

PRODUÇÃO DE BIOMATERIAL À BASE DE MICÉLIO FÚNGICO PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS PLÁSTICOS

PRODUCTION OF FUNGAL MYCELIUM-BASED BIOMATERIAL FOR REPLACEMENT OF PLASTIC MATERIALS

Beatriz Bomfim Oliveira¹, Gabriel Alves Velasco¹, Nicole de Oliveira Santos¹, Nicoló Nascimento Pinto¹, Valentina Diare Alves¹, Danilo Henrique Donato Rocha² ⁱ, Larissa Alves Correa² ⁱⁱ, Luciano Zane Filho² ⁱⁱⁱ, Nathalia Ramalho Moreira² ⁱⁱⁱ Lívia de Carvalho Fontes Matsumoto² ^{iv}

RESUMO

A crescente preocupação com a poluição ambiental causada pelo descarte inadequado de materiais plásticos tem estimulado o desenvolvimento de alternativas sustentáveis e biodegradáveis. Neste contexto, os biomateriais produzidos a partir do micélio de fungos lignocelulolíticos surgem como uma opção promissora, destacando-se por suas propriedades físicas favoráveis, baixo custo de produção e potencial de biodegradação. Este trabalho teve como objetivo a produção e caracterização de biocompósitos miceliais a partir do cultivo de espécies dos gêneros *Ganoderma* (*G. sinense*, *G. lucidum* e *G. neo-japonicum*) e *Pycnoporus* (*P. sanguineus*), utilizando como substrato principal o bagaço de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: biomateriais; fungos lignocelulolíticos; micélio; sustentabilidade; bagaço de cana.

ABSTRACT

The growing concern over environmental pollution caused by the improper disposal of plastic materials has encouraged the development of sustainable and biodegradable alternatives. In this context, biomaterials produced from the mycelium of lignocellulolytic fungi have emerged as a promising solution, standing out due to their favorable physical properties, low production cost, and biodegradability potential. This study aimed to produce and characterize mycelial biocomposites through the cultivation of species of *Ganoderma* genus (*G. sinense*, *G. lucidum*, and *G. neo-japonicum*) and *Pycnoporus* genus (*P. sanguineus*), using sugarcane bagasse as the main substrate.

Keywords: biomaterials; lignocellulolytic fungi; mycelium; sustainability; sugarcane bagasse.

¹ Técnico em Biotecnologia pela Escola SENAI “Dr. Celso Charuri” Bom Retiro (SENAI Biotecnologia).

² Instrutor de Formação Profissional III na Escola SENAI “Dr. Celso Charuri” Bom Retiro (SENAI Biotecnologia)

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação ambiental relacionada à poluição por plásticos tornou-se um dos maiores desafios ambientais do século XXI. Estima-se que mais de 300 milhões de toneladas de plástico sejam produzidas anualmente, e uma parte significativa desse volume é descartada de forma inadequada, acumulando-se em ambientes terrestres e aquáticos por décadas (Geyer et al., 2017), afetando negativamente os ecossistemas e representando riscos à saúde humana e à biodiversidade.

1.1 Problema de pesquisa

É possível produzir biomateriais fúngicos sustentáveis, de baixo custo e com desempenho funcional adequado para substituir materiais plásticos, utilizando resíduos agroindustriais como substrato e diferentes espécies de fungos lignocelulolíticos?

1.2 Objetivo(s)

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Produzir e caracterizar materiais à base de micélio fúngico cultivado em substrato de bagaço de cana-de-açúcar visando sua aplicação como alternativa aos plásticos convencionais.

1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Produzir um biomaterial a partir da colonização do bagaço de cana-de-açúcar por fungos basidiomicetos;
- Avaliar os parâmetros de cultivo e otimizar para um crescimento eficiente do fungo no substrato;
- Testar as espécies fúngicas para escolher a mais adequada para a produção do biomaterial;
- Realizar testes de caracterização do biomaterial, tais como, teste de inflamabilidade, absorção de água, fluabilidade e resistência mecânica simples.
- Realiza testes de caracterização do substrato de bagaço de cana-de-açúcar.

1.3. Justificativa

Diante da crescente preocupação global com os impactos ambientais, sociais e à saúde humana decorrente do uso excessivo e inadequado de plásticos, especialmente os de uso único. De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2021), mais de 400 milhões de toneladas de plástico são produzidas anualmente no mundo, sendo que cerca de 36% são descartáveis, com tempo de uso inferior a 15 minutos, mas permanecem no ambiente por centenas de anos. Estudos recentes revelam que microplásticos já foram detectados no sangue humano, em tecidos pulmonares e em amostras de leite materno, levantando preocupações sobre seus efeitos citotóxicos e inflamatórios (Leslie et al., 2022; Ragusa et al., 2021). Diante disso, a busca por alternativas sustentáveis, renováveis e biodegradáveis torna-se não apenas uma necessidade ambiental, mas também uma demanda social, tecnológica e política.

1.4. REVISÃO DE LITERATURA

Os biomateriais fúngicos representam uma inovação no campo dos materiais sustentáveis. Eles são produzidos por meio da combinação entre um substrato vegetal (como resíduos agrícolas). Durante a colonização do substrato, o micélio funciona como um “cimento biológico”, aglutinando as partículas e formando uma estrutura coesa após a secagem ou tratamento térmico (Islam et al., 2017).

Estudos realizados por Haneef et al. (2017) demonstraram que as propriedades finais dos biocompósitos dependem significativamente do tipo de substrato utilizado e da espécie fúngica empregada. A densidade, porosidade, absorção de água e resistência ao fogo são características diretamente influenciadas por essas variáveis.

Os fungos *Ganoderma lucidum*, *G. sinense*, *G. neo-japonicum* (família Ganodermataceae) e *Pycnoporus sanguineus* (família Polyporaceae) (Fig. 1) — são reconhecidos por sua capacidade de degradar eficientemente lignina e celulose, além de produzirem micélios densos e estruturalmente resistentes (Song et al., 2022).

G. lucidum é um fungo basidiomiceto amplamente reconhecido por suas propriedades medicinais, incluindo efeitos antioxidantes, imunomoduladores e antitumorais (Boh et al., 2007). Menos estudado em relação às outras espécies do gênero, *G. neo-japonicum* também pertence ao grupo de fungos ligninolíticos. Apresenta capacidade de crescimento eficiente sobre substratos orgânicos ricos em celulose e lignina, podendo produzir biomateriais de boa densidade e coesão (Zhou et al., 2016). *G. sinense* é uma espécie próxima de *G. lucidum*, compartilhando características morfológicas e bioquímicas similares. Utilizado também na medicina chinesa, apresenta forte atividade enzimática contra componentes lignocelulósicos (Yuen et al., 2008). Seu micélio é robusto e homogêneo, favorecendo aplicações industriais na produção de biomateriais biodegradáveis.

P. sanguineus é um fungo basidiomiceto de coloração alaranjada-avermelhada, conhecido por sua intensa produção de lacases, enzimas oxidativas envolvidas na degradação da lignina. Essa espécie tem se destacado em estudos de biorremediação, tratamento de efluentes, produção de pigmentos naturais e síntese de biocompósitos (Eggert et al., 1996; Levin et al., 2010). Seu micélio é denso de rápido crescimento, sendo altamente eficiente na colonização de resíduos agroindustriais como bagaço de cana e grãos.

2. METODOLOGIA

3.1 Seleção de fungos

As espécies fúngicas foram selecionadas de acordo com achados na literatura que indicam como promissoras as seguintes espécies: *Ganoderma neo-japonicum*, *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma sinense* e *Pycnoporus sanguineus*. E obtidas comercialmente em cultura líquida que foram inoculadas nos grãos e cultivadas em estufa bacteriológica a 24°C por cerca de 2 semanas até que fosse possível observar a completa colonização do grãos.

3.2 Preparo dos substratos

Para servir de suporte nutritivo para o crescimento e desenvolvimento dos fungos foi produzido o “Spawn” que consiste em grãos colonizados por fungos o que facilita o espalhamento desses grãos quando transferidos para o substrato principal. Os grãos foram submersos em água durante 5 minutos para a lavagem e subsequente esterilização em autoclave. Para a etapa subsequente, foi necessário a obtenção de bagaço de cana que foi lavado com água corrente e seco. O bagaço foi triturado, atingindo uma granulometria de 3 cm e 2 cm esterilizados. Os grãos

colonizados com os fungos foram utilizado como “sementes” que dão início à colonização do substrato principal. Estes grãos foram misturados ao bagaço de cana estéril e novamente incubados em estufa a 24° C, até que fosse possível observar o crescimento do micélio, cerca de 2 semanas.

3.3 Produção do biomaterial em moldes

O bagaço de cana de açúcar, uma vez colonizado foi usado para preencher diferentes moldes. Após o crescimento completo do fungo no molde, este material gerado foi seco em estufa a 60°C, por 24 horas para a secagem, a fim de ocorrer a inativação do microrganismo colonizador. Visando simular aplicações práticas, como a produção de vasos biodegradáveis para plantas, foram adaptados moldes cilíndricos.

3.4 Testes de propriedades

Com o objetivo de avaliar a viabilidade dos biomateriais produzidos para aplicações práticas, foram realizados testes funcionais baseados em parâmetros físicos: resistência ao fogo, comportamento frente à água e deformação sob carga. Os ensaios seguem protocolos adaptados de Haneef et al. (2017) e Jones et al. (2020), com foco na análise de desempenho.

3.5 Caracterização do bagaço de cana

A fim de caracterizar e determinar aspectos físico-químicos do bagaço de cana obtido, realizou-se 2 análises descritas a seguir: Determinação do teor de umidade e Determinação do teor de cinzas. Para a Determinação do teor de cinzas a análise foi realizada com o objetivo de determinar a quantidade de material inorgânico presente nos substratos, o que pode influenciar o crescimento micelial e a estrutura final do biomaterial.

Três amostras de aproximadamente 5 g do substrato de bagaço de cana foram previamente secas a 105 °C para remoção da umidade residual. Em seguida, as amostras foram transferidas para cadinhos que foram colocados em uma mufla a 550 °C por 4 horas, seguindo o método descrito pela AOAC (2012). Após o resfriamento em dessecador, os cadinhos foram novamente pesados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Crescimento dos fungos nos grãos (Spawn)

Os fungos selecionados apresentaram padrões distintos de crescimento nos diferentes substratos. *Ganoderma lucidum* e *Pycnoporus sanguineus* demonstraram desenvolvimento micelial robusto tanto em grãos de milho quanto de trigo, com colonização completa em 7-10 dias.

Por outro lado, *G. neo-japonicum* não se desenvolveu adequadamente nos grãos testados, apoiando a literatura que indica sua preferência por substratos lenhosos, como serragem ou palha de arroz (Tan et al., 2015). Já *G. sinense* apresentou crescimento satisfatório apenas no milho, sugerindo maior seletividade nutricional, conforme observado por Hapuarachchi et al. (2019) em estudos sobre sua plasticidade fenotípica.

4.2 Crescimento dos fungos no substrato bagaço-de-cana

G. lucidum e *P. sanguineus* destacaram-se novamente, colonizando totalmente o bagaço em 1-2 semanas, formando estruturas coesas e leves (Figura 5). Esses resultados alinham-se com Haneef et al. (2017), que atribuem a eficiência dessas espécies à alta produção de enzimas lignocelulolíticas (ex.: lacases e

peroxidases).

G. sinense exigiu 3 semanas para colonização parcial, produzindo um material mais flácido, possivelmente devido à menor atividade enzimática em substratos com alta lignina (Yuen et al., 2008). Quanto a *G. neo-japonicum*, a ausência de crescimento reforça sua incompatibilidade com substratos não lenhosos, como discutido por Zhou et al. (2016).

4.3 Produção do biomaterial em moldes

Os biomateriais produzidos em moldes apresentaram características distintas conforme a espécie fúngica utilizada (Fig. 6).

P. sanguineus destacou-se como a mais eficiente, colonizando completamente o substrato de bagaço de cana em 7-10 dias e formando uma estrutura homogênea com textura leve e rígida, semelhante ao isopor.

Em contraste, *G. sinense* apresentou um crescimento mais lento (15-20 dias para colonização parcial) e formou um material menos coeso, com áreas não colonizadas visíveis.

O cultivo do fungo *G. neo-japonicum* apresentou crescimento micelial limitado, possivelmente devido à ausência de parâmetros otimizados e ao tempo insuficiente para seu pleno desenvolvimento, conforme discutido anteriormente.

O formato final desejado foi obtido e este apresentou rigidez suficiente para suportar substrato vegetal e umidade, demonstrando potencial uso como vaso de planta temporário que poderá futuramente ser descartado normalmente na natureza para ser naturalmente decomposto no meio ambiente.

Fig.1. Biomateriais produzidos para serem utilizados como vasos de plantas biodegradáveis



Fonte: Próprio autor (2025)

4.4 Propriedades dos Biomateriais Produzidos

Os biomateriais desenvolvidos foram submetidos a testes para avaliação de suas propriedades funcionais, com resultados que demonstram seu potencial para aplicações práticas.

Ao ser submetido ao bico de Bunsen (chama azul $\sim 1.300^{\circ}\text{C}$), o biomaterial de *P. sanguineus* apresentou comportamento não comburente, porém mostrou-se inflamável quando o fogo entrou em contato direto com o bagaço de cana exposto (Fig 8). O tijolo de *G. sinense* apresentou absorção de 56,37% (de 30,39g para 47,56g), demonstrando que a forma geométrica influencia nas propriedades de absorção, bem como todos mantiveram flutuação estável durante os 5 minutos de observação. Este comportamento corrobora com a literatura que descreve materiais miceliais como naturalmente boiantes devido à sua estrutura porosa e baixa densidade (Jones et al., 2020). As medidas de deformação sob carga de 1kg por 10 minutos revelaram que os biomateriais mantiveram as dimensões estáveis. Estes resultados indicam boa resistência à compressão,

O teor médio de cinzas dos substratos analisados foi de aproximadamente 0,93%, indicando uma baixa concentração de material inorgânico, o que é adequado para o desenvolvimento micelial.

5. CONCLUSÃO

Os experimentos realizados permitiram verificar que a colonização do substrato por espécies fúngicas resultou em características físicas e estruturais promissoras, com boa aderência, leveza e estabilidade após a secagem, evidenciando um grande potencial. Os resultados obtidos indicam que esse tipo de material pode ser uma solução eficaz e ambientalmente responsável, contribuindo para o desenvolvimento de produtos biodegradáveis e de menor impacto ecológico.

REFERÊNCIAS

1. **GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L.** Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, Washington, DC, v. 3, n. 7, p. e1700782, 2017. Disponível em: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.1700782>.
2. **HANEEF, M. et al.** Advanced materials from fungal mycelium: Fabrication and tuning of physical properties. *Scientific Reports*, London, v. 7, p. 41292, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep41292>.
3. **JONES, M. et al.** Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials & Design*, [S.l.], v. 187, p. 108397, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108397>.
4. **ISLAM, M. R. et al.** Morphology and mechanics of fungal mycelium. *Scientific Reports*, London, v. 7, p. 13070, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13295-2>.
5. **SONG, X. et al.** Recent advances in the construction of biocomposites based on fungal mycelia. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, Lausanne, v. 10, p. 971358, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.971358>.
6. **BOH, B. et al.** *Ganoderma lucidum* and its pharmaceutically active compounds. *Biotechnology Annual Review*, New York, v. 13, p. 265-301, 2007. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1387-2656\(07\)13010-6](https://doi.org/10.1016/S1387-2656(07)13010-6).
7. **ZHOU, L. W. et al.** Global diversity of the *Ganoderma lucidum* complex (Ganodermataceae, Polyporales) inferred from morphological and molecular evidence. *Phytochemistry*, Oxford, v. 114, p. 7-15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.09.003>.
8. **YUEN, J. W. M.; GOHEL, M. D. I.** Anticancer effects of *Ganoderma lucidum*: A review of scientific evidence. *Nutrition and Cancer*, Philadelphia, v. 60, n. 1, p. 1-11, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/01635580701883014>.
9. **EGGERT, C.; TEMP, U.; ERIKSSON, K. E. L.** The ligninolytic system of the white rot fungus *Pycnoporus cinnabarinus*: Purification and characterization of the laccase. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, DC, v. 62, n. 4, p. 1151-1158, 1996. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.62.4.1151-1158.1996>.
10. **LEVIN, L.; FORCHIASSIN, F.; VIALE, A.** Ligninolytic enzyme production and dye decolorization by *Trametes trogii*: Application of the Plackett-Burman experimental design to evaluate nutritional requirements. *Process Biochemistry*, Oxford, v. 45, n. 4, p. 507-512, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.11.007>.
11. **PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA).** *Da poluição à solução: avaliação global sobre o lixo marinho e a poluição plástica*. Nairobi: ONU Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment>.
12. **LESLIE, H. A. et al.** Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, Amsterdam, v. 163, p. 107199, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>.

13. **RAGUSA, A. et al.** Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, Amsterdam, v. 146, p. 106274, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>.
14. **CERIMI, K. et al.** Fungi as source for new bio-based materials: a patent review. *Fungal Biology and Biotechnology*, v. 6, n. 17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40694-019-0080-y>.
15. **HAPUARACHCHI, K. K. et al.** High phenotypic plasticity of *Ganoderma sinense* (Ganodermataceae, Polyporales) in China. *Asian Journal of Mycology*, v. 2, n. 1, p. 1-47, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5943/ajom/2/1/1>.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

i Danilo Henrique Donato Rocha



Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento na Universidade de São Paulo (2023). Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (2019). Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (2016). Atua como Instrutor de Formação Profissional III na Escola SENAI Biotecnologia.

ii Larissa Alves Correa



Mestre em Química Orgânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2017). Bacharel em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (2015). Atua como Instrutora de Formação Profissional III na Escola SENAI Biotecnologia.

iii Luciano Zane Filho



Doutor em Biotecnologia pela Universidade de São Paulo (2023). Bacharel em Biotecnologia pela Universidade Federal de São Carlos (2017). Atua como Instrutor de Formação Profissional III na Escola SENAI Biotecnologia.

iv Livia de Carvalho Fontes Matsumoto



Doutora em Microbiologia pela Universidade de São Paulo (2016). Mestre em Microbiologia pela Universidade de São Paulo (2012). Especialista em Microbiologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (2008). Graduada em Ciências Biológicas pela Escola Superior em Meio Ambiente (2005). Atua como Instrutora de Formação Profissional III na Escola SENAI Biotecnologia.