (% biossólido)	% de plantas mortas
0%	0%
5%	0%
10%	3%
25%	100%
50%	100%
75%	100%
100%	100%

Fonte: Autores, 2024

Com relação à colonização micorrízica e a esporulação, os maiores índices destes parâmetros foram observados no tratamento controle. Aumentando as dosagens de biossólido, diminuía significativamente, a colonização micorrízica (Figura 1A) e a contagem de esporos (Figura B), sugerindo que o biossólido possui influência negativa nessas variáveis.

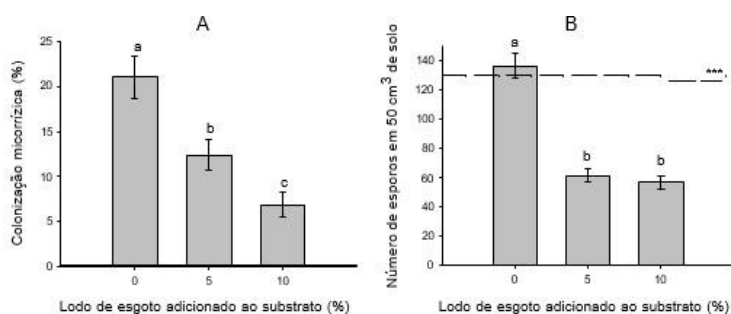


Figura 1. Colonização micorrízica (A) e n° de esporos (B) de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em *Mimosa scabrella* em substrato com diferentes concentrações de biossólido. Barras verticais apontam o erro padrão da média n=30 para colonização micorrízica e n=3 para número de esporos. *N° de esporos de FMA presentes no solo antes dos tratamentos. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.**

Valores da contagem de esporos do substrato pós-experimento indicam que a adição de biossólido nos tratamentos 5% e 10% geraram decréscimo médio de 55% de esporos. Com relação ao tratamento controle, ocorreu aumento de 5% em relação ao número de esporos inicial do substrato (Figura 1B). A avaliação do sistema radicular da bracinga revelou ausência de nódulos de rizóbio em todos os tratamentos com e sem adição de biossólido.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste trabalho empregou-se técnica da secagem solar para eliminação de agentes patogênicos, com o biossólido submetido a secagem solar em temperatura média máxima de 30,9 °C, e média mínima de 22,7 °C. Essa temperatura foi eficaz na eliminação de patógenos e a secagem solar foi uma boa alternativa econômica para a desinfecção do biossólido. Enquadrando-o apto para uso agrícola.

Concentrações de biossólido superiores a 25% ocasionaram elevada mortalidade das plantas e isso foi atribuído à compactação que o biossólido proporcionou ao substrato. A compactação torna o solo difícil de ser penetrado pelas raízes, aumenta a resistência mecânica ao crescimento em profundidade das raízes das plantas, impedindo que elas se desenvolvam e que as raízes se aprofundem em busca de água e nutrientes (MACHADO, 2003). Quando atinge níveis críticos, a compactação assume relevância nas relações físicas, químicas e biológicas do solo, como redução da infiltração, afetando o desenvolvimento das plantas, resultando em menor produtividade (SÁ; SANTOS JUNIOR, 2005). Entretanto, trabalhos têm demonstrado que concentrações de 60% a 100% de biossólido são recomendadas para o cultivo de teca, sem afetar a sobrevivência das plantas (CALDEIRA et al., 2011). Assim, é possível inferir que as elevadas concentrações de biossólido adicionadas ao substrato de cultivo não foram o único fator responsável pela alta mortalidade das plantas.

A compactação do solo pode também ter influenciado a colonização micorrízica, que apresentou tendência de redução da taxa de colonização conforme aumento da concentração de biossólido (Figura 1A). Nadian et al. (1997), verificaram que a redução da colonização micorrízica em solos compactados deve-se a inibição do crescimento da raiz e, conseqüente, redução na superfície disponível para a colonização. Outro fator que pode ter contribuído para a redução da colonização micorrízica foi a concentração de fósforo encontrada no biossólido, pois, solos com teores elevados de P promovem reduções acentuadas na colonização micorrízica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Schwab et al. (1991) afirmam que, de uma forma geral, as plantas controlam a colonização micorrízica conforme sua necessidade. O biossólido poderia estar suprindo as necessidades nutricionais da planta a partir de um determinado teor, não sendo necessária a formação da relação simbiótica com os fungos e, por conseqüente, a esporulação a partir daqueles índices.

Em relação à esporulação (Figura 1B), por sua vez, ocorreu uma redução proporcional neste parâmetro conforme foram adicionados teores de biossólido ao substrato. Esse resultado vai ao encontro da afirmação de Moreira e Siqueira (2006), que destacam que a esporulação não possui influência direta no simbionte, mas pode ter relação com o grau de colonização e extensão de raízes. Entretanto, esse comportamento não é obrigatório, pois não há uma relação direta entre o número de esporos e a colonização micorrízica (BABU; REDDY, 2011; BAINARD et al., 2011). O pH do substrato contendo biossólido foi avaliado antes e após o crescimento da bracatinga, verificando-se pequenas alterações conforme os tratamentos empregados. É possível verificar que o pH não exerceu influência sobre o desenvolvimento das plantas, pois a bracatinga geralmente tolera solos mais ácidos (FOELKEL, 2012).

A bracatinga é uma planta que se associa a bactérias do gênero *Rhizobium*, formando nódulos nas raízes e fixando nitrogênio atmosférico (FOELKEL, 2012). Apesar da condição ser inerente a essa espécie, nenhum nódulo foi formado durante o experimento conduzido, podendo indicar que a solução de Hoagland e Arnon (1950), adicionada para suprir certas necessidades nutricionais das plantas, juntamente com o biossólido, podem ter inibido a colonização radicular por aqueles organismos e, assim, a formação dos nódulos radiculares.

A ausência de nodulação pode também ter sido afetada pela compactação do substrato, que impactou o desenvolvimento das plantas de bracatinga no tratamento com 25% de

biossólido, porém sem exercer influência nos demais tratamentos, como é possível verificar na Tabela 2. Borges et al. (1998), trabalhando com soja em solo compactado com gesso, verificaram que conforme aumentam os teores de compactação, o sistema radicular ficou concentrado em um único ponto, promovendo um ambiente desfavorável, tanto à nodulação, quanto à efetividade dos nódulos existentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou que a secagem solar é uma técnica eficiente na eliminação de patógenos. Apesar da redução na colonização micorrízica e esporulação, o bissólido não prejudicou o desenvolvimento das plantas de bracatinga. Adicionalmente, pode-se sugerir que o biossólido pode ser usado como substrato para o cultivo de Bracatinga, apresentando melhores resultados quando empregado na concentração de 5%.

A utilização do lodo de esgoto como substrato agrícola, mais precisamente quando aplicado no cultivo de bracatinga, se apresenta como uma solução sustentável direcionada aos desafios da gestão de resíduos, recuperação de áreas degradadas e da fertilidade do solo. Ao transformar um passivo ambiental em um recurso agrícola valioso, visto que o rejeito depois de higienizado tem capacidade de se constituir como fonte de matéria orgânica, possibilita-se não só reduzir os custos operacionais das concessionárias de saneamento, mas também promover uma agricultura mais sustentável e uma economia circular robusta em todos os passos do processo de tratamento de efluentes. A implementação e expansão dessa aplicação do rejeito ou lodo de esgoto higienizado têm o potencial de gerar impactos positivos provenientes de um processo hoje crítico, beneficiando o meio ambiente, a economia e a sociedade como um todo.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. H. M. et al. Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. **Eng Sanit Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 591-599, 2019.

BABU, A.G.; REDDY, M.S. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with plants growing in fly ash pond and their potential role in ecological restoration. **Current Microbiology**, v. 3, n. 63, 2011.

BAINARD, L.D.; KLIRONOMOS, J.N.; GORDON, A.M. Arbuscular mycorrhizal fungi in tree-based intercropping systems: A review of their abundance and diversity. **Pedobiologia**, v. 54, n. 2, p. 57 – 61, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 498 de 19 de agosto de 2020**. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Brasília, 2020.

BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G.F.; BORGES, E.V.S.; COSTA, L.M. Acúmulo de N e P na parte aérea da soja após compactação subsuperficial e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23,n.1, p.127-133, 1998.

CALDEIRA, M.V.W.; DELARMELINA, W.M.; LÜBE, S.G.; GOMES, D.R.; GONÇALVES, E.O.; ALVES, A.F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.1, p.77-84, 2011.

CAMPOS, F.S.; ALVES, M.A. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 1389-1397, 2008.

FOELKEL, C. **Os Eucaliptos e as Leguminosas: Parte 02 Mimosa scabrella (Bracatinga)**. 1.ed. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2012.

DE JESUS, A. et al. Eco-innovation in the transition to a circular economy: An analytical literature review. **Journal of Cleaner Production**, Lisboa, v. 172, p. 2999–3018, 2017.

GERDEMANN, J.W.; NICHOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, n.84, p.489-500, 1980.

HIRATA, D. et al.(2015).O uso de informações patentárias para a valorização de resíduos industriais: O caso do lodo de tratamento de esgoto doméstico. *Ciências da Administração*, 17(43), 55-71.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soils: Berkeley: **California Agricultural Experimental Station**, 1950. 347p.

LIPINSKA, D. The water-wastewater-sludge sector and the circular economy. *Comparative Economic Research*, v.21, n. 4, 2018.

MACHADO, P. Compactação do solo e crescimento de plantas: como identificar, evitar e remediar. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998.368 p.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 625p.

NADIAN, H., SMITH, S.E.; ALSTON, A.M.; MURRAY, R.S. Effects of soil compaction on plant growth, phosphorus uptake and morphological characteristics of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of *trifolium subterraneum*. **New Phytologist** n.135, 303-311, 1997.

PHILLIPS, J. M; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, n.55, p.158-161, 1970.

SÁ, M.A.C.; SANTOS JÚNIOR, J.D.G. **Compactação do solo: conseqüências para o crescimento vegetal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005.

SCHWAB, S.M.; MENGUE, J.A.; TINKER, P.B. Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. **New Phytologist**, n.117, p.387-398, 1991.