

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

TALITA SIMIONATTO

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS PARA A PRODUÇÃO DE
BIOCOMPÓSITOS COM MICÉLIO DE MACROFUNGOS UTILIZANDO RESÍDUOS
AGROINDUSTRIAIS COMO SUBSTRATO**

DOIS VIZINHOS

2025

TALITA SIMIONATTO

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS PARA A PRODUÇÃO DE
BIOCOMPÓSITOS COM MICÉLIO DE MACROFUNGOS UTILIZANDO RESÍDUOS
AGROINDUSTRIAIS COMO SUBSTRATO**

**Development of Processes for the Production of Mycelium-Based
Biocomposites Using Agro-Industrial Waste as Substrate**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Orientador(a): Prof. Dr. Francisco Menino Destéfani Vítola.

DOIS VIZINHOS

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

TALITA SIMIONATTO

**DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS PARA A PRODUÇÃO DE
BIOCOMPÓSITOS COM MICÉLIO DE MACROFUNGOS UTILIZANDO RESÍDUOS
AGROINDUSTRIAIS COMO SUBSTRATO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Licenciado em Ciências Biológicas da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 18/fevereiro/2025

Marcos Paulo Belançon
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Sérgio Miguel Mazaro
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Deborah Lizama Boettcher
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**DOIS VIZINHOS
2025**

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todas as pessoas e instituições que foram fundamentais para a concretização deste trabalho de conclusão de curso.

Expresso minha profunda gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Menino Destéfanis Vítola, pelo constante suporte e pela orientação sábia que guiaram cada passo desta jornada acadêmica.

Cada um de vocês desempenhou um papel essencial e contribuiu de maneira única para o sucesso deste trabalho. Agradeço sinceramente pelo apoio, orientação e oportunidades proporcionadas ao longo dessa caminhada.

Agradeço, também à PROREC PROGRAD – Edital N° 01/2023, pela bolsa de extensão, que proporcionou a oportunidade de realizar este trabalho com orientação no Laboratório de Ensino da Universidade, ampliando significativamente meus conhecimentos e habilidades no contexto do projeto.

Agradeço, ainda, pela bolsa de apoio à execução de trabalhos de conclusão de curso voltados para inovação – Edital N° 15/2023. Esse recurso foi crucial para a realização da pesquisa, permitindo a aquisição dos materiais necessários e contribuindo significativamente para o desenvolvimento do projeto.

RESUMO

Frente à urgência de enfrentar os desafios ambientais atuais, este trabalho de pesquisa apresenta uma abordagem inovadora para a produção de materiais biodegradáveis de fontes renováveis. O objetivo consiste em avaliar o potencial de resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana-de-açúcar e a palha de milho, para a fabricação de compósitos de micélio de fungos, com diversas aplicações em potencial. Assim, o foco está na utilização de biomassa vegetal como matéria-prima para a produção de compósitos, e micélio de diferentes macrofungos como principal agente no processamento destes substratos, resultando em materiais com diversas aplicações em potencial, incluindo a substituição do isopor convencional, do aglomerado de madeira e de espumas sintéticas. Diante desse cenário, a pesquisa concentrou-se na análise de diferentes espécies de macrofungos, reconhecidos por sua importância nutricional e medicinal, como agentes de miceliação para os compósitos. A avaliação comparativa destes fungos não apenas visa aprimorar as características físicas e mecânicas dos compósitos, mas também agregar valor econômico a resíduos agroindustriais produzidos de forma abundante em território nacional. A metodologia incluiu a obtenção e manutenção das culturas miceliais, preparação do inóculo, preparo do substrato, inoculação e pré-incubação para miceliação, trituração, modelagem em placas de Petri, incubação para consolidação e secagem, além de avaliações através de análises de absorção de água e densidade aparente. Os resultados indicaram variação na densidade dos compósitos conforme a espécie fúngica e o substrato utilizado, com valores entre 102,92 kg/m³ e 258,80 kg/m³. A análise de absorção de água revelou que os compósitos fúngicos possuem alta capacidade de retenção hídrica, o que pode limitar sua aplicação em ambientes úmidos sem um tratamento adicional. Esse comportamento está associado à estrutura porosa dos materiais e à composição química dos resíduos vegetais utilizados. Apesar da baixa resistência mecânica observada, esses materiais são totalmente biodegradáveis e oriundos de recursos renováveis, representando uma alternativa sustentável para diversos setores industriais. Além da abordagem técnica, a pesquisa incorpora uma dimensão educativa, propondo a criação de uma cartilha para disseminar a importância dos biocompósitos. A natureza interdisciplinar do estudo visa acelerar a transição para práticas sustentáveis, conectando inovação tecnológica e conscientização ambiental. O trabalho aspira contribuir para uma economia circular, transformando resíduos em recursos e promovendo um futuro mais equitativo e ecologicamente responsável.

Palavras-chave: biocompósitos; resíduos agroindustriais; micélio; sustentabilidade.

ABSTRACT

In Given the urgency of addressing current environmental challenges, this research presents an innovative approach to the production of biodegradable materials from renewable sources. The objective is to evaluate the potential of agro-industrial residues, such as sugarcane bagasse and corn husk, for the fabrication of fungal mycelium composites, with various potential applications. Thus, the focus is on the use of plant biomass as raw material for the production of composites, and mycelium from different macrofungi as the main agent in processing these substrates, resulting in materials with various potential applications, including the replacement of conventional polystyrene, particleboard, and synthetic foams. In this scenario, the research focused on analyzing different macrofungal species, recognized for their nutritional and medicinal importance, as myceliation agents for the composites. The comparative evaluation of these fungi not only aims to enhance the physical and mechanical characteristics of the composites but also to add economic value to agro-industrial residues abundantly produced in the national territory. The methodology included obtaining and maintaining mycelial cultures, inoculum preparation, substrate preparation, inoculation and pre-incubation for myceliation, grinding, molding in Petri dishes, incubation for consolidation and drying, as well as evaluations through water absorption and bulk density analyses. The results indicated variation in the density of the composites according to the fungal species and substrate used, with values ranging from 102.92 kg/m³ to 258.80 kg/m³. The water absorption analysis revealed that fungal composites have a high water retention capacity, which may limit their application in humid environments without additional treatment. This behavior is associated with the porous structure of the materials and the chemical composition of the plant residues used. Despite the low mechanical resistance observed, these materials are fully biodegradable and derived from renewable resources, representing a sustainable alternative for various industrial sectors. In addition to the technical approach, the research incorporates an educational dimension, proposing the creation of a booklet to disseminate the importance of biocomposites. The interdisciplinary nature of the study aims to accelerate the transition to sustainable practices, connecting technological innovation and environmental awareness. The work aspires to contribute to a circular economy, transforming waste into resources and promoting a more equitable and ecologically responsible future.

Keywords: biocomposites; agro-industrial residues; mycelium; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Frutificações de <i>Ganoderma lucidum</i>	16
Figura 2 – Frutificações de <i>Pleurotus djamor</i>	17
Figura 3 – Frutificações de <i>Pleurotus ostreatus</i>	19
Figura 4 – Preparo das placas contendo BDA (A e B); Repique de <i>G. lucidum</i> (C e D)	22
Figura 5 – Desenvolvimento do micélio de <i>G. lucidum</i> em placas de Petri (A e B); Desenvolvimento do micélio de <i>P. djamor</i> em tubos de ensaio (C e D)	23
Figura 6 – Preparo e esterilização em autoclave dos grãos de milho (A e B); Sementes prontas para incubação em BOD contendo micélios dos fungos selecionados (C); Inóculos miceliados e prontos para as próximas etapas (D)	24
Figura 7 - Autoclave (A); Materiais para o preparo do substrato em sacos de polipropileno (B); Grãos de milho cozidos e suplementados para a preparação do inóculo em caixa plástica (C); Grãos de milho cozidos e suplementados em sacos de polipropileno (D)	25
Figura 8 - Sacos de polipropileno contendo micélio de <i>G. lucidum</i> (A), <i>P. djamor</i> e <i>P. ostreatus</i> (B), <i>P. ostreatus</i> (C) e <i>P. djamor</i> (D), vedados com espuma e elástico.....	25
Figura 9 – Sacos de ráfia contendo bagaço de cana (A); triturador forrageiro (B); Preparo do substrato (C); Substratos suplementados e prontos para esterilização em autoclave (D)	26
Figura 10 – Compósitos de <i>P. djamor</i> e <i>P. ostreatus</i> , respectivamente, em bagaço triturado (A e B); Compósitos de <i>G. lucidum</i> em grãos de milho (C); Compósitos de bagaço de cana e palha de milho em BOD contendo <i>G. lucidum</i> (D)	28
Figura 11 – Gráfico de densidades e desvios de cada compósito. As letras minúsculas representam o resultado do teste de <i>Kruskal-Wallis</i> seguido do pós-teste de Dunn, sendo que grupos com letras iguais não apresentam diferença significativa para $p < 0.01$	33
Figura 12 – Compósitos de <i>G. lucidum</i> em milho	36
Figura 13 – Gráfico de absorção de água de cada espécie fúngica e substrato equivalente.....	37
Figura 14 – Capa e apresentação do material didático	51
Figura 15 – Introdução do material didático	51
Figura 16 – Fundamentação do material didático	52
Figura 17 – Fundamentação do material didático	52
Figura 18 – Leituras recomendadas do material didático	53
Figura 19 – Referências do material didático	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	10
2.1	Objetivo Geral	10
2.2	Objetivos Específicos	10
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
3.1	Introdução ao potencial de biocompósitos	11
3.2	Potencial econômico e ambiental de resíduos agroindustriais	12
3.3	Biocompósitos como alternativa ecológica para diversas aplicações	13
3.4	Propriedades e características das espécies fúngicas selecionadas	15
3.5	Cartilha informativa como material didático	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	Obtenção e manutenção das culturas miceliais.....	21
4.2	Preparo do inóculo	23
4.3	Preparo do substrato, inoculação e pré-incubação para miceliação	26
4.4	Trituração, modelagem, incubação e secagem	27
4.5	Testes para avaliação de utilidade e resistência	28
4.5.1	Densidade	29
4.5.2	Absorção de água	30
4.6	ELABORAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO PROPOSTO	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	Análise da densidade aparente	33
5.2	Análise de absorção de água	37
5.3	Considerações finais	39
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICE A – Cartilha como material didático	50

1 INTRODUÇÃO

A busca incessante por soluções sustentáveis diante dos desafios ambientais impõe a necessidade de repensar a forma como utilizamos os recursos disponíveis. Assim, o objetivo dessa pesquisa traz a investigação sobre o potencial de resíduos agroindustriais como matéria-prima para a fabricação de compósitos de micélio de fungos, com a finalidade de substituir materiais não renováveis, como as espumas sintéticas, aglomerados e o isopor convencional. Estes materiais sintéticos, apesar de sua ampla utilização, representam um desafio significativo para a gestão de resíduos, devido à sua degradação lenta e impacto ambiental duradouro.

Os compósitos de micélio, provenientes do crescimento de fungos em substratos orgânicos, representam uma abordagem inovadora e ecologicamente consciente. Neste estudo, o foco recai sobre os macrofungos *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst, *Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn e *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) como agentes de miceliação, em substratos compostos principalmente por resíduos agroindustriais de natureza lignocelulósica (bagaço de cana-de-açúcar e palha de milho). Além da obtenção dos corpos de prova, serão avaliadas propriedades físicas fundamentais, como densidade e capacidade hidrofílica, permitindo comparar seu desempenho com materiais convencionais.

Entretanto, esta pesquisa não se limita à análise técnica dos compósitos, mas estende-se à esfera educativa, assim, reconhecendo a importância da sensibilização pública, e propondo o desenvolvimento de uma cartilha informativa. Essa ferramenta visa não apenas destacar os benefícios dos biocompósitos na substituição de termoplásticos, mas também sensibilizar a comunidade sobre os desafios associados aos materiais sintéticos e a relevância de adotar alternativas renováveis e biodegradáveis.

A comunicação, quando considera os princípios do meio ambiente, tem o poder de atuar de maneira significativa em três etapas relacionadas aos problemas socioambientais. Marandola Jr. (2009), menciona essas etapas ao discutir os riscos ambientais, as quais englobam: a prevenção, que envolve como evitar os problemas; a mitigação, que trata de reduzi-los ou corrigi-los; e a adaptação, que lida com o que fazer quando já não é possível evitar ou corrigir os problemas.

Dessa forma, a interdisciplinaridade desta pesquisa, ao cruzar a fronteira entre a investigação científica e a promoção de conscientização, envolvendo a

comunicação ambiental, almeja contribuir para uma mudança de paradigma em direção a práticas mais sustentáveis e ecologicamente responsáveis.

Essa pesquisa discute a viabilidade desses biocompósitos na logística de equipamentos, considerando seu potencial como substituto para embalagens e componentes estruturais. Além disso, espera-se que com essa pesquisa haja a contribuição para o avanço do conhecimento nas áreas de biologia e biotecnologia, e o estímulo ao desenvolvimento de inovações, com o potencial de gerar novos produtos mais sustentáveis e eficientes, que contemplem o potencial natural da região, criando oportunidades de negócios e ajudando a construir um ambiente mais saudável.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver processos para a produção de biocompósitos com micélio de macrofungos utilizando resíduos agroindustriais como substrato, visando a substituição de materiais sintéticos e a sensibilização da comunidade sobre recursos biodegradáveis.

2.2 Objetivos Específicos

- Obter corpos de prova dos compósitos em placas de Petri a partir de cultivo micelial de *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus* e *Pleurotus djamor* em diferentes substratos.
- Avaliar as propriedades físicas das placas de micélio obtidas (densidade e capacidade hidrofílica), comparando com parâmetros estabelecidos para outros materiais e aplicações específicas.
- Discutir a sustentabilidade da aplicação dos compósitos de micélio e o potencial de diferentes substratos e suplementação como matéria prima para fabricação desses compósitos.
- Elaborar uma cartilha informativa a fim de sensibilizar sobre a relevância dos biocompósitos como substitutos de polímeros termofixos, destacando os problemas dos materiais sintéticos e a importância de alternativas renováveis e biodegradáveis.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Resíduos agroindustriais, como cascas, bagaço e palhas, possuem alto valor nutricional e são excelentes substratos para o cultivo de fungos, devido à presença de açúcares, minerais e proteínas (Gaur *et al.*, 2022). O uso desses resíduos reduz custos de produção e agrega valor ao material descartado, transformando-o em produtos como antioxidantes, enzimas e materiais inovadores, promovendo uma abordagem sustentável e biotecnologicamente viável (Sánchez, 2009). Dessa forma, este trabalho de conclusão de curso propõe a avaliação de diferentes substratos e suplementos, como o bagaço de cana, palha de milho, farelo de trigo e grãos de milho. Para isso, testou-se variações do método de Urban e De Oliveira (2017), incluindo o uso das espécies *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus djamor* e *Pleurotus ostreatus* além da inclusão de etapas de pré-incubação e trituração no processo.

3.1 Introdução ao potencial de biocompósitos

Vários tipos de fungos, incluindo mofos, bolores e cogumelos, possuem estruturas filamentosas conhecidas como micélio. Quando o micélio cresce em substratos orgânicos, ele naturalmente se liga às partículas do substrato, formando um bloco coeso. A ideia de moldar esses blocos para criar peças funcionais surgiu na década de 1990, inicialmente no contexto das artes plásticas e do design. Phillip Ross, um dos pioneiros nesse campo, fundou uma empresa chamada *Mycoworks* em 2013, que passou a ser dedicada à comercialização de compósitos de micélio (Mycoworks, 2023).

A partir da formação de um aglomerado nas partículas de resíduos compostos, devido à presença de quitina em suas paredes celulares (Islam *et al.*, 2017), os fungos filamentosos liberam enzimas extracelulares oxidativas que degradam o substrato (Hernández *et al.*, 2017), estimulando o crescimento e o aumento na densidade micelial, que resulta em propriedades físicas e mecânicas nos compósitos semelhantes ou superiores às dos produzidos em poliestireno expandido (EPS), também conhecido como isopor (Ramirez-Chen *et al.*, 2014).

Após a introdução deste material no mercado, pela empresa *Ecovative*, em 2007 (Ecovative, 2023), diversos grupos de pesquisa passaram a se dedicar para

otimizar os processos de produção, diversificar as aplicações e aumentar a qualidade dos produtos oferecidos (Sydor *et al.*, 2022).

Os resultados atuais na área de materiais derivados de micélio são surpreendentes, indo de painéis acústicos (Mogu, 2023) a substitutos de couro (Bolt Threads, 2023). Contudo, as possibilidades de inovação e aplicações apenas começaram a surgir.

3.2 Potencial econômico e ambiental de resíduos agroindustriais

Fibras vegetais, como aquelas provenientes do bagaço de cana-de-açúcar, sisal, banana, coco, madeira e juta, têm sido usadas na fabricação de diversos tipos de plásticos termoplásticos e termofixos, servindo como reforço ou material de preenchimento (Bertoti; Luporini; Esperidião, 2009).

O Brasil se destaca como um dos principais produtores de bagaço de cana-de-açúcar, uma fibra resultante do processo de extração do açúcar da cana. Esse bagaço é um exemplo significativo de subproduto da indústria agrícola no país, com potencial para ser reaproveitado de maneira econômica, seja como fertilizante ou como uma fonte de energia de baixo custo (Sanchez *et al.* 2010).

Uma das possibilidades interessantes na região de Dois Vizinhos (PR) é a utilização de resíduos agroindustriais como matéria-prima para a fabricação destes compósitos: palhas, bagaços, cascas e farelos são excelentes substratos para o crescimento de fungos. Os tipos de resíduos, formas de processamento e espécies de fungos oferecem uma infinidade de combinações, que podem ser exploradas para diferentes aplicações (Peng *et al.*, 2022).

Dessa forma, com as crescentes preocupações globais sobre o aumento da produção de materiais plásticos, há um esforço considerável para usar biopolímeros na criação de bioplásticos, como a celulose e as hemiceluloses. As hemiceluloses são um grupo de polissacarídeos com estruturas variadas que incorporam diferentes tipos de açúcares, elas constituem cerca de 20% a 35% da biomassa de plantas e são o segundo biopolímero mais comum após a celulose (Ling *et al.*, 2020). No caso do bagaço de cana-de-açúcar, o conteúdo de xilose representa até 80% das hemiceluloses (Alves *et al.*, 2021).

No entanto, mesmo nas regiões produtoras de cana-de-açúcar, o bagaço tem se tornado escasso devido ao uso intensivo como combustível pelas usinas. Além

disso, em áreas onde a cultura da cana-de-açúcar é limitada ou inexistente, o fornecimento desse material é dificultado (Dias *et al.*, 2010). Por esse motivo, associado à disponibilidade e ao potencial da palha de milho como substrato, também foram realizados testes de crescimento micelial e produção de compósitos com esse recurso, a fim de reforçar a viabilidade de explorar resíduos locais para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis ao plástico convencional.

Ademais, testes de produção do compósito utilizando grãos de milho (ainda que não sejam um resíduo) também foram adotados pelo seu uso como inóculo ser eficiente, presente no método de Urben e De Oliveira (2017).

3.3 Biocompósitos como alternativa ecológica para diversas aplicações

A Lei número 12.305/10, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contém ferramentas essenciais para impulsionar o Brasil na resolução dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos resultantes da gestão inadequada dos resíduos sólidos. Ela aborda a importância da prevenção e da redução da geração de resíduos, promovendo práticas de consumo sustentável. Além disso, a PNRS oferece um conjunto de mecanismos para aumentar a reciclagem e a reutilização de materiais recicláveis, bem como garantir a destinação apropriada para resíduos que não podem ser reciclados ou reutilizados (PNRS, 2010).

Nesse contexto, o aumento do problema ambiental causado pela presença de resíduos plásticos no nosso planeta impulsiona a investigação de polímeros que possam se decompor naturalmente, especialmente quando se trata de usos de curta duração, onde não são necessárias propriedades mecânicas excepcionais. No passado, a busca por plásticos mais duráveis resultou em produtos que excedem o tempo de uso previsto, agravando o problema ambiental devido à reciclagem inadequada no país, o que limita sua reutilização (Cordi, 2008).

Os biocompósitos têm sido amplamente aplicados em diversas indústrias devido à sua sustentabilidade, leveza e boas propriedades mecânicas. Suas aplicações variam desde as indústrias automotiva, aeronáutica e naval, como menciona Prashanth *et al.* (2017), fabricação de painéis internos, revestimentos de portas e componentes estruturais, construção civil, como isolamentos térmicos e acústicos, revestimentos e painéis decorativos (Yatim *et al.*, 2013), aplicação de embalagens, incluindo eletrônicos, itens frágeis e indústria de alimentos (Ziegler *et al.*,

2016), além das aplicações exteriores, como substitutos de produtos de madeira maciça e derivados de madeira, tais como mobiliário de jardim e de piscinas, em réguas de pavimento, revestimentos de parede, portas e janelas (Real, 2017).

A maioria dos polímeros bio-sintéticos disponíveis de fontes renováveis sofrem degradação num período razoável (Alves, 2019). A durabilidade dos biocompósitos varia de acordo com os materiais utilizados e as condições ambientais a que são submetidos. Biocompósitos com matriz biodegradável, como os feitos de poli(ácido láctico) (PLA) e poli(ϵ -caprolactona) (PCL) reforçados com fibras vegetais, podem apresentar degradação significativa em meses ou anos, dependendo da umidade e da presença de microrganismos (Lemos, 2017). Já os biocompósitos de micélio, compostos por fungos e resíduos agroindustriais, podem se decompor em cerca de 50 dias, tornando-se uma alternativa sustentável para embalagens e materiais temporários (Ciência UFS, 2022). Em contrapartida, biocompósitos baseados em matrizes sintéticas, como resinas epóxi ou polipropileno (PP) reforçados com fibras naturais, podem durar de 5 a 30 anos, especialmente quando tratados para resistir à absorção de umidade e à degradação térmica (Regazzi *et al.*, 2018). Além disso, estudos sobre envelhecimento hidrotérmico demonstram que a durabilidade dos biocompósitos pode ser aumentada pelo tipo de reforço utilizado, sendo essencial considerar o impacto ambiental desses materiais ao longo de seu ciclo de vida.

Dessa forma, alguns dos materiais que podem ser substituídos por biocompósitos de micélio, em diversas aplicações, são o isopor, espumas sintéticas e aglomerados de madeira produzidos com resinas sintéticas.

O poliestireno expandido (EPS), conhecido como isopor, é amplamente utilizado em embalagens e na construção civil devido às suas propriedades isolantes e leveza (Juvenal; Pinsky, 2019). No entanto, sua produção e descarte inadequados acarretam sérios problemas ambientais, como mencionado por Nogueira *et al.* (p. 77338, 2021) “apesar da aparência inocente e frágil, leva cerca de 150 anos para se decompor em grande quantia”. Observando o vasto descarte após o uso, assim como outros materiais, a proposta de alternativa ecológica apresentada a partir de compósitos de micélio, trabalha com a utilização de material biodegradável, de fácil aquisição, baixo custo e ecologicamente sustentável (Yang *et al.*, 2021).

Além disso, é um material que se diferencia dos demais plásticos devido à sua aparência singular e à sua grande proporção de volume em relação ao peso. Por conta dessas características, ele geralmente não é reciclado, o que acarreta um sério

problema ambiental. Além disso, este material ocupa um espaço significativo nos aterros sanitários e representa uma ameaça considerável para a vida selvagem, especialmente aquática (Cocco *et al.*, 2011).

Estudos indicam que a incorporação do micélio pode proporcionar maior resistência mecânica e condições de crescimento mais rápidas e eficientes, tornando-o uma opção ecologicamente sustentável para substituir espumas sintéticas e resinas utilizadas na produção de aglomerados (Junior, 2022). A substituição de materiais sintéticos por compósitos de micélio não apenas reduz o impacto ambiental associado ao descarte de plásticos, mas também promove a utilização de recursos renováveis, alinhando-se aos princípios da economia circular e contribuindo para práticas industriais mais responsáveis e conscientes (Kopp, 2024).

3.4 Propriedades e características das espécies fúngicas selecionadas

Devido às suas propriedades nutricionais e medicinais, *G. lucidum* é amplamente empregado na produção de remédios, suplementos alimentares e alimentos funcionais, sendo reconhecido por suas capacidades antitumorais, antivirais, anti-inflamatórias e antibacterianas, entre outras. Dentre suas características principais estão a coloração do estipe que varia do avermelhado ao marrom-violáceo, superfície do píleo ou chapéu com um brilho que lembra uma aparência envernizada e himenóforo do tipo poros, circulares e esbranquiçados (Urban *et al.*, 2004).

Figura 1 – Frutificações de *Ganoderma lucidum*

Fonte: Autoria própria (2024).

Para a produção do *G. lucidum*, os principais nutrientes necessários incluem o carbono, nitrogênio e minerais, como cálcio e fósforo. Seu cultivo pode ser realizado em diferentes materiais, como palha de trigo, arroz e milho; bagaço de cana-de-açúcar; farelo de soja; gramíneas, entre outros. Entretanto, o uso de serragem é frequente nos substratos de cultivo, levando em consideração que este fungo é lignícola, o que significa que ele cresce de forma natural em cascas de árvores (Urban; de Oliveira; Santos, 2017). Pode atuar como parasita de árvores mais debilitadas, mas seu papel ecológico principal é de decompositor (Chevreuil *et al.*, 2022).

Dentre as condições de cultivo, Urban, de Oliveira e Santos (2017) apontam que as condições ideais para o desenvolvimento do micélio dessa espécie são: entre 24 °C e 30 °C, ausência de luz, 60% de teor de umidade no substrato, ar fresco pela condição de aerobiose necessária e pH levemente ácido (por volta de 5). Com relação à etapa de frutificação, esses mesmos autores afirmam que as condições ideais são entre 20 °C e 25 °C, luz moderada, umidade relativa do ar de 80% a 90% e uma maior circulação de ar fresco em relação à etapa de miceliação. Em ambientes favoráveis, o período desde a inoculação até a colheita é de aproximadamente 5 a 6 meses.

Com relação à sua comercialização, ele pode ser vendido como chá, tanto na forma de cogumelos desidratados inteiros quanto triturados e está disponível em pílulas, cápsulas, tinturas e xaropes. Na China, os corpos de frutificação desse

cogumelo, com sua forma de chifre, são preservados e utilizados como obras de arte em museus e templos, passados de geração em geração como parte da herança familiar e até mesmo vendidos aos turistas. Além disso, também é empregado na produção de café, chocolates, cervejas e vinhos, onde serve como um aditivo aromatizante com propriedades medicinais (Urban; de Oliveira; Santos, 2017).

Já o gênero *Pleurotus*, amplamente utilizado pelo seu alto valor nutricional, que engloba teor elevado de proteínas, aminoácidos essenciais, proporção elevada de ácidos graxos insaturados, diversas vitaminas e minerais, teores baixos de gorduras, ácidos nucléicos, açúcares e calorias (Rampinelli *et al.* 2010), além de diversas propriedades terapêuticas e aplicações biotecnológicas, engloba os fungos causadores da podridão branca da madeira, pela sua eficiência na degradação da lignina (Cohen; Persky; Hadar, 2002). Assim, sua produção pode incluir quase todos os resíduos agroindustriais, dependendo da necessidade do produtor, facilitando assim sua aplicação tecnológica e alimentícia (Rabuske *et al.*, 2019).

Figura 2 – Frutificações de *Pleurotus djamor*



Fonte: Autoria própria (2024).

A espécie fúngica *Pleurotus djamor*, também denominada de cogumelo ostra rosa ou salmão, pode ser cultivado em faixa de ampla temperatura (20°C a 35 °C) e umidade superior a 80% (Jegadeesh *et al*, 2018), favorecendo a escolha da espécie para o desenvolvimento da pesquisa. Suas características principais englobam estipe

curto ou pouco definido, com coloração rosada, píleo ou chapéu que pode medir de 5 a 15 cm de diâmetro, com superfície lisa e tonalidade rosa e himenóforo formado por lâminas finas, estreitas e brancas (Gutiérrez, 2012). Além disso, segundo Satpal *et al.*, (2017), seus atributos físicos, sensoriais e fisiológicos, juntamente com o aumento do consumo de *P. djamor*, têm incentivado pesquisas para avaliar a adaptação dessa espécie a substratos alternativos, visando seu crescimento e a produção de basidiomas¹.

Seu cultivo necessita de substratos ricos em carbono e nitrogênio para seu desenvolvimento. A celulose e a hemicelulose são fontes importantes de carbono, enquanto o nitrogênio pode ser obtido a partir de suplementos orgânicos. Além disso, minerais como fósforo e potássio desempenham um papel fundamental no crescimento do fungo (Rampinelli, 2009). O cultivo desse cogumelo pode ser realizado em diferentes resíduos agrícolas, como palha de bananeira (Rampinelli *et al.*, 2010), serragem de madeira e outros materiais lignocelulósicos, incluindo exocarpo de cupuaçu, semente de açaí e exocarpo de abacaxi, conforme apontado por De Brito *et al.* (2021).

O fungo *Pleurotus ostreatus*, popularmente conhecido como Shimeji, é considerado o mais fácil de cultivar e o mais econômico, sendo produzido em grande escala mundialmente e ocupando a segunda posição na produção global (Kapahi, 2018). Pertencente ao filo *Basidiomycota* e à família *Pleurotaceae*, essa espécie tem origem na China, mas atualmente é amplamente distribuída em todo o mundo (Piska; Sułkowska-Ziaja; Muszyńska, 2017). Além de suas propriedades nutricionais, *P. ostreatus* também possui propriedades medicinais com efeitos benéficos à saúde (Masri *et al.*, 2017).

Considerado um decompositor primário, que degrada lignina, hemicelulose e outros componentes da matéria vegetal (Grimm; Wösten, 2018), este fungo possui um papel significativo no gerenciamento dos resíduos agrícolas, como menciona Yamuchi *et al.* (2019), além de apresentar frutificação com características desejáveis na produção, como alta eficiência biológica e resistência a pragas, com fácil adaptação a fatores ambientais (Kapahi, 2018).

¹ Estruturas multicelulares dos fungos basidiomicetos, que são popularmente conhecidos como cogumelos.

Figura 3 – Frutificações de *Pleurotus ostreatus*



Fonte: Autoria própria (2024).

Suas características principais englobam píleo em formato de ostra, com coloração variável que pode ir do cinza claro ao café acinzentado escuro. Seu tamanho depende do tempo de crescimento, geralmente entre 3 e 5 dias após o surgimento dos primórdios, sendo que a variação de cor é influenciada por fatores genéticos e pelas condições de cultivo (Vieira, 2016).

Originalmente o cultivo do gênero *Pleurotus* é realizado em toras de madeira, mas tem sido realizado por meio da técnica Jun-Cao, utilizando serragem e palhas diversas, que consiste principalmente da utilização desses substratos suplementados com alguma fonte de nitrogênio ao ajuste da relação carbono/nitrogênio, pela grande quantidade de carbono presente nesses meios de cultivo (Urban *et al.*, 2004; Pedra; Marino, 2006).

3.5 Cartilha informativa como material didático

As cartilhas são recursos informativos e educativos criados para apresentar o conteúdo de maneira leve e dinâmica, conforme destacado por Ribeiro e Queluci (2022). Ao utilizar esse material como ferramenta de informação e educação, há a vantagem de sistematizar conceitos ou conhecimentos científicos de forma visual e escrita, tornando as informações acessíveis a diversos tipos de leitores.

A eficácia desse método é evidente em organizações como o Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania (2020), a Fundação Oswaldo Cruz (2020) e o Fundo Nacional de Saúde (2022), que o empregam para abordar temas cruciais relacionados à saúde e educação, sensibilizando tanto a população quanto outros órgãos públicos.

Quanto aos métodos de elaboração de cartilhas, Ribeiro e Queluci (2022) mencionam a importância de delimitar o tema, estabelecer objetivos e definir o público-alvo, buscar relevância no tema, determinar a distribuição do material e realizar a pesquisa, estudo e desenvolvimento do roteiro da cartilha.

Diante disso, o propósito de criar uma cartilha educativa sobre a importância dos biocompósitos na substituição de materiais sintéticos visa sistematizar o conhecimento científico sobre o assunto. Isso não apenas sensibiliza para os problemas dos materiais sintéticos, mas também destaca a relevância e importância do desenvolvimento de alternativas renováveis e biodegradáveis.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As etapas experimentais foram planejadas com o intuito de avaliar a utilização do bagaço de cana-de-açúcar e palha de milho como substrato para o desenvolvimento de compósitos. Para avaliar a utilidade e resistência dos compósitos de micélio, foram realizadas análises de absorção de água (ASTM, 2022) e densidade aparente (ARANTES, 2023), comparando com os parâmetros de materiais sintéticos comumente utilizados em diferentes aplicações.

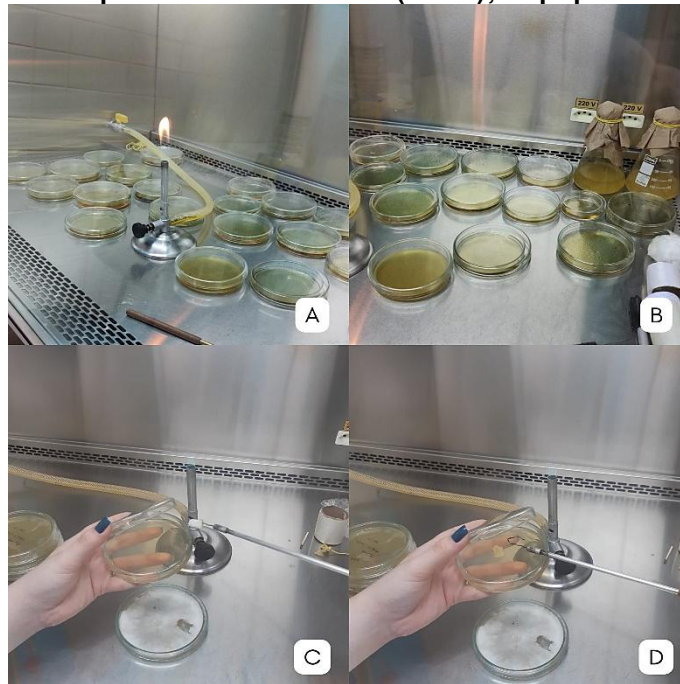
Para obtenção dos compósitos, foram realizadas as etapas de preparação de inóculo, inoculação, pré-incubação para miceliação, trituração, modelagem em placas de Petri, incubação para consolidação da miceliação e secagem. Estas etapas foram adaptadas a partir da metodologia de Tavares *et al.* (2013).

4.1 Obtenção e manutenção das culturas miceliais

As culturas miceliais puras de *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus djamor* e *Pleurotus ostreatus* foram adquiridas da empresa Fungicultura (2022) e vêm sendo mantidas por repiques periódicos e refrigeração, em placas de Petri contendo Ágar Batata Dextrose (BDA).

O primeiro passo para o desenvolvimento dos compósitos foi a preparação de matrizes primárias, obtidas a partir da preparação de placas de Petri e tubos de ensaio contendo BDA como meio de cultivo (caseiro ou comercial) e extrato de levedura para suplementação, utilizando a metodologia de Urben e De Oliveira (2017). Fragmentos do micélio de *G. lucidum*, *P. ostreatus* e *P. djamor* foram transferidos de forma asséptica para placas e tubos contendo meio fresco e autoclavado. Para isso, a manipulação dos fungos ocorreu na câmara de fluxo laminar do Laboratório de Bioprocessos (LAPRO) da própria universidade, utilizando placas de Petri, meio de cultivo, alça de inoculação, bico de Bunsen, álcool 70%, plástico de policloreto de vinila (PVC) e caneta permanente para identificação.

Figura 4 – Preparo das placas contendo BDA (A e B); Repique de *G. lucidum* (C e D)



Fonte: Aatoria própria (2024).

Para o repique, seguindo os “procedimentos de operação da câmara de fluxo laminar” (Carollo; Filho, 2016, p. 52), os fungos foram manuseados diretamente no interior da câmara, com o intuito de garantir a preservação das linhagens. O procedimento teve início após a limpeza do local para assepsia e organização dos utensílios de laboratório no interior da câmara, seguido da exposição à luz ultravioleta por cerca de 20 minutos. Ao utilizar o bico de Bunsen como fonte de calor para esterilização, a alça foi flambada na chama antes do uso para a coleta do micélio. É importante destacar que após a flambagem, há a necessidade do aguardo para o resfriamento próximo a chama, com o intuito de evitar tanto a morte do micélio pela temperatura como a contaminação da alça. Em seguida, os fragmentos foram transferidos e inseridos de forma centralizada para placas preparadas com o meio de cultivo, sendo posteriormente vedadas com o plástico PVC e identificadas (Urban; de Oliveira; Santos, 2017).

Figura 5 – Desenvolvimento do micélio de *G. lucidum* em placas de Petri (A e B); Desenvolvimento do micélio de *P. djamor* em tubos de ensaio (C e D)



Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, o estabelecimento de condições assépticas, ocorreu a partir de técnicas de desinfecção e esterilização em todas as etapas e a observação dos fatores associados ao cultivo de microrganismos (Carollo; Filho, 2016).

Após a conclusão do repique, a estufa *Biological Oxygen Demand* (BOD) foi utilizada para a primeira incubação, na manutenção da temperatura (25°C), umidade (>85%) e outros fatores que podem afetar o desenvolvimento do micélio.

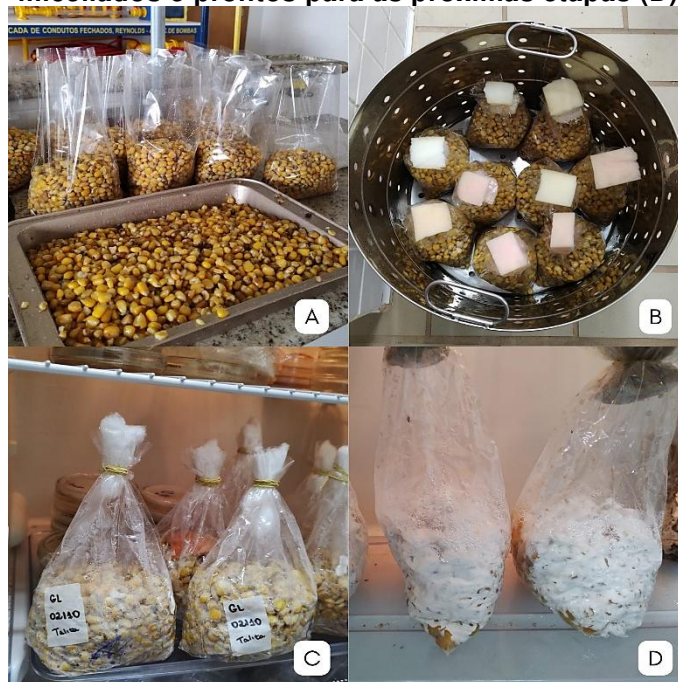
A cultura isolada foi mantida em meio BDA, sob refrigeração. Repiques com frequência mensal foram realizados para manter a viabilidade e o vigor da cepa.

4.2 Preparo do inóculo

A partir de grãos de milho cozidos e suplementados com 1% de calcário (massa seca de calcário : massa dos grãos hidratados), para manutenção no pH e fonte de cálcio, foi realizada a preparação do inóculo, de acordo com o método adaptado de Urben e de Oliveira (2017), utilizando micélio das espécies selecionadas (*Ganoderma lucidum* e *Pleurotus djamor*). Dessa forma, após o cozimento dos grãos em panela de pressão, o substrato foi despejado em uma peneira para retirar o excesso de água disponível (água livre), seguido da preparação da suplementação de acordo com a massa de milho utilizada, variável para cada aplicação. Por conseguinte,

os grãos foram distribuídos em sacos de polipropileno, preenchendo até cerca de três quartos da capacidade total. O polipropileno é adequado para o uso em autoclave, pela resistência a altas temperaturas. Cada saco foi vedado com espuma e elástico, permitindo as trocas gasosas futuras do fungo com o meio externo, porém impedindo a passagem de contaminações. Por fim, o material foi autoclavado por cerca de 40 minutos para esterilização em 120 °C.

Figura 6 – Preparo e esterilização em autoclave dos grãos de milho (A e B); Sementes prontas para incubação em BOD contendo micélios dos fungos selecionados (C); Inóculos miceliados e prontos para as próximas etapas (D)



Fonte: Autoria própria (2024).

É importante esclarecer que, embora materiais sintéticos como plástico, borracha e espuma sejam utilizados em experimentos laboratoriais de pequena escala devido à sua praticidade e eficiência, alternativas mais sustentáveis podem ser consideradas para a produção em larga escala. Nesses casos, o uso de recipientes de vidro, papel e barbante pode ser uma opção viável, já que são materiais muito utilizados em práticas laboratoriais de microbiologia, como menciona Salvatori *et al.* (2013) e Feitosa *et al.* (2015), reduzindo o impacto ambiental sem comprometer a qualidade do processo.

Após a inoculação, o substrato à base de grãos foi incubado a 25 °C, na ausência de luz, até completa miceliação. Ao final deste processo, os grãos miceliados recebem o nome de “semente” ou “*spawn*” e foram utilizados para inoculação dos

substratos de produção, além de testes de consolidação em placas de Petri para o desenvolvimento de compósitos.

Figura 7 - Autoclave (A); Materiais para o preparo do substrato em sacos de polipropileno (B); Grãos de milho cozidos e suplementados para a preparação do inóculo em caixa plástica (C); Grãos de milho cozidos e suplementados em sacos de polipropileno (D)



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 8 - Sacos de polipropileno contendo micélio de *G. lucidum* (A), *P. djamor* e *P. ostreatus* (B), *P. ostreatus* (C) e *P. djamor* (D), vedados com espuma e elástico



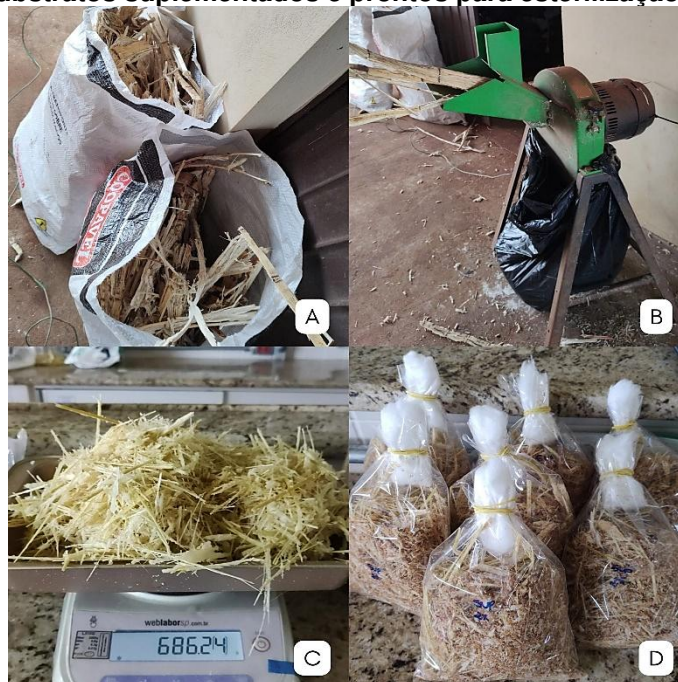
Fonte: Autoria própria (2023/2024).

4.3 Preparo do substrato, inoculação e pré-incubação para miceliação

Anteriormente à inoculação, ocorreu o preparo do substrato com o bagaço de cana-de-açúcar, seco em estufa de circulação de ar e fragmentado em triturador forrageiro (máquina agrícola que confere agilidade na trituração de restos de capim, galhos, milho debulhado, entre outros), sendo hidratado até a saturação com água corrente e suplementado com 1% de calcário e 10% de farelo de trigo (massa de suplemento seco: massa de bagaço hidratado). Além disso, o substrato passou por esterilização em autoclave por 40 minutos a 120 °C em embalagens de polipropileno, resistentes a temperaturas elevadas.

Também foram realizados testes na última leva de substratos, utilizando diferentes suplementações e concentrações, com o objetivo de explorar novas possibilidades para aprimorar a qualidade do composto. Foram preparados saquinhos com suplementação exclusiva de farinha de trigo a 10%, outros apenas com farinha de milho a 10% e outros com uma mistura das duas farinhas, totalizando 20% de fonte de carbono no substrato. Todos os substratos foram inoculados com *G. lucidum* e *P. djamor* para avaliar o desempenho e o impacto das diferentes suplementações no desenvolvimento dos micélios fúngicos.

Figura 9 – Sacos de rafia contendo bagaço de cana (A); triturador forrageiro (B); Preparo do substrato (C); Substratos suplementados e prontos para esterilização em autoclave (D)



Fonte: Autoria própria (2024).

O mesmo procedimento foi utilizado para a palha de milho, sem a necessidade de trituração prévia. A inoculação consistiu na transferência das “sementes” contendo o micélio dos macrofungos selecionados. Esta etapa ocorreu novamente em câmara de fluxo laminar, de acordo com o método descrito por Urben e de Oliveira (2017).

A pré-incubação foi conduzida em estufa BOD - local escuro e pouco ventilado - a 25°C e umidade relativa do ar > 85%, para o processo de miceliação, foi essencial para as etapas subsequentes, na elaboração dos compósitos. Esta etapa visou reduzir as chances de contaminação e tornar o processo mais rápido e eficiente nas etapas seguintes.

4.4 Trituração, modelagem, incubação e secagem

Depois de completamente miceliados de forma superficial, os substratos elaborados com o bagaço de cana e palha de milho, foram triturados com o auxílio do liquidificador e distribuídos em placas de Petri de vidro, com 10 cm de diâmetro e 2 cm de altura, para nova incubação. Foram utilizadas placas de Petri, devido à padronização das suas dimensões. A trituração contribuiu com a manutenção do aspecto liso, parecido com isopor, dos blocos de micélio, entretanto, apesar do substrato triturado, os grânulos ainda permaneceram de tamanho suficiente para aeração, necessária para que os microrganismos se desenvolvessem.

Figura 10 – Compósitos de *P. djamor* e *P. ostreatus*, respectivamente, em bagaço triturado (A e B); Compósitos de *G. lucidum* em grãos de milho (C); Compósitos de bagaço de cana e palha de milho em BOD contendo *G. lucidum* (D)



Fonte: Autoria própria (2024).

Depois de consolidados os blocos, as peças foram levadas para a estufa de circulação de ar, estufa à vácuo ou simplesmente mantidas por tempo prolongado na incubadora BOD, para secagem e inativação, antes de serem utilizadas como corpos de prova para as análises. Na estufa de circulação de ar, os compósitos permaneceram por cerca de 24 horas, à uma temperatura de aproximadamente 60 °C. Na estufa à vácuo, foi utilizada esta mesma temperatura, mas o tempo de secagem foi reduzido para duas horas. Já em BOD, os compósitos permaneceram por 30 dias à 25°C.

Independentemente do método utilizado, as peças foram secas até massa constante e armazenadas em sacos plásticos hermeticamente fechados até a realização das análises.

4.5 Testes para avaliação de utilidade e resistência

Os testes necessários para verificação da viabilidade dos materiais, foram realizados nos laboratórios da própria Universidade Tecnológica Federal do Paraná, utilizando os equipamentos disponíveis no campus Dois Vizinhos.

4.5.1 Densidade

A densidade é uma característica fundamental dos compósitos fúngicos, pois influencia diretamente sua resistência mecânica, estabilidade estrutural e possíveis aplicações industriais. Além das propriedades intrínsecas do fungo, esse parâmetro é afetado por condições ambientais, disponibilidade de nutrientes, tipo de substrato utilizado e métodos de secagem aplicados (Santos *et al.*, 2019). De acordo com Islam *et al.* (2017), há uma relação direta entre densidade e resistência mecânica, onde maiores densidades costumam resultar em materiais com maior resistência à compressão, o que foi comprovado em estudos experimentais (Santos *et al.*, 2019).

Quando se trata de densidade, existem duas formas principais de mensuração. Segundo Sampaio e da Silva (2007, p. 38), a “densidade real ou relativa considera apenas o volume do conjunto de grãos que compõe a amostra, sem considerar o espaço vazio existente entre os grãos”, já a “densidade aparente considera o volume total da amostra, inclusive o espaço vazio entre os grãos que a compõem”. No contexto deste estudo, a densidade absoluta é a mais adequada para a análise dos compósitos, pois fornece uma medida mais precisa das propriedades do material.

Seguindo o método de Arantes (2023), foram realizados testes de densidade aparente, para verificar o potencial de utilização do material como isolante térmico e acústico, já que, como cita o autor, “materiais menos densos possuem melhor absorção acústica e térmica, devido à presença de poros” (Arantes, 2023, p. 125).

Os valores de densidade de cada compósito foram obtidos utilizando a fórmula padrão para esse cálculo:

$$D = m/v \quad (1)$$

Ou seja, de acordo com a própria definição do conceito, densidade é a razão entre massa e volume. As medições das dimensões dos corpos de prova foram realizadas com o auxílio de um paquímetro, a partir de três repetições para o diâmetro (o raio foi calculado através da divisão dos valores do diâmetro pela metade) e três para a altura. Também foram realizadas três pesagens, utilizando balança de precisão, para determinar a massa. Posteriormente, o volume de cada compósito foi calculado a partir das dimensões de altura e raio, pela fórmula:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (2)$$

Onde V faz menção ao volume, r , a raio e h a altura. Como as medições foram realizadas em triplicata, foi possível o cálculo de três valores distintos de densidade para cada amostra. A partir dessas medições, foram calculados a média da densidade e o desvio padrão, refletindo a variabilidade das medidas, resultante de limitações do método de medição e de imperfeições na geometria das próprias peças.

$$\bar{D} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} \quad (3)$$

$$\partial_d = \sqrt{\frac{(d_1 - \bar{d})^2 + (d_2 - \bar{d})^2 + (d_3 - \bar{d})^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Sendo a primeira equação (3), para representar a média aritmética (\bar{D}) de três valores (d_1, d_2, d_3) e a segunda, para o desvio padrão (∂_d) da amostra, que mede a dispersão dos valores em relação à média. Onde \bar{d} , é a média da densidade, d_1, d_2 e d_3 , são as densidades medidas para cada repetição e $n - 1$, é o número de elementos menos um. Outra análise realizada foi o teste de *Kruskal-Wallis* (Statistics Kingdom, 2025) para verificar se há diferenças significativas entre as densidades dos compósitos produzidos a partir de diferentes macrofungos e substratos. Para esse teste foi utilizado o nível de significância de 0.01, a fim de comparar as características entre os compósitos de acordo com suas devidas densidades. Além disso, a partir dos resultados foi elaborado um gráfico comparando os compósitos para discussão.

4.5.2 Absorção de água

A absorção de água é uma propriedade essencial na caracterização de compósitos fúngicos, pois impacta diretamente sua estabilidade, resistência mecânica e possíveis aplicações, como embalagens biodegradáveis e materiais de isolamento. Para avaliar essa característica nos compósitos desenvolvidos, foram realizados testes de absorção de água, seguindo a metodologia adaptada da norma ASTM D570-22 (2022).

Para esse procedimento, foi realizada a pesagem inicial dos compósitos antes da imersão. Em seguida, os protótipos foram submersos em água destilada mantida a uma temperatura próxima 23 ± 1 °C em BOD, sendo posicionados na horizontal para garantir total submersão. Após um período de 2 horas, as amostras foram retiradas da imersão, tendo a água superficial cuidadosamente removida com papel absorvente seco, e pesadas imediatamente em uma balança de precisão com leitura até 0,001 g.

Os compósitos foram então recolocados na água e mantidos submersos por um período adicional de 22 horas, completando 24 horas de imersão. Ao final desse tempo, os materiais foram novamente retirados, secos superficialmente com papel absorvente e pesados pela última vez. Esse procedimento permitiu avaliar a absorção de água em dois intervalos de tempo (2 horas e 24 horas), possibilitando a análise da taxa inicial de absorção e do comportamento do material após um período prolongado de imersão (adaptado de ASTM, 2022).

Com base nos dados obtidos de massa inicial e final, foi calculada a quantidade de água absorvida por cada material, utilizando a metodologia de Pedri (2014):

$$AA\% = \frac{(M_1 - M_0)}{M_0} \times 100 \quad (5)$$

Onde AA% se refere a porcentagem de água absorvida, M_1 , a massa do corpo de prova (em gramas) após os tempos de imersão e M_0 , a massa do material antes do ensaio (Pedri, 2014). Essa análise permitiu avaliar a capacidade de absorção de água dos compósitos testados, fornecendo informações importantes sobre suas propriedades físico-químicas.

4.6 Elaboração do material didático proposto

A cartilha informativa elaborada como material didático sobre a importância dos biocompósitos na substituição de materiais sintéticos, foi desenvolvida através da plataforma *Canva*, a fim de sistematizar o conhecimento científico sobre o assunto.

O público-alvo pré-determinado para esse material incluiu estudantes do Ensino Médio e Superior em áreas como Biologia, Engenharia e Ciências Ambientais,

pequenos empreendedores interessados em alternativas ecológicas e indivíduos preocupados com questões ambientais.

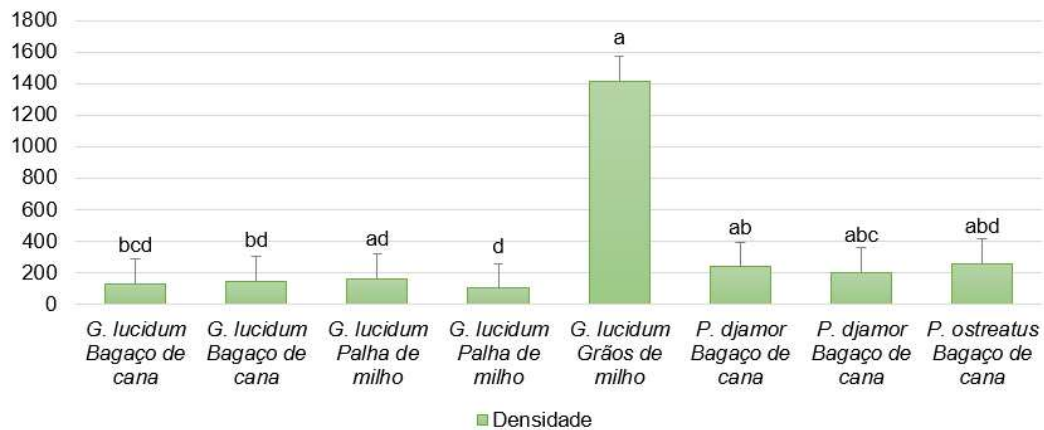
Para isso, foram levantados dados em artigos, livros e teses, sobre o impacto ambiental dos materiais sintéticos, informações sobre os processos de produção e aplicação dos biocompósitos, abordando a crescente preocupação com a poluição por plásticos e a necessidade da substituição de materiais sintéticos por biodegradáveis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise da densidade aparente

Para a análise das densidades, foi elaborado um gráfico para comparar as densidades de cada compósito e desvios equivalentes.

Figura 11 – Gráfico de densidades e desvios de cada compósito. As letras minúsculas representam o resultado do teste de *Kruskal-Wallis* seguido do pós-teste de Dunn, sendo que grupos com letras iguais não apresentam diferença significativa para $p < 0.01$



Fonte: Autoria própria (2025).

Verificou-se que os compósitos baseados em micélio, elaborados a partir do bagaço de cana-de-açúcar, produzidos com os fungos *Ganoderma lucidum* e *Pleurotus djamor*, apresentaram densidades que variaram na faixa aproximada de 102,92 kg/m³ a 237,49 kg/m³, exibindo uma estrutura leve e baixa resistência mecânica, possivelmente devido à degradação da lignina pelos fungos, resultando em um material frágil. Dessa forma, esses compósitos não seriam recomendáveis para funções estruturais ou de proteção mecânica.

Ao analisar as propriedades dos compósitos, Jones (1999) e Jiang *et al.* (2017), destacam que geralmente a matriz possui menor densidade, resistência mecânica e rigidez que as fibras ou partículas de reforço, que geralmente estão associadas com fibras sintéticas, como a fibra de vidro, por exemplo, garantindo aumento de rigidez e resistência mecânica, além de preservar a baixa densidade.

Nos compósitos de micélio, a matriz é a própria massa micelial e o reforço são as fibras de resíduos vegetais. Dessa forma, a fim de elaborar um material totalmente biodegradável, a não adição de fibras sintéticas interferiu nas propriedades físicas dos

compósitos fúngicos desenvolvidos. Por isso, esses materiais não são tão resistentes ou leves quanto alternativas sintéticas disponíveis atualmente. No entanto, são totalmente biodegradáveis, oriundos de recursos renováveis e, sendo assim, sustentáveis.

Ademais, com relação ao efeito da espécie de fungo na densidade do produto, percebeu-se que os compósitos de *G. lucidum* apresentaram densidades entre $129,27 \pm 4,12 \text{ kg/m}^3$ e $145,53 \pm 16,80 \text{ kg/m}^3$ em bagaço de cana, enquanto os de *P. djamor* atingiram valores mais altos, entre $237,49 \pm 14,06 \text{ kg/m}^3$ e $202,82 \pm 15,80 \text{ kg/m}^3$. Essas diferenças podem estar associadas tanto às características do micélio de cada espécie, quanto à relação dos micélios com a natureza do substrato utilizado.

O bagaço de cana, utilizado em dois dos compósitos de *G. lucidum* e em todos os compósitos de *P. djamor*, possui uma estrutura fibrosa, com alto teor de celulose e hemicelulose, promovendo um suporte mais rígido ao crescimento micelial. Isso pode estar relacionado às maiores densidades registradas nos compósitos de *P. djamor*, que colonizam mais intensamente esse substrato e conferem maior compactação ao material final (Haneef *et al.*, 2017; Islam *et al.*, 2017).

O único compósito de *P. ostreatus*, também cultivado em bagaço de cana, apresentou a maior densidade entre os materiais nesse substrato ($258,80 \pm 20,80 \text{ kg/m}^3$). Esse resultado sugere que *P. ostreatus* pode formar uma rede micelial ainda mais densa e resistente, promovendo um material final mais compacto e mecanicamente estável (Haneef *et al.*, 2017).

Apesar da baixa densidade e da relativa fragilidade mecânica, esses compósitos possuem potencial de aplicação em diferentes setores industriais. Um exemplo relevante é a técnica *sandwich*, descrita por Tillmann (2015), que consiste em um material compósito de três camadas, onde duas camadas externas rígidas envolvem um núcleo interno mais leve e espesso. Essa estrutura permite combinar rigidez e resistência mecânica com baixo peso, tornando-se ideal para aplicações industriais, incluindo a indústria aeroespacial, construção civil, setor automotivo, naval e de móveis e design (Tillmann, 2015).

Dentre os tipos de núcleos utilizados nessa técnica, Tillmann (2015) destaca que espumas de diversas densidades (entre 30 e 250 kg/m^3) são frequentemente aplicadas em embarcações de alto desempenho. Como os compósitos desenvolvidos apresentam densidades similares, eles poderiam ser explorados nessa aplicação, desde que sua resistência mecânica seja otimizada.

Outra possibilidade é a aplicação dos compósitos de alta densidade. Rodrigues (2019) discute o uso de compósitos como substitutos para chapas de madeira aglomerada, que possuem densidades entre 551 e 750 kg/m³. O compósito de *G. lucidum* cultivado em milho (1413,48 ± 61,57 kg/m³) possui densidade significativamente maior, mas poderia ser reformulado para criar um material mais coeso, incorporando fibras naturais, como o epicarpo do babaçu, citado por Rodrigues (2019).

Os testes realizados com grãos de milho em placas de Petri não foram eficazes para gerar compósitos leves e resistentes, pois os fungos não conseguiram formar uma rede coesa para manter a estrutura do material, resultando em um compósito de alta densidade e quebradiço (1413,48 ± 61,57 kg/m³). Esse comportamento pode estar relacionado ao tamanho e formato dos grãos, que criaram espaçamentos excessivos, dificultando a estabilidade do material final. Além disso, a alta densidade dos grãos de milho torna esses compósitos mais pesados em comparação a materiais como isopor e espumas, limitando suas aplicações em isolamento térmico ou estrutural.

Por outro lado, o milho pode ser aproveitado em indústrias de alimentos e nutrição animal. O processamento do milho pode torná-lo mais estável e digestível, alterando seu perfil nutricional e beneficiando a alimentação animal. O farelo de milho, subproduto do processamento do grão, contém fibras, glúten e amido, conferindo às rações um alto valor energético (Beserra, 2015).

Figura 12 – Compósitos de *G. lucidum* em milho



Fonte: A autoria própria (2024).

Ademais, processos de fermentação de grãos, como a produção de tempeh, podem ser aplicados a diferentes matérias-primas. Embora o tempeh seja tradicionalmente produzido a partir da soja, pesquisas indicam a viabilidade de utilizar outros grãos, como o feijão, para desenvolver produtos fermentados com alto valor nutricional (Vital *et al.*, 2017). Esses processos podem resultar em produtos com características semelhantes ao tempeh tradicional, oferecendo alternativas na alimentação humana e animal.

Para finalizar a discussão, foi possível perceber que a densidade dos compósitos variou de acordo com a espécie fúngica e o substrato utilizado, com médias de 390,71 kg/m³ para *G. lucidum*, 220,16 kg/m³ para *P. djamor* e 258,80 kg/m³ para *P. ostreatus*. No entanto, a dispersão dos dados foi mais alta para *G. lucidum*, devido à presença de um compósito de alta densidade (1413,48 kg/m³), que influenciou a média geral do grupo.

Em relação ao teste de *Kruskal-Wallis*, houve uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($\chi^2(7) = 22,01$, $p = 0,003$), evidenciando que a composição do substrato e a espécie de fungo influenciam diretamente a densidade final dos biocompósitos.

Conforme demonstrado no gráfico da figura 11, as comparações pós-hoc pelo teste de Dunn ($\alpha = 0,01$) revelaram diferenças significativas entre os seguintes pares

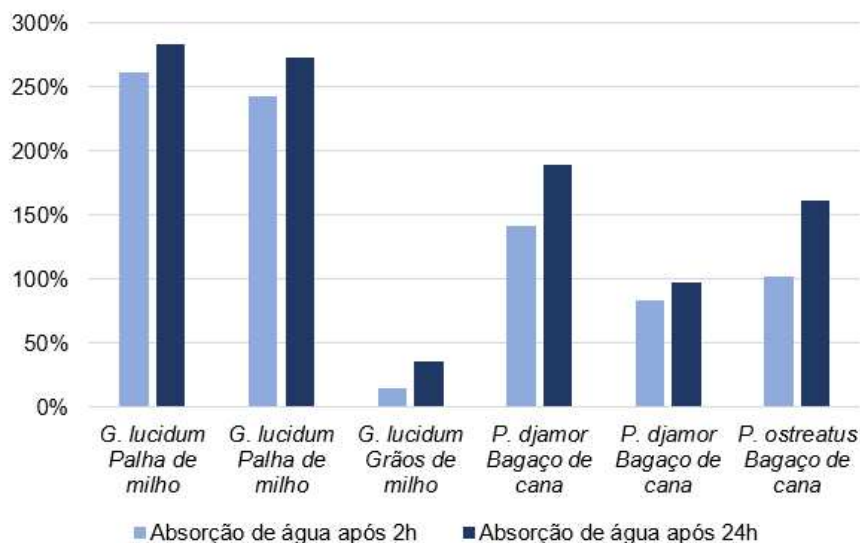
de compósitos: *G. lucidum* de bagaço de cana x *G. lucidum* de grãos de milho; *G. lucidum* de palha de milho x *G. lucidum* de grãos de milho; *G. lucidum* de palha de milho x *P. djamor* de bagaço de cana; e *G. lucidum* de palha de milho x *P. ostreatus* de bagaço de cana.

Isso indica que o biocompósito produzido com grãos de milho apresenta densidades significativamente diferentes em relação aos demais substratos testados, especialmente aqueles compostos por bagaço e palha de milho. Além disso, os compósitos de *P. djamor* e *P. ostreatus* cultivados no bagaço de cana também se diferenciam daqueles de *G. lucidum* em palha de milho, sugerindo que a interação entre substrato e espécie de fungo impacta a formação estrutural do material.

5.2 Análise de absorção de água

Para a análise da absorção de água, foi elaborado um gráfico para comparar a absorção de cada compósito e substrato equivalente.

Figura 13 – Gráfico de absorção de água de cada espécie fúngica e substrato equivalente



Fonte: Autoria própria (2025).

Verificou-se que os compósitos de *Ganoderma lucidum* cultivados em palha de milho apresentaram os maiores índices de absorção, atingindo 262% e 243% em 2h e chegando a 284% e 273% em 24h, respectivamente. A estrutura da palha de milho, que possui menor teor de lignina e maior porosidade quando comparada ao bagaço de cana, pode ter favorecido um crescimento micelial mais rápido e menos

denso (Rocha *et al.*, 2020), resultando em um material altamente poroso e, conseqüentemente, mais susceptível à absorção de água.

Por outro lado, o compósito de *G. lucidum* produzido com milho em grãos, apresentou a menor absorção da espécie, com 15% em 2h e 36% em 24h. Esse resultado é contraditório ao comportamento estrutural do material, que se mostrou extremamente frágil e pouco coeso. Uma hipótese para essa baixa absorção seria a formação de uma camada micelial mais densa na superfície (característica da própria espécie, como descrito por Urben, de Oliveira e Santos (2017)), resultado da incubação prolongada e da ausência de secagem em estufa logo após a pré-miceliação. Essa camada pode ter criado uma barreira parcial à entrada de água, reduzindo sua captação inicial, apesar da fragilidade estrutural do compósito.

Além disso, mesmo com os materiais secos em estufa e BOD, não foi realizada a conferência da massa constante, o que pode ter interferido na absorção de água, principalmente ao observar a diferença significativa no compósito de *G. lucidum* produzido com milho como substrato.

De qualquer forma, os resultados observados condizem com o comportamento dos substratos utilizados mesmo na ausência de miceliação: a palha e o bagaço são muito mais fáceis de hidratar do que os grãos de milho.

Os compósitos de *Pleurotus djamor*, todos produzidos com bagaço de cana, apresentaram um padrão mais equilibrado de absorção de água. Um dos compósitos de *P. djamor* absorveu 142% em 2h e 189% em 24h, enquanto o outro teve valores mais baixos, de 84% e 98%, respectivamente. Essas diferenças podem estar relacionadas à capacidade de colonização do fungo no substrato, já que *P. djamor* coloniza rapidamente fibras ricas em celulose e hemicelulose, formando uma rede micelial densa e estruturada, o que pode ter reduzido a absorção nos compósitos mais coesos (Sánchez, 2009).

O compósito de *P. ostreatus*, também cultivado em bagaço de cana, teve absorção intermediária, com 102% em 2h e 161% em 24h. Esse resultado reforça a capacidade do fungo de formar redes estruturadas, mas com um padrão de absorção ligeiramente maior que o de *P. djamor*, o que pode estar associado às diferenças na composição das hifas e na maneira como o micélio interage com o substrato durante o crescimento (Moda, 2003).

Os resultados experimentais de Rocha *et al.* (2020), utilizando uma metodologia muito semelhante para absorção de água em compósitos de *Pleurotus*

sajor-caju, indicam absorção significativamente menor, com 41% em 2h e 126% em 24h. No estudo da autora, observou-se que o biocompósito atingiu apenas 50% de aumento entre 2 e 24 horas, enquanto no estudo de Pedri (2014) esse aumento foi praticamente inexistente (apenas 4%), indicando uma rápida saturação do material. Isso sugere que o tipo de substrato influencia diretamente a taxa de absorção de água.

Além disso, o tipo de substrato utilizado pode ter influenciado a alta absorção observada nos compósitos. No estudo de Pedri (2014), *Lentinula edodes* foi cultivado em fibras da palmeira de pupunha, enquanto os compósitos de *G. lucidum* foram desenvolvidos sobre palha de milho. Em ambos os casos, a degradação da lignina pelos fungos pode ter sido um fator determinante, permitindo a penetração das hifas no lúmen das células vegetais, tornando o material mais poroso e aumentando a absorção de água (Ferraz, 2004).

5.3 Considerações finais

Para a avaliação dos substratos utilizados, foram realizadas bateladas a cada dois meses durante o período de quase um ano, considerando que cada espécie fúngica possui um tempo específico de desenvolvimento do micélio, na faixa de três a oito semanas, quando mantido em condições ideais de umidade (usualmente, acima de 80% de umidade relativa do ar) e temperatura (geralmente próximo de 25°C).

Embora a espécie fúngica de *G. lucidum* tolere temperaturas na faixa de 24°C a 30°C para o crescimento do micélio (Urban, de Oliveira; Santos, 2017), as oscilações e possíveis desvios da umidade ideal (60% no substrato para o micélio e 80-90% de umidade relativa do ar na frutificação) podem ter afetado negativamente seu crescimento.

Da mesma forma, no que diz respeito às condições climáticas, *Pleurotus djamor* apresenta um bom desenvolvimento em temperaturas entre 20°C e 35°C, com alta umidade relativa do ar (>80%). Já *Pleurotus ostreatus* se desenvolve de maneira ideal em temperaturas entre 15°C e 25°C, dependendo da cepa utilizada (Wu *et al.*, 2004; Belletini *et al.*, 2019). Portanto, para alcançar o sucesso na produção desses compósitos, é essencial considerar não apenas a composição do substrato, mas também as condições ambientais adequadas para o seu crescimento.

Sendo assim, problemas relacionados à instabilidade no fornecimento de energia do campus tiveram um impacto significativo no processo, uma vez que a BOD

permaneceu desligada em alguns períodos devido às quedas de energia. Como resultado, não foi possível manter as condições ideais para o desenvolvimento dos fungos, o que afetou negativamente a uniformidade e a eficiência do experimento, porém demonstrou a viabilidade das condições climáticas locais para a realização do processo, mesmo que na ausência de sistemas de controle.

Figura 14 – Compósitos de *G. lucidum* em palha de milho e milho (A e B, respectivamente); *P. djamor* e *P. ostretus* em bagaço de cana (C e D, respectivamente)



Fonte: Autoria própria (2025).

Além disso, o bagaço de cana disponível no campus, já seco e armazenado por muitos dias sem utilização, não se mostrou viável para o experimento, possivelmente devido ao crescimento de microrganismos que consumiram os nutrientes e excretaram toxinas no substrato (dos Santos *et al.*, 2011). Por esse motivo, optou-se por utilizar bagaço de cana fornecido por microempreendedores locais de caldo de cana, que foi seco em estufa de circulação de ar, a 50°C, logo após a extração do caldo, evitando assim o desenvolvimento de microrganismos.

Adicionalmente, o caldo foi utilizado como fonte completa de nutrientes para a elaboração de meio de cultivo utilizado como substrato para a produção de inóculo líquido de *G. lucidum*. Os resultados obtidos sugerem a possibilidade de se desenvolver um processo para a produção de biocompósitos a partir da cana de açúcar, aproximando o processo do conceito de biorrefinaria (resíduo zero), visto o

aproveitamento completo do caldo e do bagaço na linha produtiva (Areeya *et al.*, 2024).

Observou-se também, que a palha de milho, quando empregada como substrato para o cultivo de cogumelos do gênero *Pleurotus*, tem um impacto significativo no desenvolvimento e na qualidade do produto final. Embora a suplementação com palha de milho favoreça o crescimento micelial, ela não garante resistência e uniformidade ao compósito resultante (Magalhães; Moreira; Zied, 2018; Belletini *et al.*, 2019).

Dessa forma, ainda que não tenha sido possível manter condições experimentais ideais, visto as características individuais de cada espécie e os fatores atrelados aos substratos, foi possível obter resultados preliminares úteis como ponto de partida para futuras investigações e desenvolvimentos tecnológicos.

6 CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a escolha do substrato e da espécie fúngica influenciam diretamente a absorção de água nos compósitos. Enquanto *G. lucidum* apresentou alta absorção devido à estrutura porosa do micélio, *P. djamor* e *P. ostreatus* formaram redes mais compactas, refletindo em menores taxas de absorção.

A comparação com os estudos de Pedri (2014) e Rocha *et al.* (2020) reforça que o substrato tem papel determinante na porosidade do material final, afetando diretamente a quantidade de água absorvida e a saturação do compósito ao longo do tempo. Esses fatores são cruciais para determinar o uso ideal dos compósitos, seja em aplicações que exijam maior resistência à umidade ou maior capacidade de retenção de líquidos, permitindo ajustes conforme a necessidade do material.

A análise das densidades dos compósitos fúngicos demonstra que a escolha do substrato e da espécie fúngica influencia diretamente as propriedades finais do material. Enquanto os compósitos mais leves podem ser explorados em técnicas *sandwich* e aplicações não estruturais, os materiais de maior densidade apresentaram potencial para aplicações específicas na indústria de compósitos e nutrição animal. A otimização da formulação, aliada ao uso de fibras naturais e tratamentos estruturais, pode ampliar ainda mais o potencial de aplicação desses materiais biodegradáveis.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. C. *et al.* Sieving process selects sugarcane bagasse with lower recalcitrance to xylan solubilization. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 96, n. 2, 2021.
- ALVES, R. M. E. **Estudo de materiais avançados de micélio para utilização na indústria automível.** Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Mestrado em Engenharia Automível. Leiria, 2019.
- ARANTES, L. de S. *et al.* Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá. Porto Alegre: **Ambiente Construído**, v. 23, n. 2, 2023.
- AREEYA, S. *et al.* A Review of Sugarcane Biorefinery: From Waste to Value-Added Products. **Applied Science and Engineering Progress**, 2024.
- ASTM International. ASTM D570-22 – Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2022. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/113444/a2cb802bc7af458495e0b4ca93c66241/ASTM-D570-22.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.
- BELLETTINI, M. B. *et al.* Factors affecting mushroom *Pleurotus spp.* **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 4, 2019.
- BERTOTI, A. R.; LUPORINI, S.; ESPERIDIÃO, M. C. A. **Effects of acetylation in vapor phase and mercerization on the properties of sugarcane fibers.** Carbohydrate Polymers, v. 77, n. 1, 2009.
- BESERRA, Y. A. S. **Caracterização físico-química do farelo de milho (*Zea mays L.*) como subproduto visando seu aproveitamento na alimentação animal.** 2015. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.
- BOLT THREADS. **Mylo:** the world's first mycelium-based leather. Disponível em: <https://boltthreads.com/technology/mylo/>. Acesso em: 03 set. 2023.
- CARNEIRO, P. **Lançamento da Cartilha para Apresentação de Propostas ao Ministério da Saúde – 2022.** Disponível em: <https://portalfns.saude.gov.br/lançamento-da-cartilha-para-apresentacao-de-propostas-ao-ministerio-da-saude-2022/>. Acesso em: 09 nov. 2023.
- CAROLLO, E. L.; FILHO, H. P. S. **Manual Básico de Técnicas Fitopatológicas.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016.
- CHEVREUIL, L. R. *et al.* Screening of ligninolytic enzymes produced by *Ganoderma lucidum* in solid residues from the Amazon. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, 2022.

CIÊNCIA UFS. **Fungos comestíveis e resíduos da agroindústria podem virar embalagens biodegradáveis**. 2022. Disponível em:

<https://ciencia.ufs.br/conteudo/64124-fungos-comestiveis-e-residuos-da-agroindustria-podem- virar-embalagens-biodegradaveis>. Acesso em: 19 fev. 2025.

COCCO, I. R. *et al.* Reaproveitamento de Materiais não Degradáveis no Reparo de Coberturas: Vidro, Isopor e Embalagens Tetra Pak. *In: XVI Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão*. Rio Grande do Sul, 2011.

COHEN, R. L.; PERSKY, L.; HADAR, Y. Biotechnological applications and potencial of wooddegrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. **Applied Microbiology Biotechnology**, v. 58, n. 5, 2002.

CORDI, L. **Estudo da Biodegradação dos filmes de Poli (e-caprolactona), da Blenda Poli (e-caprolactona)/Amido e do Compósito Poli-ecaprolactona)/Amido/Pó de Fibra de Coco por Fungos e Bactérias**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Química Área de Concentração Ciência e Tecnologia de Materiais, São Paulo, 2008.

Da SILVA, M. de L. C. *et al.* Caracterização Química de Glucanas Fúngicas e Suas Aplicações Biotecnológicas. **Quim. Nova**, v. 29, n. 1, 2006.

De BRITO, A. K. P. *et al.* Avaliação de substratos de floresta tropical para cultivo e produção de proteases por *Pleurotus djamor*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, 2021.

DIAS, E. S. *et al.* Cultivo do Cogumelo *Pleurotus sajor-caju* em Diferentes Resíduos Agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 6, 2010.

Dos SANTOS, M. L. *et al.* Estudo das Condições de Estocagem do Bagaço de Cana-de-açúcar por Análise Térmica. **Quim. Nova**, v. 34, n. 3, 2011.

ECOVATIVE. Our story. Disponível em: <https://www.ecovative.com/pages/our-story>. Acesso em: 03 set. 2023.

FEITOSA, L. R. G. de F. *et al.* **Laboratório de Microbiologia**: Normas Gerais de Segurança e Instruções de Trabalho. Universidade Federal da Paraíba. Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional – CTDR. Laboratório de Microbiologia de João Pessoa, 2015.

FERRAZ, A. Fungos decompositores de materiais lignocelulósicos. *In: ESPOSITO, E.; AZEVEDO, J. L. Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia*. Caxias do Sul. EDUCS, cap. 6, 2004.

FUNGICULTURA. **Fungicultura** – Tudo sobre cultivo de cogumelos comestíveis. Disponível em: <https://www.fungicultura.com.br/>. Acesso em: 27 ago. 2024.

GAUR, V. K. *et al.* Production of biosurfactants from agro-industrial waste and waste cooking oil in a circular bioeconomy: An overview. **Bioresource Technology**, v. 343, 2022.

GRIMM, D.; WÖSTEN, H. A. B. Mushroom cultivation in the circular economy. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 102, 2018.

GUTIÉRREZ H. **Evaluación de residuo de papel y sus mezclas con paja de trigo para el cultivo de *Pleurotus djamor var. roseus***. Tesis de licenciatura, UAEM, 2012.

HANEEF, M. *et al.* Advanced Materials From Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. **Scientific Reports**, v. 7, n. 41292, 2017.

HERNÁNDEZ, C. *et al.* Laccase induction by synthetic dyes in *Pycnoporus sanguineus* and their possible use for sugar cane bagasse delignification. **Applied Microbiology Biotechnology**, v. 101, n. 3, 2017.

ISLAM, M. R. *et al.* Morphology and mechanics of fungal mycelium. **Scientific Reports**, v. 7, n. 13070, 2017.

JIANG, L. *et al.* Manufacturing of biocomposite sandwich structures using mycelium-bound cores and preforms. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 28, part. 1, 2017.

JONES, R. M. **Chapter 1: Introduction to composite materials**. Mechanics of composite materials. 2^a. ed. Taylor e Francis, 1999.

JUNIOR, I. G. **Micélio como alternativa sustentável para materiais de construção: uma revisão da literature**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de São Paulo, 2022.

JUVENAL, L. A. da C.; PINSKY, V. C. A Contribuição da Indústria Química na Redução dos Impactos Causados pelo Isopor. *In: XXI Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente* – ENGEMA. São Paulo, 2019.

KAPAH, M. Recent Advances in Cultivation of Edible Mushrooms. *In: SINGH B. P.; LALLAWMSANGA, C.; PASSARI, A. K. Biology of Macrofungi*, Fungal Biology. 1. ed. Springer, 2018.

KOPP, V. V. **Sustentabilidade de Materiais Renováveis: Couro e Material de Micélio**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Porto Alegre, 2024.

LEMOS, B. F. **Degradação abiótica e biótica de blendas de PCL/PLA reforçadas com fibras vegetais**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

LIMA, A. M. *et al.* Utilização de Fibras (Epicarpo) de Babaçu como Matéria-prima: Alternativa na Produção de Chapas de Madeira Aglomerada. Minas Gerais: **Sociedade de Investigações Florestais**, v.30, n.4, 2006.

LING, Z. *et al.* Conformational analysis of xylobiose by DFT quantum mechanics. **Cellulose**, v. 27, n. 3, 2020.

MAGALHÃES, A. C.; MOREIRA, B. R. D. A., ZIED, D. C. Axenic cultivation of *Pleurotus ostreatus* var. Florida in supplemented sugarcane bagasse briquettes. **Engenharia Agrícola**, v. 38, 2018.

MANO, J. F.; KONIAROVA, D.; REIS, R.L. Thermal properties of thermoplastic starch/synthetic polymer blend with potential biomedical applicability. **Journal of materials science: Materials in medicine**. n° 14, p.127-135, 2003.

MARANDOLA JR., E. Tangenciando a vulnerabilidade. *In*: HOGAN, D.; MARANDOLA JR., E. (Orgs.). **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais**. Brasília: UNFPA, 2009.

MASRI, H. J. *et al.* The Edible Mushroom *Pleurotus spp.*: II. Medicinal Values. **International Journal of Biotechnology for Wellness Industries**. vol. 6, n. 1, 2017.

MDH. **Ministério lança cartilha direcionada aos jovens sobre prevenção ao coronavírus**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2020-2/marco/ministerio-lanca-cartilha-direcionada-aos-jovens-sobre-prevencao-ao-coronavirus>>. Acesso em: 09 nov. 2023.

MODA, E. M. **Produção de *Pleurotus sajor-caju* em Bagaço de Cana-de-açúcar Lavado e o uso de Aditivos Visando sua Conservação “In Natura”**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2003.

MOGU. **Mogu: the first bio-based materials company**. Disponível em: <https://mogu.bio/>. Acesso em: 03 set. 2023.

MORALES, D. *et al.* Isolation and comparison of α - and β -D-glucans from shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) with different biological activities. **Science Direct. Carbohydrate Polymers**, v. 229, 2020.

MYCOWORKS. **Home**. Disponível em: <https://www.mycoworks.com/>. Acesso em: 03 set. 2023.

NEVES, J. Fiocruz lança cartilhas para orientar profissionais da saúde. **Fiocruz**, 2020. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/fiocruz-lanca-cartilhas-para-orientar-profissionais-de-saude>. Acesso em: 09 nov. 2023.

NOGUEIRA, M. D. *et al.* Desenvolvimento de um tijolo ecológico de encaixe utilizando resíduos de vidro e isopor triturados. Curitiba: **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.8, 2021.

PEDRA, W. N.; MARINO, R. H. Cultivo axênico de *Pleurotus spp.* em serragem da casca de coco (*Cocos nucifera* linn.) suplementada com farelo de arroz e/ou de trigo. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 73, n. 2, 2006.

PEDRI, Z. C. **Uso de biomassa lignocelulósica e Lentinula edodes (Berk.) Pegler para desenvolvimento de um biocompósito**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Tecnológicas, Blumenau, SC, 2014.

PENG, L. *et al.* **Development and characterization of mycelium bio-composites by utilization of different agricultural residual byproducts**. Journal of Bioresources and Bioproducts, v. 7, n. 1, 2022.

PISKA, K.; SUŁKOWSKA-ZIAJA, K.; MUSZYŃSKA, B. Edible mushroom *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) – its dietary significance and biological activity. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 16 n. 1, 2017.

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). **Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-20. Acesso em: 8 nov. 2023.

PRASHANTH, S. *et al.* Fiber Reinforced Composites - A Review. **Journal of Material Sciences & Engineerin**, v. 6, n. 3, 2017.

RABUSKE, E. R. *et al.* Substratos alternativos para o cultivo do cogumelo comestível ostra salmão: *Pleurotus djamor*. Santa Cruz do Sul: **Caderno de Pesquisa**, v. 31, n. 2, 2019.

RAMIREZ-CHAN, D. E. *et al.* Effect of accelerated weathering and *Phanerochaete chrysosporium* on the mechanical properties of a plastic composite prepared with discarded coir and recycled HDPE. **Bioresoruces**, v. 9, n. 3, 2014.

RAMÍREZ, M. L.G. **Desenvolvimento de biocompósitos de amido termoplástico reforçados por fibra de coco verde**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, UFPR. p. 168. 2011.

RAMPINELLI, J. R. **Produção de *Pleurotus djamor* e Avaliação do seu Potencial Nutricional**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. Florianópolis, SC, 2009.

RAMPINELLI, J. R. Valor Nutricional de *Pleurotus djamor* Cultivado em Palha de Bananeira. Araraquara: **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 2, 2010.

REAL, L. E. P. Biocompósitos: Uma alternativa sustentável para a construção. Lisboa: **Laboratório Nacional de Engenharia Civil**, 2017.

REGAZZI, J.; LAMBOLEY, P.; DEMONT, P. Influence of hydrothermal ageing on PLA/flax biocomposite properties. **arXiv preprint**, 2018.

RIBEIRO, L. A.; QUELUCI, G. de C. Passo a passo para elaboração de cartilhas. **eduCapes**, 2022. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/704485>. Acesso em: 09 nov. 2023.

ROCHA, M. I. *et al.* Desenvolvimento de biocompósitos fúngicos utilizando resíduos industriais. **Revista Matéria**, v. 5, n. 4, 2020.

ROCHA, M. I. **Produção de biocompósitos de Pleurotus sajor-caju utilizando resíduos de erva-mate e guaraná.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Processos - Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), Joinville, SC, 2018.

RODRIGUES, P. R. B. **Desempenho Físico-mecânico de Compósito Fabricado com Fibra do Epicarpo do Coco Babaçu (*Orbignya phalerata*) e Resíduos Poliméricos.** Universidade Federal do Tocantins Campus Universitário de Palmas. Programa de Pós-graduação em Agroenergia. Palmas, 2019.

SALVATORI, R. U. *et al.* Laboratório de Microbiologia: Normas Gerais, Instruções de Trabalho e Procedimentos Operacionais Padrões. Lajeado: **Ed. da Univates**, 2013.

SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology advances**, v. 27, n. 2, 2009.

SANCHEZ, E. M. S. *et al.* **Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar:** influência do tratamento das fibras nas propriedades. *Polímeros*, 20(3), 194-200. Epub October 01, 2010.

SANTOS, I. S. *et al.* Caracterização e Análise Mecânica de Biocompósito de Matriz Fúngica Reforçado com Substrato Vegetal. *In: 74º Congresso Anual da ABM.* São Paulo, 2019.

STATISTICS KINGDOM. **Kruskal-Wallis Test Calculator.** Disponível em: <https://www.statskingdom.com/kruskal-wallis-calculator.html>. Acesso em: 01 fev. 2025.

SYDOR, M. *et al.* **Fungi in Mycelium-Based Composites:** Usage and Recommendations. *Materials*, v. 15, n. 18, p. 6283, set. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/18/6283>. Acesso em: 03 set. 2023.

TAVARES, L. B. B. *et al.* Produção de biocompósito com macrofungo e resíduo de palmeira. *In: Congresso Brasileiro De Engenharia Química*, 20., 2013, Florianópolis. Florianópolis: ABEQ, 2013. p. 171-176.

TILLMANN, V. B. **Análise Estrutural de Elementos Compósitos com a Utilização do Método de Elementos Finitos.** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Engenharias da Mobilidade - Curso de Engenharia Naval. Joinville, 2015.

URBEN, A. F. *et al.* **Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 2004.

URBEN, A. F.; de OLIVEIRA, H. C. B. Formulações e preparo de meios de cultura para a produção de “sementes”. *In: URBEN, A. F (ed.). Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde.* 3 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

URBEN, A. F.; de OLIVEIRA, H. C. B.; SANTOS, J. K. P. Cultivo de *Ganoderma lucidum* pela técnica JunCao. In: URBEN, A. F (ed.). **Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde.** 3 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VIEIRA, F. R. **Potencial de uso de gramíneas como substrato pasteurizado no cultivo do cogumelo *Pleurotus ostreatus*.** Botucatu – São Paulo, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus de Botucatu, 2012.

VITAL, R. de J. *et al.* Produção e caracterização nutricional de tempeh a partir de feijão branco (*Phaseolus vulgaris* L.). In: **Anais do 8º Congresso Latino-Americano de Nutrição Vegetariana.** Sociedade Vegetariana Brasileira, 2017.

WU, J. Z. *et al.* Studies on submerged fermentation of *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Singer. Part 2: effect of carbon-to-nitrogen ratio of the culture medium on the content and composition of the mycelial dietary fibre. *Food chemistry*, v. 85, n.1, 2004.

YAMAUCHI, M. *et al.*, Cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on fermented moso bamboo sawdust. **Journal of King Saud University**, v. 31, n. 4, 2019.


YANG, L. *et al.* **Material Function of Mycelium-Based Bio-Composite: A Review.** *Frontiers in Materials*, v. 8, p. 1-19, 2021.

YATIM, J. M., *et al.* Biocomposites for the construction materials and structures. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 2003. Disponível em https://www.academia.edu/1266940/biocomposites_for_the_construction_materials_and_structures. Acesso em: 18 jan. 2025.

ZIEGLER, A. R. *et al.* Evaluation of Physico-Mechanical Properties of Mycelium Reinforced Green Biocomposites Made from Cellulosic Fibers. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2016.

APÊNDICE A – Cartilha como material didático

Figura 14 – Capa e apresentação do material didático




BIOCOMPÓSITOS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL AOS MATERIAIS SINTÉTICOS

1. APRESENTAÇÃO

Este material tem como objetivo informar e sensibilizar sobre os impactos ambientais dos materiais sintéticos, como o isopor, e as vantagens dos biocompósitos como alternativas mais ecológicas. Dessa forma, busca-se alcançar os seguintes objetivos:

- Explicar os problemas ambientais causados pelo uso de materiais sintéticos e seus impactos na natureza;
- Apresentar as vantagens dos biocompósitos, enfatizando aspectos, como sua biodegradabilidade e sustentabilidade;
- Demonstrar exemplos práticos de uso e produção de biocompósitos, ilustrando sua aplicação em diferentes áreas e discutindo as perspectivas futuras.

Seu conteúdo foi desenvolvido para um público-alvo diversificado, composto por estudantes do Ensino Médio e Superior em áreas como Biologia, Engenharia e Ciências Ambientais, pequenos empreendedores que buscam alternativas ecológicas, e cidadãos preocupados com o meio ambiente. A pesquisa foi baseada em artigos científicos, livros e teses, abordando o impacto dos sintéticos, os biocompósitos e a necessidade urgente de alternativas biodegradáveis.




Ao final, espera-se que todos compreendam a importância dessa transição para materiais mais sustentáveis e como podem contribuir para um futuro ambientalmente responsável.

Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 15 – Introdução do material didático


2. INTRODUÇÃO

O aumento da poluição causada por resíduos plásticos é um dos maiores desafios ambientais da atualidade. Materiais como isopor (poliestireno expandido - EPS), espumas sintéticas e aglomerados de madeira com resinas sintéticas são amplamente utilizados na indústria e no dia a dia, mas apresentam um grande problema: demoram séculos para se decompor no meio ambiente¹. Muitos desses materiais não são reciclados, acumulando-se em aterros sanitários, rios e oceanos, causando sérios impactos ambientais e ameaçando a vida selvagem².



A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10) foi criada para minimizar esse problema, incentivando práticas sustentáveis, como o reaproveitamento de materiais e a redução do descarte inadequado³. No entanto, a reciclagem de plásticos ainda enfrenta desafios, pois nem todos os materiais são reaproveitados de maneira eficiente.

Diante do crescente impacto ambiental causado pelos plásticos, a busca por alternativas sustentáveis se torna cada vez mais urgente. Os biocompósitos de micélio oferecem uma solução inovadora e ecológica. O micélio, que é a parte do fungo responsável pelo seu crescimento, pode ser cultivado em resíduos agroindustriais, como bagaço de cana e palha de milho, formando um material leve, resistente e que se decompõe naturalmente⁴.




2. INTRODUÇÃO

Pesquisas mostram que o micélio pode ser combinado com esses resíduos para criar materiais com boas propriedades mecânicas, capazes de substituir espumas sintéticas e aglomerados⁵.

Essa tecnologia traz várias vantagens:

- **Sustentabilidade:** Os biocompósitos se decompõem naturalmente, evitando a poluição gerada por plásticos que demoram séculos para se decompor⁶;
- **Aproveitamento de resíduos:** Materiais que antes seriam descartados, como bagaços e cascas, tornam-se matéria-prima para a criação de novos produtos;
- **Versatilidade:** Podem ser usados em uma variedade de aplicações, como embalagens, construção civil e até no design de móveis e outros produtos inovadores⁷.

Substituir materiais sintéticos por biocompósitos de micélio não só ajuda a reduzir a poluição ambiental, mas também promove práticas mais sustentáveis na indústria. Essa solução está alinhada aos princípios da economia circular, estimulando um ciclo produtivo mais eficiente e ambientalmente responsável⁸.



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 16 – Fundamentação do material didático

3. O QUE SÃO BIOCOMPÓSITOS?

Biocompósitos são materiais feitos a partir de substâncias naturais e biológicas, oferecendo uma alternativa sustentável aos materiais sintéticos. Um exemplo são os compósitos de micélio, uma estrutura filamentososa produzida por fungos como mofo e cogumelos. Quando o micélio cresce em substratos orgânicos, ele se liga às partículas do material, formando um bloco coeso. Essa ideia surgiu nos anos 1990, inicialmente no design e nas artes plásticas⁹.

Phillip Ross, pioneiro nesse campo, fundou a empresa *Mycoworks* em 2013 para comercializar esses compósitos. O micélio cresce em resíduos orgânicos e forma um aglomerado denso devido à quitina nas suas células¹⁰. Os fungos liberam enzimas que ajudam na degradação do substrato, estimulando o crescimento do micélio e melhorando suas propriedades físicas, que podem ser superiores ao isopor¹¹.

Após a Ecovative introduzir esse material no mercado em 2007¹², pesquisadores começaram a melhorar os processos de produção e explorar novas aplicações. Hoje, os compósitos de micélio são usados em produtos como painéis acústicos¹³ e substitutos de couro¹⁴, e as possibilidades de uso continuam a crescer. Além de diversas outras aplicações já existentes.




4. COMPARAÇÃO COM MATERIAIS SINTÉTICOS

Comparados a polímeros convencionais, os biocompósitos de micélio apresentam densidade reduzida e boa resistência à compressão, tornando-os viáveis para embalagens e isolamento térmico¹⁸. Entretanto, sua resistência mecânica ainda é inferior à de plásticos como o polietileno e o poliestireno expandido, o que limita sua aplicação em estruturas de alta exigência mecânica¹⁰.

Embora ainda não substituam completamente plásticos e espumas sintéticas em todas as aplicações, esses biocompósitos têm sido utilizados em embalagens biodegradáveis, isolamento acústico e até componentes estruturais de baixo impacto ambiental¹⁶. Pesquisas continuam explorando formas de melhorar suas propriedades mecânicas e resistência à umidade para ampliar seu uso industrial.

Diferentemente dos polímeros sintéticos, que podem levar séculos para se degradar, os biocompósitos de micélio se decompõem completamente em poucas semanas ou meses, dependendo das condições ambientais⁶. Além disso, sua produção emite menos carbono e não utiliza derivados de petróleo, reduzindo significativamente a pegada ecológica¹⁹.




Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 17 – Fundamentação do material didático




5. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Os biocompósitos vêm sendo empregados na fabricação de painéis internos, revestimentos de portas e componentes estruturais em veículos e aeronaves. Sua leveza e resistência fazem deles uma opção viável para substituir plásticos reforçados e espumas sintéticas, contribuindo para a redução do peso estrutural e do impacto ambiental da indústria⁷.

Na construção civil, os biocompósitos de micélio são utilizados como isolantes térmicos e acústicos, além de painéis decorativos e revestimentos sustentáveis. Seu uso reduz a dependência de materiais como aglomerados de madeira e placas de gesso, que frequentemente contêm resinas sintéticas e colas de origem petroquímica¹⁵.

O setor de embalagens tem adotado biocompósitos de micélio como substitutos do poliestireno expandido (EPS), conhecido como isopor, que é amplamente utilizado na proteção de eletrônicos, itens frágeis e embalagens para a indústria alimentícia¹⁶.

Os biocompósitos também têm sido aplicados como substitutos da madeira maciça e de produtos derivados, sendo utilizados na fabricação de móveis para áreas externas, réguas de pavimento, portas, janelas e revestimentos de parede⁸.

6. PRODUÇÃO DE BIOCOMPÓSITOS

A produção de biocompósitos é um campo amplo e inovador, com diversas metodologias que variam de acordo com os materiais utilizados e as propriedades desejadas. Esses materiais combinam uma matriz polimérica (natural ou sintética) com reforços de origem biológica, como fibras vegetais e micélio de fungos, para criar alternativas sustentáveis aos polímeros convencionais.

Existem diferentes metodologias para o desenvolvimento de biocompósitos, dependendo de sua aplicação, da característica da espécie fúngica e do interesse em relação ao substrato. Esses materiais sustentáveis podem ser produzidos por meio de diversas abordagens, cada uma com suas vantagens e desafios.

Entre os principais métodos, destacam-se:

- **Extrusão e Moldagem por Compressão:** Utilizados para combinar matrizes poliméricas com reforços naturais, garantindo alta resistência mecânica.
- **Cultivo de Micélio:** Técnica inovadora que permite o crescimento de fungos sobre substratos orgânicos, formando biocompósitos estruturais.
- **Processamento com Polímeros Biodegradáveis:** Integração de polímeros como PLA e PHA com fibras naturais para melhorar as propriedades do material.
- **Métodos de Caracterização e Avaliação das Propriedades dos Biocompósitos:** Incluem ensaios mecânicos (tração, compressão, flexão), análises térmicas (DSC e TGA) e testes de biodegradabilidade para garantir a viabilidade dos materiais.

Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 18 – Leituras recomendadas do material didático

7. LEITURAS RECOMENDADAS

Algumas indicações de leitura que aprofundam os métodos de produção de biocompósitos e suas aplicações:



URBEN, A. F. *et al.* **Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2004.



ROCHA, M. I. *et al.* Desenvolvimento de biocompósitos fúngicos utilizando resíduos industriais. **Revista Matéria**, v. 5, n. 4, 2020.



PRASHANTH, S. *et al.* Fiber Reinforced Composites – A Review. **Journal of Material Sciences & Engineerin**, v. 6, n. 3, 2017.



LIMA, A. M. *et al.* Utilização de Fibras (Epicarpo) de Babaçu como Matéria-prima: Alternativa na Produção de Chapas de Madeira Aglomerada. Minas Gerais: **Sociedade de Investigações Florestais**, v.30, n.4, 2006.

7. LEITURAS RECOMENDADAS



KOPP, V. V. **Sustentabilidade de Materiais Renováveis: Couro e Material de Micélio**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Porto Alegre, 2024.



CHANG, S.T., MILES, P.G. **Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect and environmental impact**. 2 ed., New York, CRC Press, 2004.



ARANTES, L. de S. *et al.* Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá. Porto Alegre: **Ambiente Construído**, v. 25, n. 2, 2023.



ASTM D1895-17 - **Standard Test Methods for Apparent Density, Bulk Factor, and Pourability of Plastic Materials**. ASTM International, 2017.

Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 19 – Referências do material didático

8. REFERÊNCIAS

¹NOGUEIRA, M. D. *et al.* Desenvolvimento de um tijolo ecológico de encaixe utilizando resíduos de vidro e isopor triturados. Curitiba: **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.8, 2021.

²COCCO, I. R. *et al.* Reaproveitamento de Materiais não Degradáveis no Reparo de Coberturas: Vidro, Isopor e Embalagens Tetra Pak. *In: XVI Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão*. Rio Grande do Sul, 2011.

³Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). **Lei Federal n° 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2 de agosto de 2010. Disponível em: [https://www.mycoworks.com/](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-20. Acesso em: 8 nov. 2023.</p>
<p>⁴YANG, L. <i>et al.</i> Material Function of Mycelium-Based Bio-Composite: A Review. Frontiers in Materials, v. 8, 2021.</p>
<p>⁵JUNIOR, I. G. Micélio como alternativa sustentável para materiais de construção: uma revisão da literature. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de São Paulo, 2022.</p>
<p>⁶KOPP, V. V. Sustentabilidade de Materiais Renováveis: Couro e Material de Micélio. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Porto Alegre, 2024.</p>
<p>⁷PRASHANTH, S. <i>et al.</i> Fiber Reinforced Composites – A Review. Journal of Material Sciences & Engineerin, v. 6, n. 3, 2017.</p>
<p>⁸REAL, L. E. P. Biocompósitos: Uma alternativa sustentável para a construção. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2017.</p>
<p>⁹MYCOWORKS. Home. Disponível em: <a href=). Acesso em: 03 set. 2025.

¹⁰ISLAM, M. R. *et al.* Morphology and mechanics of fungal mycelium. **Scientific Reports**, v. 7, n. 13070, 2017.

¹¹RAMIREZ-CHAN, D. E. *et al.* Effect of accelerated weathering and Phanerochaete chrysosporium on the mechanical properties of a plastic composite prepared with discarded coir and recycled HDPE. **Bioresources**, v. 9, n. 3, 2014.

8. REFERÊNCIAS

¹²ECOVATIVE. **Our story**. Disponível em: <https://www.ecovative.com/pages/our-story>. Acesso em: 03 set. 2025.

¹³MOGU. **Mogu**: the first bio-based materials company. Disponível em: <https://mogu.bio/>. Acesso em: 03 set. 2025.

¹⁴BOLT THREADS. **Mylo**: the world's first mycelium-based leather. Disponível em: <https://bolthreads.com/technology/mylo/>. Acesso em: 03 set. 2025.

¹⁵YATIM, J. M., *et al.* **Biocomposites for the construction materials and structures**. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 2005. Disponível em: https://www.academia.edu/1266940/biocomposites_for_the_construction_materials_and_structures. Acesso em: 18 jan. 2025.

¹⁶ZIEGLER, A. R. *et al.* Evaluation of Physico-Mechanical Properties of Mycelium Reinforced Green Biocomposites Made from Cellulosic Fibers. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2016.

¹⁸HOLT, G. A. *et al.* Fungal mycelium and agricultural waste as a novel building material. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, v. 15, n. 3, 2021.

¹⁹Oliveira, B. F. *et al.* Influência da colonização fúngica no comportamento mecânico em compressão de micocompósitos. **Exatas & Engenharias**, v. 12, n. 35, 2022.

ARCHDAILY. **Materiais do futuro**: a arquitetura dos biocompósitos. 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/987601/materiais-do-futuro-a-arquitetura-dos-biocompositos>. Acesso em: 26 fev. 2025.

Fonte: Autoria própria (2025)