



Desenvolvimento de biocompósito utilizando resíduos agroindustriais e macrofungo

Álefe Galbiatti de Oliveira^{a*}, Mariane de Almeida Kuss^a, Melissa Justino da Silva^a,
Kethylyn Tomazelli Rodrigues^a, Reginaldo Vicente Ribeiro^a

^a Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Brasil

* Autor correspondente (alefenunes4@gmail.com)

INFO

Keywords

sustainability
bioeconomy
biotechnology
biomaterials

ABSTRACT

Development of biocomposites using agro-industrial residues and macrofungi

Society is going through a new stage of technological and scientific development that urges innovations for the application of a sustainable Bioeconomy in order to reduce environmental impacts such as the accumulation of synthetic polymeric materials derived from petroleum which, consequently, promotes soil contamination, due to its difficult degradation. Along with this, organic agro-industrial waste needs to be reused in order to increase its added value, which contributes to a Circular Bioeconomy. Thus, the objective of this work is to take advantage of the capacity of fungal mycelium to incorporate organic residues, accelerate decomposition and produce a biodegradable compound to develop a biocomposite, using agro-industrial residues as a substrate. The methodology used started from a bibliographical research to evidence a macrofungus with fast growth potential, and ended with a practical work of fungal cultivation for mycelial development. As a result, the most promising condition for producing a biocomposite obtained from different substrate formulations was identified, considering their physical characteristics, in order to obtain a biocomposite for the production of future biodegradable products.

RESUMO

A sociedade está passando por uma nova etapa de desenvolvimento tecnológico e científico que urge inovações para aplicação de uma Bioeconomia sustentável a fim de reduzir impactos ambientais como o acúmulo de materiais poliméricos sintéticos derivados do petróleo que, consequentemente, promove a contaminação do solo, devido a sua difícil degradação. Junto a isso, resíduos orgânicos agroindustriais necessitam de aproveitamento, a fim de aumentar seu valor agregado, o que contribui para uma Bioeconomia Circular. Assim, o objetivo deste trabalho é aproveitar a capacidade do micélio fúngico em incorporar resíduos orgânicos, acelerar a decomposição e produzir um composto biodegradável para desenvolver um biocompósito, utilizando resíduos agroindustriais como substrato. A metodologia utilizada iniciou a partir de uma pesquisa bibliográfica para evidenciar um macrofungo com potencial de crescimento rápido, e finalizou com um trabalho prático de cultivo fúngico para o desenvolvimento micelial. Como resultado, identificou-se a condição de produção mais promissora de biocompósito obtido entre as diferentes formulações de substrato considerando suas características físicas, a fim de obter um biocompósito para produção de futuros produtos biodegradáveis.

Palavras-chaves

Sustentabilidade
bioeconomia
biotecnologia
biomateriais

Received 24 February 2023; Received in revised from 01 March 2023; Accepted 12 May 2023



INTRODUÇÃO

Os fungos possuem a função natural de manter o equilíbrio do ambiente, pois decompõem resíduos orgânicos e degradam toxinas (SILVA, 2016). Os biocompósitos são, na maioria, biomateriais com reforço aumentado, formados por fibras naturais e polímeros biodegradáveis ou não-biodegradáveis, pelo qual a matriz é a fase contínua e as fibras ou partículas a fase dispersa (SHINOJ et al., 2011). O micélio fúngico, além de ser facilmente produzido com a utilização de diversos tipos de substratos orgânicos, ainda pode ser utilizado na produção de biocompósitos e materiais biodegradáveis (APPELS, 2019). A população está em crescente aumento, esse fato introduziu uma necessidade por diferentes materiais, a fim de melhorar qualitativamente a vida da sociedade. Por essa razão, os materiais poliméricos derivados do petróleo têm ganhado espaço devido a facilidade de processamento, baixo custo de produção, leveza e resistência. Entretanto, a reciclagem destes materiais é economicamente inviável, pois é mais barato produzi-lo do que reciclar (SANTOS et. al., 2012). Também, após o seu uso, os materiais poliméricos sintéticos se acumulam no ambiente, o que, conseqüentemente, promove a contaminação do solo, devido a sua dificuldade de degradação. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), comprometimento entre o Brasil e 192 Estados membros da ONU, é um plano de ação global que visa cumprir 17 objetivos e 169 metas de cunho social, ambiental e econômico até 2023, onde entre os ODS que o presente trabalho se enquadra, está Consumo e Produção Responsáveis, e Cidades e Comunidades Sustentáveis. Por isso, o desenvolvimento de materiais de degradação pós-uso facilitada é essencial na redução dos impactos ambientais inerentes aos resíduos poliméricos (SOUZA, 2004). Além de contribuir para o desenvolvimento dos ODS. Os fungos têm sido um dos campos de pesquisa com grande potencial biotecnológico, desde que utilizaram o micélio de fungos para o desenvolvimento de biomateriais. O micélio fúngico é constituído por uma rede de estruturas celulares filamentosas chamadas hifas, ricas em quitina, que têm a capacidade de fusão quando crescem em um determinado substrato, conferindo grande resistência. A casca de arroz é o principal resíduo da agroindústria, devido a alta quantidade e baixa densidade, incluindo a dificuldade de decomposição (LHAMBY et al., 2010). Ademais, a casca de arroz obtém um baixo valor nutritivo, que impossibilita seu uso para nutrição animal. Segundo

Dias et al. (2012), para cada tonelada de grãos de arroz colhidos são produzidos, em média, 220 kg de casca. A serragem está incluída entre os resíduos amplamente gerados, no Brasil, cerca de 619 mil toneladas são produzidas anualmente, destinada na maior parte dos casos à queima a céu aberto, despejadas em aterros inadequados ou acondicionadas no ambiente, impactando negativamente o local, além de a perda econômica relacionada ao potencial energético da serragem aproximar de US\$ 12/m³ de madeira serrada (BRUSCATO, 2017). Esses materiais possuem baixo valor agregado e alta disponibilidade, o que credibiliza sua utilização no desenvolvimento do biocompósito. Nesse contexto, o micélio de fungo possui a capacidade de ser utilizado como substituto de alguns materiais poliméricos sintéticos. Assim, o trabalho objetiva utilizar a capacidade do micélio em agregar resíduos orgânicos de diferentes fontes, acelerar a decomposição e produzir um composto biodegradável para desenvolver um biocompósito a partir de um macrofungo, utilizando resíduos agroindustriais como substrato.

MATERIAL E MÉTODOS

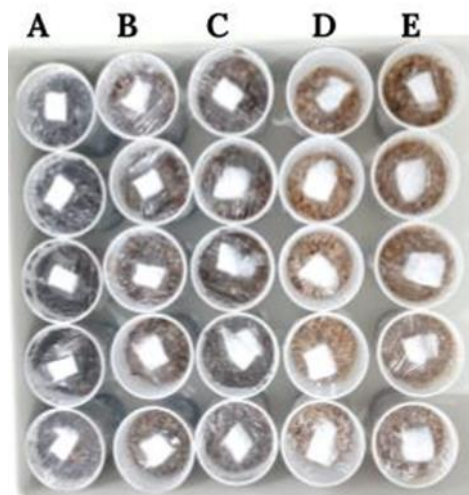
As atividades experimentais realizaram-se nos laboratórios de microbiologia e de cultivo de microrganismos do IFMT Campus Avançado Lucas do Rio Verde no laboratório de análises físico-químicas da FS Bioenergia, unidade Lucas do Rio Verde. Para avaliar a melhor formulação de substrato na produção de um biocompósito, utilizou-se o cogumelo-ostra, *Pleurotus ostreatus* como fungo teste, e como substratos a casca de arroz (CA), a casca de arroz moída (CAM) e a serragem (SE) previamente secas. No momento da preparação das formulações adicionou-se água destilada para ajustar a umidade a 67% (v/v). Obteve-se o fungo de micélios pré-inoculados em sementes (sorgo ou trigo) e calcário de conchas, sem aditivos químicos, no estoque de fungos do IFMT Campus Avançado Lucas do Rio Verde. Quanto aos substratos estes foram doados pela FS Bioenergia, oriundos do seu estoque de biomassa. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 5 repetições e 5 tratamentos, constituindo-se como tratamentos: 100%, respectivamente, de CA, CAM, SE e duas misturas, sendo cada uma com 50% (v/v) de SE com 50% (v/v) de CA e CAM, observe a tabela 1.

Tabela 1 – Diferentes formulações de substrato, em base seca

Substrato	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)
Serragem	100	50	50	0	0
Casca de arroz	0	50	0	100	0
Casca de arroz moída	0	0	50	0	100

As parcelas inocularam-se com 40% (v/v) do micélio pré-inoculado, em condições de assepsia, colocadas em copos plásticos conforme a Figura 01, com modificações seguido as adaptações de

Camara, 2014, incubadas a 24 °C em uma BOD por 15 dias, e por fim, seco em estufa a 105 °C por 72 horas.



A (Serragem), B (Serragem e casca de arroz), C (Serragem e casca de arroz moída), D (Casca de arroz) e E (Casca de arroz moída).

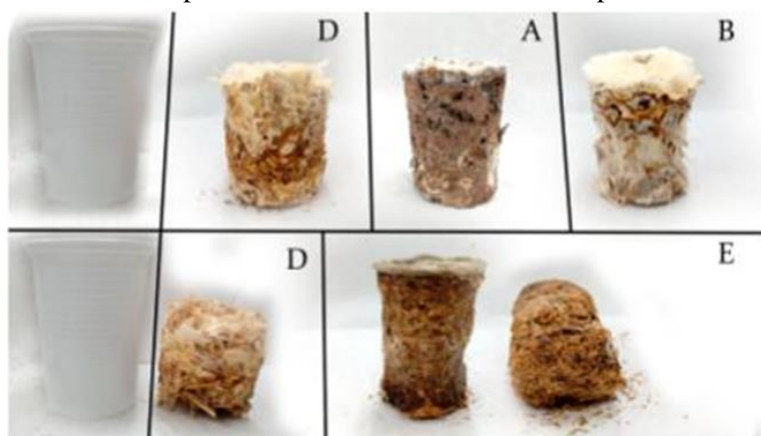
Figura 1 – Tratamentos acondicionados, vedados com plástico filme e um orifício tampado com algodão para que haja trocas gasosas.

Para determinar a condição de produção mais promissora de biocompósito obtido entre as diferentes formulações de substrato, desconsiderou-se parâmetros, a densidade e a resistência à compressão, em conformidade com Bruscato (2017) e a umidade segundo a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) - método 012/IV. Os dados foram submetidos à análise estatística, aplicando-se o

teste de Tukey a 5,0 % (GOMES, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos, após 15 dias de cultivo, obtiveram algum grau de crescimento micelial para os tratamentos SE, SE+CAM e SE+CA, entretanto houve baixo crescimento no tratamento CA e CAM, como pode ser observado na figura 02.



Tratamento A (Serragem), B (Serragem e casca de arroz), C (Serragem e casca de arroz moída), D (Casca de arroz) e E (Casca de arroz moída).

Figura 2 – Biocompósitos após secagem.

Esses resultados evidenciam que os tratamentos com a presença de casca de arroz moída dificultaram a miceliação do fungo.

Possivelmente os parâmetros físicos como a capacidade de absorção de água, porosidade e tamanho das partículas sejam influenciadores no cultivo de *Pleurotus ostreatus*. A relação de água livre pode ter sido um fator determinante na miceliação. Normalmente, o substrato é umedecido e a umidade é verificada pelo teste de palmo, que segundo Oliveira (2018) consiste em pressionar o substrato e não escorrer água, provavelmente a

umidade está entre 60 e 70%. Durante a inoculação do fungo aos substratos, foi notada a presença de água livre na parte inferior interna dos copos, nos tratamentos com baixo rendimento de miceliação. Este resultado indicia que as técnicas de umidificação e homogeneização foram pouco eficazes. Os dados presentes no Figura 3 confirmam o que foi observado, visualmente, que o substrato com água livre apresentou valor menor no teor de umidade.

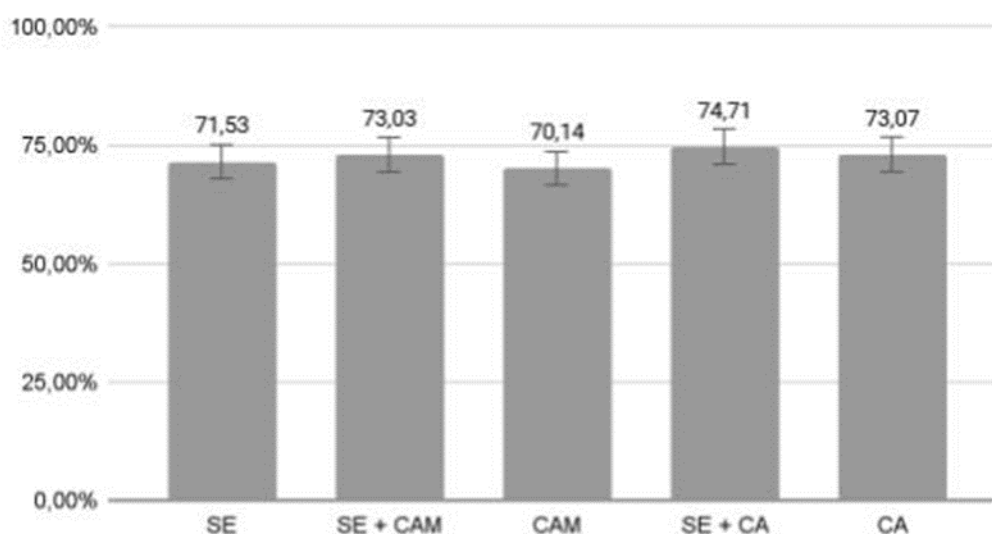


Figura 3 – Porcentagem de umidade dentro dos recipientes de crescimento dos biocompósitos em função das formulações de cada tratamento

É importante evidenciar que todos os tratamentos quantificaram o teor de umidade aproximado, satisfatoriamente, à quantidade adicionada dentro dos copos. Isso indica que o método de descanso das amostras durante a noite (overnight) possivelmente foi insuficiente para ocorrer total absorção da água de forma homogênea, ou, também, que a casca de arroz moída tem baixa higroscopia e não é capaz de absorver esse teor de umidade. Isso pode ser explicado pela grande quantidade de sílica na casca

de arroz, que proporciona, parcialmente, impermeabilização do substrato. O desenvolvimento micelial pode ser beneficiado com melhores técnicas de umedecimento, que promovam melhor homogeneização. Os resultados de densidade foram superiores para os biocompósitos formados pelos tratamentos que continham serragem e casca de arroz moída, observe a Figura 4.

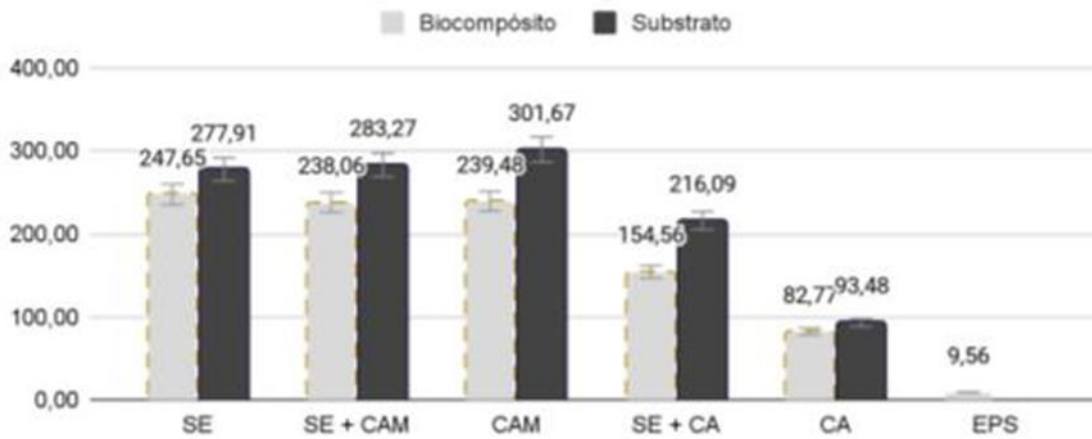


Figura 4 - Densidades aparentes dos biocompósitos, após 15 dias de cultivo, em comparação com a dos substratos antes da inoculação, e com a do poliestireno (EPS).

Este resultado evidencia que o crescimento micelial não altera significativamente as condições físicas, especificamente a densidade, do substrato, assim como o resultado de Bruscato (2017) ao comparar as diferenças de densidade, tendo como

valores não significativos, pois, neste trabalho, a linha de tendência da densidade de cada formulação dos biocompósitos se relacionam diretamente com a densidade de cada substrato, como é evidenciado na Figura 5.

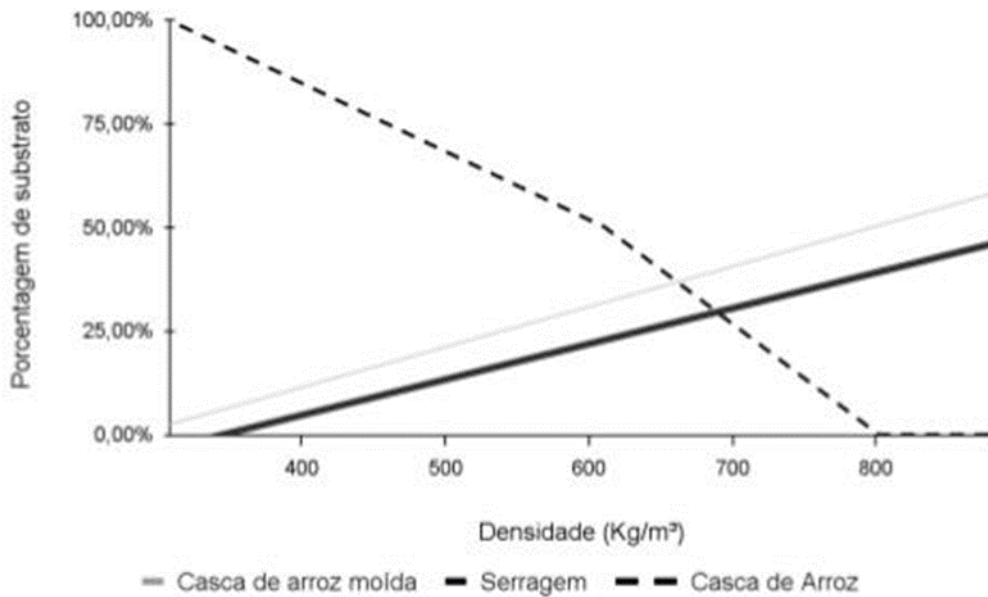


Figura 5 - Linhas de tendências da densidade de cada biocompósitos em função da porcentagem de cada substrato.

O dado de densidade aparente não demonstra significante ao sucesso de cultivo de *Pleurotus ostreatus* (OLIVEIRA, 2018). Todavia, ao fazer comparação, segundo a sua densidade, com poliestireno (EPS), popularmente conhecido como Isopor®, visivelmente foi o melhor tratamento para usar de forma alternativa ao EPS. A suplementação

desses resíduos com farelo de soja, segundo pesquisadores, garante o efeito estimulante e favorece maior crescimento micelial (DONINI, 2006). Ademais, substratos lignocelulósicos fibrosos podem promover resistência ao biocompósito mantendo baixa densidade, posteriores trabalhos serão necessários para validar

essa hipótese. Na Figura 6 pode ser observado o perfil de resistência à compressão nos ensaios com os biocompósitos formados a partir das formulações de SE, SE+CA, CA e EPS. Os

resultados obtidos dos biocompósitos foram, respectivamente, 1,26, 1,31 e 1,45, aproximadamente 81% superior em resistência à compressão comparado ao EPS.

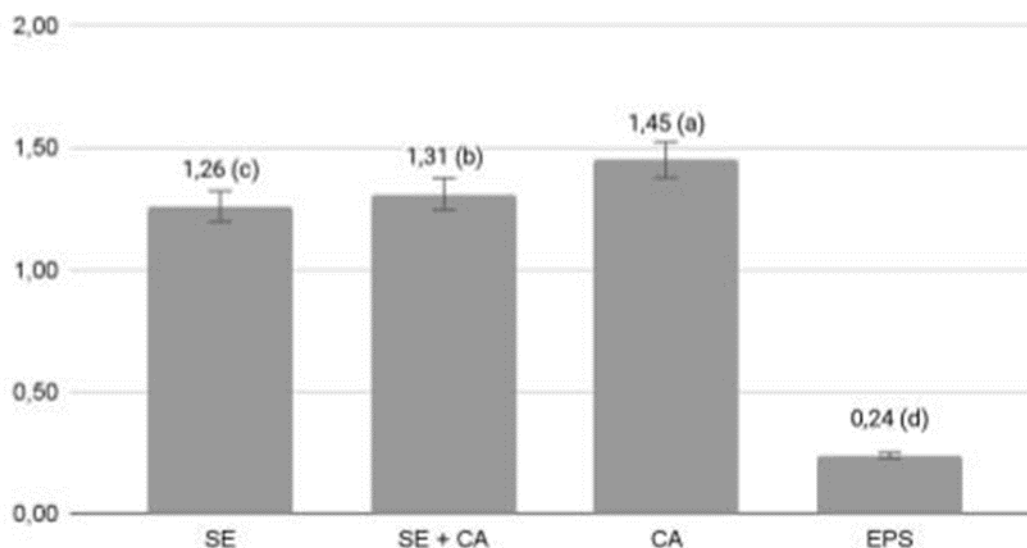


Figura 6 – Resistência à compressão dos biocompósitos *Pleurotus ostreatus* em comparação com EPS. Valores foram determinados em 3 amostras de cada biocompósito. Letras iguais denotam que não existe diferença significativa a 5 % ($p < 0,05$ teste de Tukey).

Também se verificou que os biocompósitos apresentam diferenças significativas entre si. Os tratamentos SE+CAM e CAM esfrelaram ao manuseá-los, impossibilitando os ensaios de resistência à compressão. Há escassez de dados na literatura referente a esses testes em biocompósitos, o que dificulta na comparação, porém, no trabalho de Bruscato (2017), realizou-se ensaios de resistência à compressão em bioespumas de *Pleurotus albidus*, *Pleurotus djamor* e *Trametes villosa* em comparação com EPS. Em seus resultados, as bioespumas obtiveram 0,75, 0,72 e 0,76 MPa, respectivamente, cerca de 70% superior ao EPS. Vale ressaltar que nesse trabalho citado a autora utilizou farelo de trigo como substrato para o crescimento micelial. A correlação revelou que quanto maior a quantidade de casca de arroz, maior a resistência à compressão. De acordo com Santos (2020), a flexibilidade dos biocompósitos é diretamente proporcional à resistência à compressão, ou seja, o biomaterial possui maior tenacidade. Entretanto, o aumento de temperatura na secagem do biocompósito confere menos flexibilidade à rede micelial, o que por consequência reduz a tenacidade. Neste trabalho os biocompósitos foram submetidos em secagem na estufa a 105 °C por 72 h, possivelmente seria obtido valores maiores de resistência à compressão se submetidos em 60 °C por 72h. Apesar dos tratamentos CAM e CA apresentarem baixo

desenvolvimento micelial, os desenvolvidos com SE, SE+CA e CA apresentaram potencial como substratos base no desenvolvimento de biocompósito, em especial com a casca de arroz, que apresentou baixa densidade e maior resistência à compressão o qual, respectivamente, se aproximou e superou os aspectos físicos do poliestireno usado em embalagens descartáveis, o que evidencia seu potencial uso como alternativa biodegradável ao EPS. O biocompósito com a presença de serragem demonstrou maior densidade aparente, e menor resistência à compressão, portanto a serragem é um substrato potencialmente adequado para produzir biocompósitos com maior rigidez.

CONCLUSÕES

Em função dos resultados aqui apresentados e discutidos, compreende-se que novos biomateriais e/ou bioprodutos podem ser produzidos partindo de resíduos agroindustriais. É necessário novos trabalhos com objetivo de aprimorar as técnicas de produção do biocompósito, e o desenvolvimento de formulações com outros resíduos agroindustriais.

AGRADECIMENTOS

Aos amigos e professores que apoiaram e contribuíram para o desenvolvimento deste

trabalho, ao IFMT Campus Avançado Lucas do Rio Verde e à FS Fueling Sustainability.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Appels FVW, Camere S, Montalti M, Karana E, Jansen KMB, Dijkstewrhuis J, Krijgsheld P, Wosten HAB. Fabrication factors influencing mechanical, moisture-and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, v.161, p.64-71, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>
- Attias N, Danai O, Tarazi E, Pereman I, Grobman Y J. Implementing bio-design tools to develop mycelium-based products. *The Design Journal*, v22, n.1, p.1647-1657. 2019. <https://doi.org/10.1080/14606925.2019.1594997>
- Bellettini MB. Desenvolvimento de um bioprocesso integrado para valorização de bainha de pupunha (*bactris gasipaes kunth*): produção de cogumelos (*pleurotus* spp.) E Alface (*Lactuca Sativa*) Cv. 2014. 136 p. Dissertação (Mestrado em engenharia de alimentos) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- Bruscato C. Desenvolvimento de bioespumas empregando resíduos agroindustriais e macrofungos regionais. 2017. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) - Universidade de Caxias Do Sul, Rio Grande Do Sul.
- Bononi VLR, Capelari M, Maziero R, Trufem SFB. Cultivo de cogumelos comestíveis. São Paulo: Icone, 206p. 1995.
- Dias JMCS, Souza DT, Braga M, Onoyama MM, Miranda, CHB, Barbosa PFD, Rocha JD. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Brasília, Embrapa. 132p. 2012. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 13).
- Camara MC. Cultivo do cogumelo comestível *pleurotus* djamor em diferentes misturas de caroço de algodão e bagaço de cevada. 2014. 42 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Biotecnologia) – Universidade Federal da Grande Dourado, Dourados.
- Luz JMR. Production of edible mushroom and degradation of antinutritional factors in jatropha biodiesel residues. *Lwt-Food Science And Technology*, v.50, n.2, p.575-580, 2013.
- Silva CJA, Malta DJN. A Importância dos fungos na biotecnologia. *Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-Unit-Pernambuco*, v.2, n.3, p.49, 2016.
- Almeida DF. Maus-tratos contra animais? viro o bicho!: antropocentrismo, ecocentrismo e educação ambiental em serra do navio (amapá). 2013. 126 p. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- Donini LP, Bernardi E, Minotto E, Nascimento JS. Efeito da suplementação com farelos no crescimento in vitro de *pleurotus ostreatus* em meio à base de capim-elefante (*Pennisetum* spp.). *Arquivos do Instituto Biológico*, v.73, n.3, p.303-309, 2006.
- Ferraz AL. Fungos decompositores de materiais lignocelulósicos. in: Esposito E, Azevedo JL. *Fungos: Uma introdução à biologia, Bioquímica e Biotecnologia*. Caxias Do Sul: Educus ed., p.213-242, 2004.
- Gomes F. G. Curso de estatística experimental. Piracicaba: Fealq, 451p. 2009.
- Lhamby A, Senna AJ, Canes SE. A prática da gestão ambiental agroindustrial: um estudo de caso em uma agroindústria que produz energia elétrica a partir da casca de arroz. Bauru: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2010. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/trabalhos2010/xi-001.pdf>. Acesso em jan de 2023.
- Lutz IA. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Anvisa, 2008.
- Mandeeel QA, Al-Laith AA, Mohamed SA. Cultivation of oyster mushrooms (*pleurotus* spp.) on various lignocellulosic wastes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v.21, n.4, p.601-607, 2005.
- Oliveira CC. Produção de cogumelos comestíveis utilizando resíduos agroindustriais. 2018.
- Pereira DM. Obtenção e avaliação de linhagens híbridas e desenvolvimento dos processos de inóculos líquidos para cultivo axênico de *lentiniula edodes* (Berk.) Pegler. 2015.
- Ribas LCC, Mendonça MM, Camellini CM, Soares CHL. Use of spent mushroom substrates from *agaricus subrufescens* (syn. a. blazei, a. brasiliensis) and *lentiniula edodes* productions in the enrichment of a soil-based potting media for lettuce (*lactuca sativa*) cultivation: growth promotion and soil bioremediation. *Bioresource Technology*, v.100, n.20, p.4750-4757, 2009.
- Urban AF. Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada. Brasília, DF: Embrapa. 187 p., 2004.
- Santos ASF, Freire FH, Costa BLN, Manrich S. Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição. *Polímeros*, v.22, p.228-237, 2012.
- Santos IS. Caracterização E Análise Mecânica De Biocompósito De Matriz Micelial E Reforço Vegetal Para Uso Como Material Biodegradável. 2020. Disponível Em: <Http://Ri.Ufs.Br/Jspui/Handle/Riufs/14744>
- Shinoj S, Visvanathan R, Panigrahi S, Kuchubabu M. Oil Palm Fiber (Opf) And Its Composites: A Review. *Industrial Crops And Products*. v.33. p.7-22. 2011.
- Souza, MN. Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável. 2004. 371p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2004.
- Teixeira AC. Educação Ambiental: Caminho Para A Sustentabilidade. *Revista Brasileira De Educação Ambiental*, v.2, p.23-31, 2007.