

INFLUÊNCIA DA COLONIZAÇÃO FÚNGICA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO EM COMPRESSÃO DE MICOCOMPÓSITOS

Bárbara Ferreira de Oliveira^{1*}, *Nahura Pessanha Silva*², *Michel Picanço Oliveira*³, *Vicente Mussi-Dias*⁴ e *Maria das Graças Machado Freire*⁵

RESUMO

OLIVEIRA, B.F. et al. Influência da colonização fúngica no comportamento mecânico em compressão de micocompósitos. **Perspectivas Online: Exatas & Engenharia**, v.12, n. 35, p. 1-11, 2022.

Os compósitos à base de micélio constituem uma nova classe de materiais ambientalmente sustentáveis, obtidos a partir de resíduos lignocelulósicos processados por fungos de degradação branca. Estes compósitos são obtidos por intermédio de fabricação natural de baixa energia, que sequestra carbono, o que representa uma das principais vantagens desse material. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento mecânico em compressão de micocompósitos obtidos por meio da inoculação de diferentes fungos causadores da podridão branca. Como substrato para colonização dos fungos, utilizou-se uma mistura composta por serragem de madeira branca, casca e borra de café e trigoilho. Os resultados dos

ensaios de compressão mostraram que a escolha do fungo para a produção de micocompósitos afeta a resistência à compressão. A partir desse resultado, foi realizado o exame da interação micélio-substrato nos corpos de prova miceliados por *Pycnoporus* sp, utilizando-se a técnica de microscopia confocal. Foi observado o desenvolvimento de hifas no interior do material, sendo que na superfície do micocompósito este crescimento foi mais abundante. Esta pesquisa ecossustentável abre perspectivas para a destinação inteligente de resíduos agroindústrias, contribuindo assim para a diminuição do impacto ambiental em decorrência do acúmulo deles na natureza.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Ecoprodutos. Biocompósito

¹Professora pesquisadora - Laboratório de Análise e Projetos de Sistemas Mecânicos (LAPSIM)/ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil;

²Aluna de Iniciação Científica do PROVIC/ISECENSA – Curso de Engenharia Civil ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil;

³Pesquisador - Laboratório de Mecânica e de Materiais, UFES, Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil;

⁴Pesquisador - Clínica Fitossanitária do Laboratório de Entomologia e Fitopatologia, UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil;

⁵Pesquisadora - Laboratório de Química e Biomoléculas (LAQUIBIO)/Centro de Pesquisa e Pós-graduação (CPPG)/ Institutos Superiores de Ensino do CENSA – ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

(*) e-mail: barbara.fo@gmail.com

Data de recebimento: 10/03/2022. Aceito para publicação: 04/04/2022. Data de publicação: 08/04/2022.

INFLUENCE OF THE FUNGUS IN COMPRESSION MECHANICAL BEHAVIOR OF MYCOCOMPOSITES

Bárbara Ferreira de Oliveira^{1*}, *Nahura Pessanha Silva*², *Michel Picanço Oliveira*³, *Vicente Mussi-Dias*⁴ e *Maria das Graças Machado Freire*⁵

ABSTRACT

OLIVEIRA, B.F. et al. Influence of the fungus in compression mechanical behavior of mycocomposites. **Perspectivas Online: Exatas & Engenharia**, v.12, n. 35, p. 1-11, 2022.

Mycelium-based composites are a new class of environmentally sustainable materials, obtained from lignocellulosic residues processed by white-degrading fungi. These composites are obtained from low-energy natural fabrication, which sequesters carbon representing one of the main advantages of this material. The aim of this study was to evaluate the mechanical behavior in compression of mycocomposites from the inoculation of different white rot fungi. Four different type of agricultural residues (white wood sawdust, coffee waste, coffee grounds and wheat bran) were used for the substrate fabrication.

The results of the compression tests showed that the choice of the fungus for the production of mycocomposites affects the compressive strength. In consequence, the confocal microscopy examination of mycelium-substrate interaction in biomaterial myceliated by *Pycnoporus* sp was carried out. It was observed that hyphae grown on substrate surface because of its direct contact with air, which provides oxygen and nitrogen for mycelial growth. This eco-sustainable research opens perspectives for the smart destination of agro-industrial waste, thus contributing to the reduction of the environmental impact due to their accumulation in nature.

Keywords: Sustainability. Eco-products. Biocomposite.

¹Professora pesquisadora - Laboratório de Análise e Projetos de Sistemas Mecânicos (LAPSIM)/ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil;

²Aluna de Iniciação Científica do PROVIC/ISECENSA – Curso de Engenharia Civil ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil;

³Pesquisador - Laboratório de Mecânica e de Materiais, UFES, Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil;

⁴Pesquisador - Clínica Fitossanitária do Laboratório de Entomologia e Fitopatologia, UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, Parque California, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil;

⁵Pesquisadora - Laboratório de Química e Biomoléculas (LAQUIBIO)/Centro de Pesquisa e Pós-graduação (CPPG)/ Institutos Superiores de Ensino do CENSA – ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

(*) e-mail: barbara.fo@gmail.com

Received: 10/03/2022. . Accepted: 04/04/2022. Published online: 08/04/2022

1. INTRODUÇÃO

A produção de micocompósitos tem sido objeto de estudos recentes (ELSACKER et al., 2019; APPELS et al., 2019; GIROMETTA et al., 2019), pois, além de apresentar competitividade com os sintéticos, em decorrência do baixo custo energético de obtenção, são considerados totalmente biodegradáveis, uma vez que oriundos de componentes naturais (SILVERMAN, 2018). São definidos como materiais que apresentam, pelo menos, um componente produzido biologicamente com características completamente biodegradáveis (LELIVELT et al., 2015).

A utilização de resíduos agrícolas como substratos para a fabricação destes materiais, além de ser economicamente viável, ajuda a resolver os problemas ambientais decorrentes do seu acúmulo na natureza (OLIVEIRA, 2019; GUEDES, 2021; ROGNOLI et al., 2015). Diversos processos são desenvolvidos para utilização desses materiais, transformando-os em compostos químicos e produtos com alto valor agregado, como álcool, enzimas, ácidos orgânicos e aminoácidos (PANDEY et al., 2000).

No Brasil, muitos resíduos lignocelulósicos gerados a partir das atividades agrícolas, tais como serragem, casca de coco, bagaço de cana de açúcar, fibras dos frutos da palma, cascas de arroz, amendoim, café, entre outros (CHIN & SIDDIQUE, 2000). A decomposição completa desses materiais pode demandar meses ou vários anos (COULIBALY et al., 2002).

Desta forma, o desenvolvimento de micocompósitos surge como alternativa biodegradável para o aproveitamento de resíduos. Estes compósitos podem ser utilizados na fabricação de embalagens (ZIEGLER et al., 2016), material de construção (JIANG et al. 2017; JONES et al. 2017), painéis de isolamento térmico e acústico (PELLETIER et al., 2017), produtos decorativos para casa, couro, têxtil entre outros (KARANA et al., 2018). Os micocompósitos são obtidos por meio da penetração de hifas do fungo nas células vegetais e subsequente produção de metabólitos extracelulares, os quais atuam na degradação da parede celular dos componentes (HENEFF, et al., 2017; ESPOSITO & AZEVEDO, 2004).

Os compósitos colonizados por fungos apresentam-se em duas principais categorias - espumas e sanduíches - resultando numa estrutura fibrosa onde a biomassa fúngica e o substrato residual coexistem numa única matriz, que pode ser prensada em vários moldes, para diferentes aplicações (GIROMETTA et al., 2019). Os principais fatores que afetam a obtenção desses compósitos e suas propriedades mecânicas são o fungo escolhido, os resíduos orgânicos e a interação com o microorganismo, bem como as variações durante o processo de obtenção do material (ELSACKER et al., 2019).

Os fungos de degradação branca são capazes de hidrolisar celulose, hemicelulose e lignina (TEIXEIRA et al., 1997), podendo ser divididos em dois subgrupos: os que degradam simultaneamente todos os componentes, e os que degradam preferencialmente lignina (LUZ, 2012).

Neste trabalho, uma combinação de resíduos ainda não estudada foi utilizada como substrato para produzir micocompósitos via prensagem manual. Três fungos de degradação branca foram inoculados, verificando-se sua influência na compactação do material e consequente comportamento dos corpos de prova em ensaios de compressão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Isolados de fungos utilizados

Os isolados utilizados neste trabalho *Ganoderma* sp (60A2), *Pycnoporus* sp (60B1) e *Cerrena* sp (60B3.1) foram obtidos da micoteca do Laboratório de Química e Biomoléculas/LAQUIBIO, do ISECENSA, cujas identificações foram realizadas com base nas características morfológicas dos basidiocarpos.

2.2. Preparo do substrato

O substrato de cultivo foi preparado mantendo a mesma razão dos materiais orgânicos que o constituem: serragem de madeira branca (60%); mesocarpo de coco verde (10%); borra de café (10%) e trigoilho (20%). Todos os resíduos foram secos, sendo o mesocarpo triturado em liquidificador alcançando menor granulometria. A seguir, foram adicionados 20 g de hidróxido de cálcio/L e o pH ajustado para 6,5 (TEIXEIRA et al., 2018). Toda a mistura foi umedecida com água e esterilizada em autoclave a 121 °C, 1 atm, por 1 h, em três dias consecutivos. Posteriormente, os fungos foram semeados, a partir de colônias cultivadas em meio de cultura Batata Dextrose Ágar (BDA) (ALFENAS et al., 2016) e incubados a 25 °C por 30 dias, no escuro.

2.3. Fabricação dos corpos de prova

Moldes de aço inoxidável foram utilizados para fabricação de 7 corpos de prova com dimensões para ensaios de compressão (ASTM D1621, 2016). Os moldes foram preenchidos com os substratos pré-miceliados por 30 dias e pressionados manualmente para distribuir o substrato do modo mais uniforme possível. Em seguida, foram colocados em caixas plásticas mantendo-se em seu interior umidade relativa de 55%. Os micocompósitos foram mantidos nestas condições por mais 7 dias. Após este período, os moldes foram retirados e os corpos de prova submetidos à temperatura de 80 °C, durante 12 h para a finalização do processo (ELSACKER et al., 2019; TEIXEIRA et al., 2018).

2.4. Determinação da densidade

Para determinação do valor da densidade, todos os corpos de prova foram pesados numa balança analítica BIOPRECISA modelo FA2104N antes do ensaio de compressão e suas dimensões foram determinadas utilizando-se um paquímetro. A partir da relação entre a massa e o volume, foi determinada a densidade média para os micocompósitos produzidos neste trabalho.

2.5. Ensaio de compressão

Os ensaios de compressão foram realizados à velocidade de 10 mm/min, também adotada por Teixeira et al. (2018), numa máquina de ensaios universal Oswaldo Filizola AME-2, com capacidade de carga de 2 kN, pertencente ao Laboratório de Mecânica e Materiais da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Para cada micocompósito produzido, foram ensaiados 5 corpos de prova.

2.6. Análise morfológica

A fim de analisar a morfologia utilizou-se o microscópio confocal Olympus LEXT OLS4000, disponível no LAMAV/CCT/UENF.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A degradação de resíduos agrícolas por fungos de podridão branca torna-se possível porque estes possuem um complexo enzimático capaz de oxidar moléculas de lignina e celulose presentes em resíduos vegetais. Para tal, produzem enzimas oxidativas tais como lignina peroxidases (LiPs), as manganês peroxidases (MnPs) e as lacases (CORREIA et al., 2011).

Os fungos, no entanto, diferem entre si na capacidade de degradar o material orgânico devido às diferenças qualitativas e quantitativas de produção dessas enzimas (BARRETO et al., 2011). Os micocompósitos são obtidos, à medida em que as enzimas oxidativas agem sobre o substrato liberando nutrientes para o crescimento dos fungos, que espalham suas hifas durante o desenvolvimento.

O diferente modo de crescimento de hifas bem como as variações no tipo e na quantidade de enzimas produzidas por fungos de podridão branca podem explicar as variações nos micocompósitos obtidos neste trabalho.

3.1 Comportamento mecânico em compressão e densidade

A Figura 1 mostra curvas tensão versus deformação obtidas para os micocompósitos produzidos neste trabalho, utilizando os fungos *Cerrena sp.*, *Ganoderma sp.* e *Pycnoporus sp.* É importante esclarecer que os pontos finais destas curvas não representam a ruptura dos corpos de prova. Ao deformá-los sob compressão, neste caso, os corpos de prova foram achatados, tendendo ao formato de discos (Figura 2). Consequentemente, os ensaios foram finalizados de modo que se pudesse determinar a resistência à compressão a 10% de deformação. A partir da análise destas curvas observou-se que o micocompósito produzido a partir do fungo *Pycnoporus sp.* apresentou módulo de rigidez e resistência à compressão superior aos micocompósitos produzidos aplicando-se *Cerrena sp.* e *Ganoderma sp.*

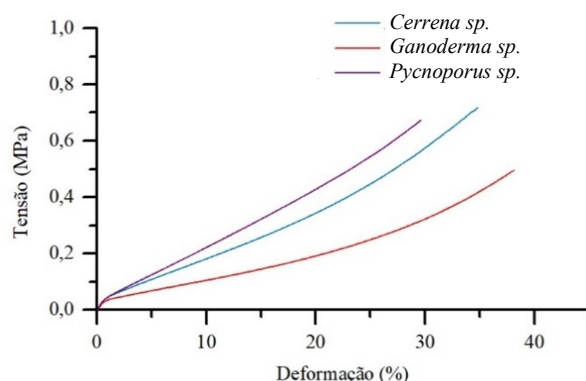


Figura 1. Curvas tensão *versus* deformação obtidas a partir do ensaio de compressão para os micocompósitos produzidos utilizando-se três diferentes fungos na sua composição

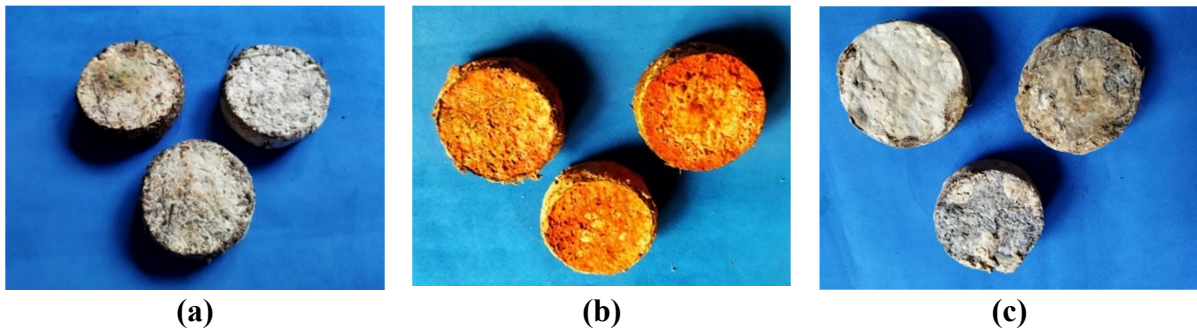


Figura 2: Corpos de prova de micocompósitos produzidos a partir da colonização dos fungos *Ganoderma* sp. (a), *Pycnoporus* sp. (b), e *Cerrena* sp. (c), após ensaio de compressão

Os valores da densidade e da resistência à compressão encontrados para os micocompósitos deste trabalho (ET) são apresentados na Figura 3. Os testes de Shapiro-Wilk mostraram que, em todos os materiais analisados, a resistência à compressão apresentou distribuição normal, conforme pode-se observar na Tabela 1. A análise de variância (ANOVA) com nível de significância (α) de 0,05 dos três tipos de micocompósitos produzidos, revelaram que os valores da resistência à compressão são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$). Sendo assim, testes-t, indicaram diferenças entre os possíveis pares de micocompósitos obtidos, sugerindo que os fungos utilizados na produção destes materiais afetaram suas propriedades de compressão. Estes resultados corroboram àqueles previamente encontrados por Silverman et al. (2020), que mostraram a influência da espécie de fungo utilizada na fabricação de micocompósitos e o consequente efeito significativo sobre a resistência à compressão.

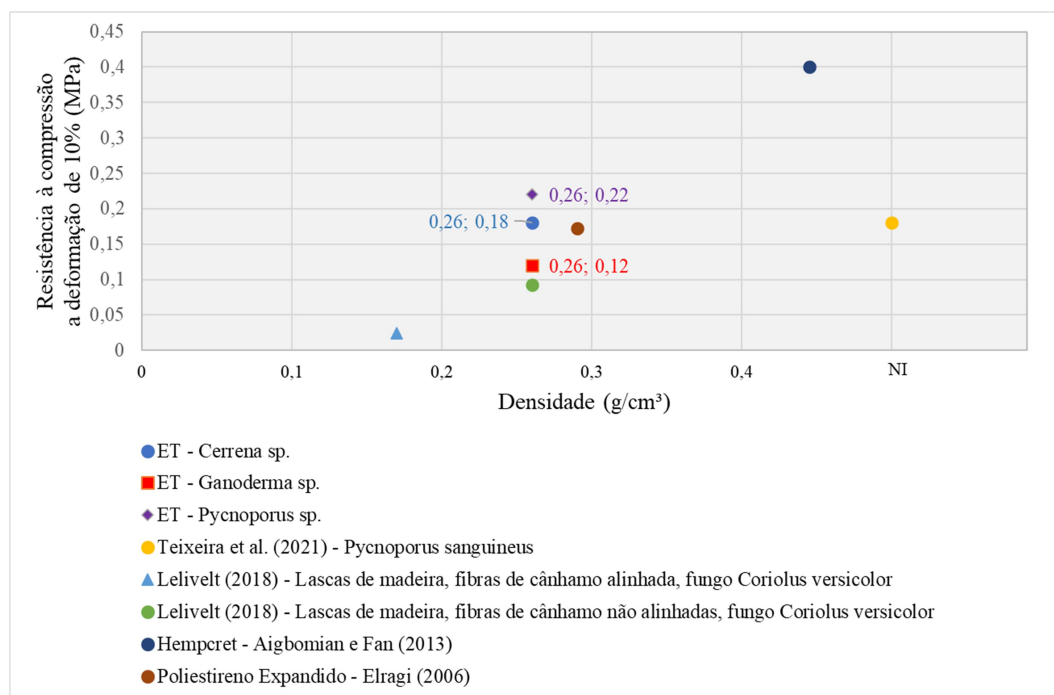


Figura 3. Comparação da resistência à compressão e da densidade de micocompósitos produzidos utilizando-se fungos e de outros materiais utilizados na construção civil. ET = este trabalho; NI = não informado no trabalho.

Tabela 1. W-stat e valor-p obtidos no teste de Shapiro-Wilk para verificar a distribuição normal

	Fungo utilizado na produção do micocompósito		
	<i>Pycnoporus</i> sp	<i>Ganoderma</i> sp	<i>Cerrena</i> sp
W-stat	0,84261	0,89457	0,990479
Valor-p	0,105068	0,34283	0,959908
α	0,05	0,05	0,05
normal	sim	sim	sim

Além disso, a Figura 3 também mostra uma comparação da resistência à compressão e da densidade encontradas nos micocompósitos com dados da literatura. Os materiais desenvolvidos neste estudo apresentaram a mesma densidade, revelando que o fungo utilizado não afetou esta propriedade física. Nota-se que Lelivelt (2018) desenvolveu micocompósitos utilizando lascas de madeira, fibras de cânhamo alinhadas e não alinhadas associados ao fungo *Coriolus versicolor* (syn. *Trametes versicolor*), verificando variação da resistência à compressão. Em ambos os casos foi observada menor resistência à compressão em relação aos valores encontrados no presente trabalho. O poliestireno expandido (EPS), conforme encontrado por Elragi (2006), possui resistência à compressão similar ao valor encontrado no micocompósito de *Cerrena* sp, sendo possível obter melhor performance que o EPS utilizando-se o *Pycnoporus* sp. Além disso, todos os micocompósitos mostraram valores inferiores de densidade. Teixeira et al. (2021) também utilizou *P. sanguineus*, mas a resistência à compressão encontrada foi menor, ressaltando que fatores tais como o método de fabricação e o substrato afetam esta propriedade. Neste caso, não foi possível fazer uma comparação com a densidade, uma vez que os autores não informaram o resultado desse teste. Quando comparado a outro compósito, o Hempcrete (AIGBOMIAN & FAN, 2013), que é considerado um biocompósito, todos os micocompósitos mostraram densidade mais baixa, mas menor resistência à compressão. O Hempcrete possui cal e areia em sua composição, o que pode explicar o fato de este apresentar melhor comportamento.

Foi verificada a resistência à compressão específica para os micocompósitos desenvolvidos neste trabalho (ET) e para outros materiais, conforme encontrado na literatura (Figura 4). Nota-se que, quando foi analisada a razão entre a resistência à compressão e a densidade desses materiais, o micocompósito produzido a partir da colonização de *Pycnoporus* sp apresentou a segunda melhor resistência à compressão específica, ficando atrás somente do Hempcrete. Além disso, o micocompósito fabricado a partir de *Cerrena* sp apresentou melhor resistência à compressão específica que o EPS (ELRAGI, 2006), mostrando que é possível produzir micocompósitos que poderiam substituir alguns tipos de materiais sintéticos. No entanto, estudos mais aprofundados devem ser realizados a fim de comprovar a viabilidade da sua utilização em aplicações que exijam maior segurança e outras propriedades que deverão ser analisadas, dependendo da aplicação pretendida.

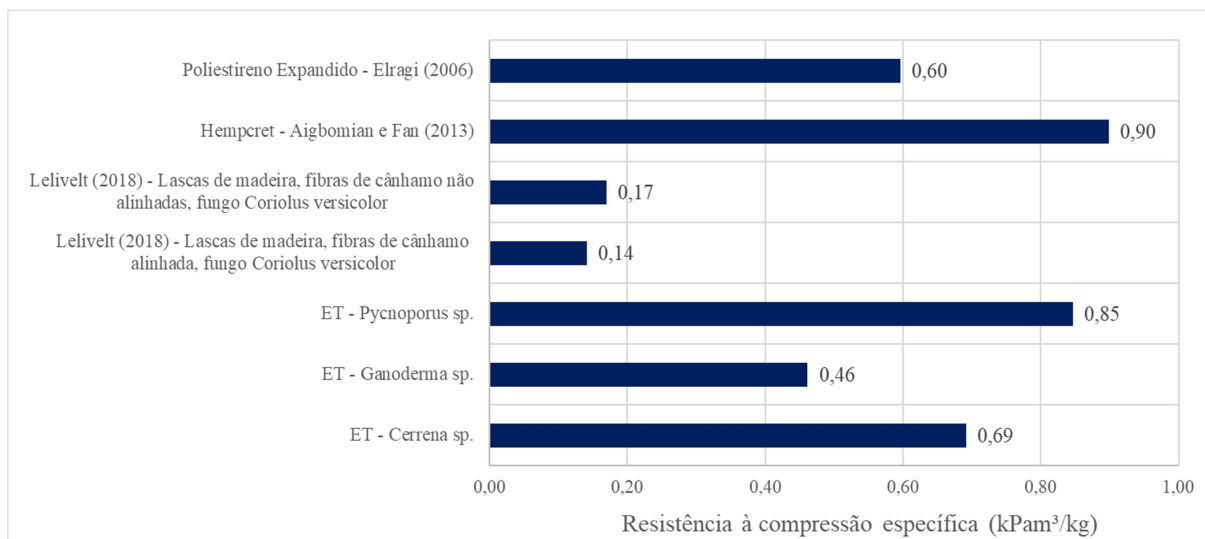


Figura 4. Comparação da resistência à compressão específica para microcompósitos produzidos com e sem a utilização de fungos colonizadores. ET = Este trabalho

3.2 Análise morfológica

Os resultados mostraram que os fungos testados degradam resíduos orgânicos, produzindo um aglomerado de hifas e, conseqüente, compactação do material (FIGUEIREDO E FORTUNA, 2021). Entretanto, diante do melhor resultado para o microcompósito produzido com o fungo *Pycnoporus* sp., quanto à resistência à compressão, optou-se por proceder o exame da interação micélio-substrato utilizando-se a técnica de microscopia confocal (Figura 5).

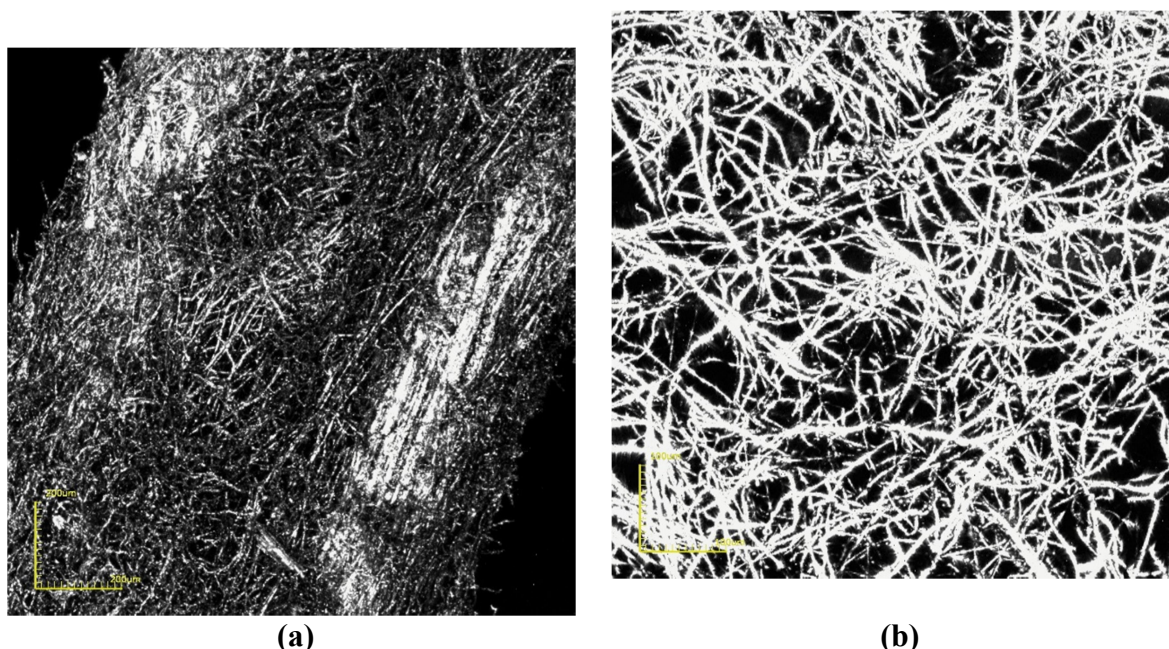


Figura 5: Micrografias (confocal a laser) mostrando o crescimento do micélio do fungo *Pycnoporus* sp. em substrato para a produção de microcompósito: a) superfície, b) interior do microcompósito.

Na Figura 5 são mostradas micrografias do interior e da superfície do compósito obtidas a partir da técnica de microscopia confocal. Nota-se que o micélio desenvolveu-se em ambas regiões, mas na superfície o crescimento foi mais adensado. No interior, esse crescimento produzido em forma de trama, agiu como uma matriz tridimensional que aglutinou os componentes do substrato, dando origem a um material de baixa densidade, conforme mostrado na Figura 3. Appels et al. (2019) sugerem que, como no interior do micocompósito existe menor abundância de ar, deve-se submetê-lo a um fluxo de ar constante, além de alta umidade, para que as hifas possam desenvolver-se também no interior do material. Embora o fungo tenha crescido no interior dos corpos de prova, mostrando que os parâmetros de fabricação foram suficientes para que isso acontecesse, a maior densidade de hifas na superfície foi ocasionada em consequência dos níveis de oxigênio e nitrogênio mais altos, dado que estes elementos atuam como fontes de energia para o crescimento do micélio (JONES et al., 2017).

4. CONCLUSÕES

Micocompósitos produzidos a partir de resíduos lignocelulósicos tais como serragem de madeira branca, casca de café triturada, borra de café e trigoilho foram miceliados por diferentes fungos de podridão branca como *Pycnoporus* sp, *Cerrena* sp e *Ganoderma* sp., sendo que o primeiro apresentou rigidez e resistência à compressão superiores em relação aos outros dois.

Imagens de microscopia confocal indicaram que a interação micélio-substrato na superfície dos corpos de prova foram favorecidas pelo contato direto com ar, fontes naturais oxigênio e nitrogênio para o crescimento das hifas. Tal resultado revela que, além de o fungo afetar as propriedades mecânicas dos micocompósitos produzidos, aspectos relacionados à produção destes materiais, como os níveis de fluxo de ar, devem ser analisados a fim de buscar a otimização das metodologias para obtenção de maior resistência à compressão, favorecidos pelo aumento da rede tridimensional de hifas no interior dos corpos de prova.

5. REFERÊNCIAS

AIGBOMIAN, E. P.; FAN, M. Development of Wood-Crete building materials from sawdust and waste paper. **Construction and Building materials**, v. 40, p. 361-366, 2013. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.018

ALFENAS, A.C., MAFIA, R.G. (Eds). Métodos em fitopatologia. 2 ed. Viçosa, MG: UFV. 2016. 516.

APPELS, F. V. W. et al. Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. **Materials and Design**, v. 161, p. 64–71, 2019. DOI: 10.1016/j.matdes.2018.11.027.

ASTM D1621 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1621. **Standard test method for compressive properties of rigid cellular plastics**. West Conshohocken. 2016. DOI: 10.1520/D1621-16

BARRETO, W. J., BERNARDINO, N. D. E., AFONSO, R. Biodegradation of dyes in textile wastewater by fungus *Ganoderma* sp: a kinetic study. **Química Nova**, v.34, n.4, 568-572, 2011.

CHIN, O. C.; SIDDIQUI, K. M. Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures. **Biomass and Bioenergy**, v. 18, n. 3, p. 223-228, 2000. DOI: 10.1016/S0961-9534(99)00084-7

COULIBALY, L., NAVEAU, H., AGATHOS, S.N. A tanks-in-series bioreactor to simulate macromolecule laden wastewater pretreatment under sewer conditions by *Aspergillus niger*. **Water Research**, v. 36, n. 16, p. 3941-3948, 2002. DOI: 10.1016/S0043-1354(02)00117-3

CORREIA, D. S., SANTOS, F. H. R., SOARES, L.H.B., CORREIA, M. E. F. Enzimas oxidativas microbianas envolvidas na biodegradação da lignocelulose: produção, características bioquímicas e importância biotecnológica. **EMBRAPA Agrobiológica**. 34 p. 2011.

ELRAGI, A. Selected Engineering Properties and Applications of EPS Geofom, **Softoria**, 2006.

ELSACKER, E. et al. Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. **PloS one**, v. 14, n. 7, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0213954

ESPOSITO, E., AZEVEDO, J.L. **Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia**. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul (EDUCS). 2004. 510 p.

FIGUEIREDO, B.V., FORTUNA, J.L. Ecologia de fungos políporos (Basidiomycota) de manguezal no Extremo Sul da Bahia. **Unisanta Bioscience**. v. 10, n.2, p. 59-75, 2021.

GIROMETTA, C. et al. Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: a review. **Sustainability**, v. 11, n. 1, p. 281, 2019. DOI: 10.3390/su11010281.

GUEDES et al, 2021. Resíduos agroindustriais como substrato para a produção de lipases microbiana: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e30710212537, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.12537

HANEEF, M.; Ceseracciu, L.; Canale, C.; Bayer, I. S.; Guerrero, J.A.H., Athanassiou, A. **Scientific Reports**, v. 7, p. 41292, 2017. DOI: 10.1038/srep41292

JIANG, L., WALCZYK, D., MCINTYRE, G. A New Approach to Manufacturing Biocomposite Sandwich Structures: Investigation of Preform Shell Behavior. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the Building with bio-based materials: Best practice and performance specification ASME 139 (2)*. **American Society of Mechanical Engineers (ASME)**: 21014, 2017. DOI: 10.1115/1.4034278

JONES, M. et al. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. **Materials & Design**, v. 187, p. 108397, 2020. DOI: 10.1016/j.matdes.2019.108397

KARANA, E. et al. When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials. **International Journal of Design**, v. 12, n. 2, 2018.

LELIVELT, R. J. J. **The mechanical possibilities of mycelium materials**. 2015. 82p. Dissertação (Mestrado) - Faculty of Architecture, Building and Planning (ABP) Eindhoven university of technology, 2015.

LUZ, J.M.R. Lignocellulolytic enzyme production of *Pleurotus ostreatus*, growth in agroindustrial wastes. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 43, n.4, p. 1508-1515, 2012.

OLIVEIRA, M. P. et al. Propriedades e características estruturais de compósitos poliméricos de resina poliuretana de óleo de mamona (*Ricinus communis* L.) reforçados com fibras do bagaço de cana-de-açúcar. **Perspectivas Online: Exatas & Engenharias**, v. 9, n. 26, 35-44, 2019. DOI: 10.25242/885X92620191947

PANDEY, A., et al. Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: cassava bagasse. **Bioresouce Technology**, v.74, n. 81-87, 2000. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00143-1

PELLETIER, M. G. et al. Acoustic evaluation of mycological biopolymer, an all-natural closed cell foam alternative. **Industrial Crops and Products**, v. 139, p. 111533, 2019. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111533

ROGNOLI, V. et al. DIY materials. **Materials & Design**, v. 86, n. 5, p. 692-702, 2015. DOI: 10.1016/j.matdes.2015.07.020

SILVERMAN, J. **Development and testing of mycelium-based composite materials for shoe sole applications**. 2018. 90p. Dissertação (Mestrado) - University of Delaware, 2018.

SILVERMAN, J.; CAO, H.; COBB, K. Development of Mushroom Mycelium Composites for Footwear Products. **Clothing and Textiles Research Journal**, v. 38, n. 2, p. 119–133, 2020. DOI 10.1177/0887302X19890006.

TEIXEIRA, J. L. et al. Production and mechanical evaluation of biodegradable composites by white rot fungi. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 676-684, 2018. DOI: 10.1590/1413-70542018426022318

TEIXEIRA, D.E., COSTA, A.F., SANTANA, M.A.E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, v. 52, n. 29-34, 1997.

ZIEGLER, A. R. et al. Evaluation of physico-mechanical properties of mycelium reinforced green biocomposites made from cellulosic fibers. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 32, n. 6, p. 931-938, 2016.