



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

SABRINA ALVES DA SILVA

**CAPACIDADE PRODUTIVA E BIODEGRADATIVA DE COGUMELOS DO
GÊNERO *PLEUROTUS* CULTIVADOS EM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

AREIA

2023

SABRINA ALVES DA SILVA

**CAPACIDADE PRODUTIVA E BIODEGRADATIVA DE COGUMELOS DO
GÊNERO *PLEUROTUS* CULTIVADOS EM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada a
Coordenação do Curso de Ciências Biológicas da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharela em Ciências Biológicas

Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias

Coorientador: Dr. Jhonatan Rafael Zárate Salazar

AREIA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586c Silva, Sabrina Alves da.

Capacidade produtiva e biodegradativa de cogumelos
do gênero pleurotus cultivados em resíduos
lignocelulósicos / Sabrina Alves da Silva. -
Areia:UFPB/CCA, 2023.

74 f. : il.

Orientação: Bruno de Oliveira Dias.

Coorientação: Jhonatan Rafael Zárate-Salazar.

Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Ciências Biológicas. 2. Bagaço de cana. 3. Folhas
de bananeira. 4. P. djamor. 5. P. ostreatus. I. Dias,
Bruno de Oliveira. II. Zárate-Salazar, Jhonatan Rafael.
III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 573 (02)

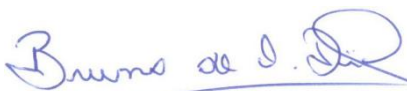
SABRINA ALVES DA SILVA

CAPACIDADE PRODUTIVA E BIODEGRADATIVA DE COGUMELOS DO GÊNERO
PLEUROTUS CULTIVADOS EM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
a Coordenação do Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharela em Ciências Biológicas.

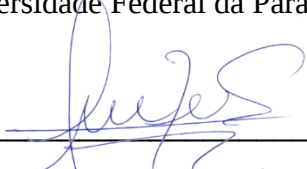
Aprovado em: 14/ 06/ 2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Dr. Jhonatan Rafael Zárate-Salazar (Coorientador)

Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Dra. Hilderlande Florêncio da Silva

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Me. Mirela Natália Santos

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

À minha mãe, Marta Alves, meu maior exemplo de coragem, força e resiliência.

À minha irmã, Germana Alves, pelo apoio incondicional.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus por conceder forças pra trilhar este caminho.

À minha mãe, Marta Alves, a quem devo minhas melhores virtudes e coragem pra enfrentar todas as dificuldades que surgem no caminho.

Aos meus irmãos: Germana, por nunca ter duvidado de meu potencial e sempre encorajar-me a trilhar novos horizontes. Ao meu irmão Herberth, o companheiro dessa jornada, que tanto me ajudou do início ao fim da graduação. A Viviane por sempre me ajudar nas apresentações me fazendo me sentir capaz quando eu desacreditava em mim. A Kátia, pessoa de um coração extremamente bondoso e que tanto acreditou em mim. À André pelo apoio e incentivo.

Aos meus sobrinhos, Cinthia, Thales, Maria Isis, George (Moisés), Henry, Flora, Giovanna e Mariana; por servirem de inspiração para que eu me torne exemplo de conduta ética, moral e profissional, e por colorirem dias difíceis. Aos meus cunhados: Paulo, Thiago e Dimas, pelo apoio, e a minha querida cunhada, Renata Araújo, pelos bons momentos e por sempre me entender e ajudar.

À minha Tia, Sônia Santos, por ter sido minha principal inspiração e exemplo de que a educação transforma vidas e por todo apoio prestado durante os primeiros períodos da graduação. A minha prima, Camila Costa, por sempre estar disposta me ajudar antes mesmo do início do curso e pelos domingos de descontração na Grotá.

A Luiz Cândido (*in memoriam*) pelos inúmeros momentos de alegria e boas lembranças.

Ao meu coorientador e amigo, Rafael Zárate, minha maior referência de pesquisador, ética e responsabilidade profissional. Sou imensamente grata por ter me apresentado o fantástico mundo dos cogumelos comestíveis e por ser uma das peças principais da minha formação acadêmica e profissional. Ao meu orientador, Bruno Dias, pelo apoio e confiança.

À banca examinadora pela disponibilidade em avaliar o trabalho.

Ao GPEC, em especial, a Háimy Nobrega, Matheus Cardoso, Nayara Kelly, Joseilton Nascimento e Vanessa Araújo, pela amizade, compreensão e ajuda durante a condução do experimento.

Aos Departamentos de Solos e Engenharia Rural, Zootecnia e Química e Física do Centro de Ciências Agrárias pelo apoio nas análises da pesquisa. Aos Professores Filipe Pereira, Felipe, Wartchow, Vânia Fraga e Daniele Amorim, pela disponibilidade e contribuições.

À professora Loise Araújo, por fazer apaixonar-me pela micologia e pelo incentivo para seguir na área. Aos professores David Holanda, Luciana Barbosa e Daniel Duarte, por serem exemplos de profissionalismo e comprometimento com a docência.

As minhas amigas, Bianca Amaro, Fernanda Andrade e Nayara Kelly, pelos inúmeros momentos felizes, boas lembranças, companheirismo, e sobretudo, a verdadeira amizade. A Andrezza Maddalena, Maria Fidelis, Martha Betânia e Robson Monteiro, pelo apoio e amizade.

À minha querida “roomate”, Layla Rodrigues, pelos bons momentos e por ser uma ótima companhia em momentos difíceis

Ao Programa de Educação Tutorial (PET), Programa de Monitoria e Extensão, pelas diversas oportunidades, amizades e experiências adquiridas.

A assistência estudantil por garantir todo o apoio necessário para conseguir concluir a graduação.

A música e a arte, por me permitir descansar a alma e os olhos cansados da vida.

“É tão bonito quando a gente pisa firme
Nessas linhas que estão nas palmas de nossas mãos
É tão bonito quando a gente vai à vida
Nos caminhos onde bate, bem mais forte o coração.”

Gonzaguinha.

RESUMO

Cogumelos comestíveis do gênero *Pleurotus* são organismos de podridão branca seletiva que degradam eficientemente compostos lignocelulósicos através de seu rico e diverso coquetel enzimático, o que permite empregar resíduos agroindústrias para o cultivo dessas espécies. A presente pesquisa tem por objetivo avaliar a influência de diferentes proporções de bagaço de cana e folha de bananeira sob parâmetros produtivos e biodegradativos de *P. djamor* e *P. ostreatus* em fermentação em estado sólido. O experimento foi conduzido sob um DIC com 5 tratamentos e 8 repetições, sendo estas constituídas nas proporções 0%, 25%, 50%, 75%, 100% de bagaço de cana complementados percentualmente com folhas de bananeiras (% m/m), e suplementadas com 10g de farinha de trigo e 10g de serragem. As formulações foram umedecidas a 68% (v/m), ensacadas em sacos de polipropileno de 15 cm × 30 cm × 6 mm e esterilizados por uma hora a 120° C e 103 kPa. A inoculação foi realizada com 40 g de inóculo de *P. djamor* (cepa PDJ/R2) e *P. ostreatus* (cepa PO/A02) por quilograma de substrato esterilizado. A incubação foi mantida sob escuridão total a 23,95 ± 0,21°C e umidade relativa de 94,24 ± 3,85%, durante 26 dias ± 6. Para a indução-frutificação foram realizados cortes verticais de 5 cm na superfície das sacolas na Sala de frutificação, mantidas a uma temperatura 23,85 ± 1,56°C e a umidade relativa 91,20 ± 3,68%. O período produtivo terminou com 3 fluxos de colheita. Foram avaliadas as variáveis produtivas: crescimento micelial (cm dia⁻¹), precocidade (dias), eficiência biológica (%), período produtivo (dias), capacidade produtiva diária (kg dia⁻¹) e taxa de produção (% dia⁻¹); e biodegradativas perda de matéria orgânica (%) e variação percentual da composição do material lignocelulósico (%). Os resultados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett a 5% de significância ($P \geq 0,05$) e analisadas teste de Tukey, com exceção da variação percentual celulose e hemicelulose que foram analisadas com o teste de Kruskal-Wallis, ambos testes a 5% de significância ($P < 0,05$). Os resultados indicam que tratamento 25BG fornece melhores condições para o desenvolvimento de *Pleurotus djamor* proporcionando maior crescimento micelial no substrato (0,27 cm dia⁻¹), induzindo menor precocidade e estimulando em mais do 50% a biodegradação de lignina. O cultivo de *P. ostreatus* independe dos substratos em estudo, apresentando 95% de eficiência biológica. *P. djamor* relaciona-se com os aspectos biodegradativos e *P. ostreatus* com os aspectos produtivos quando cultivados em formulações de bagaço de cana e folhas de bananeira. Conclui-se que o cultivo de cogumelos comestíveis do gênero *Pleurotus* é uma alternativa viável e promissora para o reaproveitamento de resíduos lignocelulósicos disponíveis na região do Brejo Paraibano.

Palavras-chave: bagaço de cana; folhas de bananeira; *P. djamor*; *P. ostreatus*.

ABSTRACT

Edible mushrooms of the genus *Pleurotus* are selective white rot organisms that efficiently degrade lignocellulosic compounds through their rich and diverse enzymatic cocktail, which allows the use of agro-industrial wastes for the cultivation of these species. This research aims to evaluate the influence of different proportions of sugarcane bagasse and banana leaf on productive and biodegradative parameters of *P. djamor* and *P. ostreatus* grown in solid state fermentation. The experiment was carried out under a CRD of 5 treatments and 8 repetitions, which were constituted in the proportions 0%, 25%, 50%, 75%, 100% of sugarcane bagasse complemented in percentage with banana leaves (% m/m), and supplemented with 10 g of wheat flour and 10 g of sawdust. The formulations were moistened at 68% (v/m), placed in 15 cm × 30 cm × 6 mm polypropylene bags and sterilized for one hour at 120° C and 103 kPa. The inoculation was performed with 40 g of inoculum of *P. djamor* (PDJ/R2 strain) and *P. ostreatus* (PO/A02 strain) per kilogram of sterilized substrate. Incubation was maintained under total darkness at $23.95 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of $94.24 \pm 3.85\%$, for 26 ± 6 days. For fruiting induction, 5 cm vertical cuts were made on the surface of the bags in the fruiting room, kept at a temperature of $23.85 \pm 1.56^{\circ}\text{C}$ and relative humidity of $91.20 \pm 3.68\%$. The productive period ended with 3 harvest flows. The productive variables were evaluated: mycelial growth (cm day^{-1}), precocity (days), biological efficiency (%), productive period (days), daily productive capacity (kg day^{-1}) and production rate ($\% \text{ day}^{-1}$), and biodegradable: loss of organic matter (%) and percentage variation in the composition of lignocellulosic material (%). The results were submitted to the Shapiro-Wilk and Bartlett tests at 5% significance level ($P \geq 0.05$) and analyzed by Tukey's test, with the exception of the cellulose percentage variation, and hemicellulose that were analyzed with the Kruskal-Wallis test, both tests at 5% significance ($P < 0.05$). The results indicate that the 25BG treatment provides better conditions for the development of *P. djamor*, providing greater mycelial growth in the substrate (0.27 cm day^{-1}), inducing its shorter precocity and stimulating in more than 50% the lignin biodegradation. The cultivation of *P. ostreatus* does not depend on the substrates under study, presents 95% of biological efficiency. *P. djamor* is related to the biodegradative aspects and *P. ostreatus* to the productive aspects when cultivated in sugarcane bagasse and banana leaves formulations. It is concluded that the cultivation of edible mushrooms of the genus *Pleurotus* is a viable and promising alternative for the reuse of lignocellulosic residues available in the region of Brejo Paraibano.

Keywords: sugarcane bagasse; banana leaves; *P. djamor*; *P. ostreatus*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Morfologia típica de um cogumelo do filo Basidiomycota.	16
Figura 2 — Cogumelos comestíveis mais cultivados comercialmente	19
Figura 3 — Morfologia de <i>P. djamor</i>	22
Figura 4 — Morfologia de <i>P. ostreatus</i>	24
Figura 5 — Obtenção e aplicações do substrato pós-cultivo de cogumelos.	28
Figura 6 — Preparação Spawn de <i>P. ostreatus</i> e <i>P. djamor</i>	31
Figura 7 — Etapa do preparo das formulações com os substratos lignocelulósicos para o cultivo de cogumelos..	33
Figura 8 — Colonização micelial do substrato	34
Figura 9 — Condições ambientais durante o ciclo produtivo de cogumelos.	35
Figura 10 — Processo de frutificação dos basidiomas de <i>P. djamor</i> e <i>P. ostreatus</i>	35
Figura 11 — Colheita e classificação de basidiomas	36
Figura 12 — Análise de Componentes Principais (PCA) das características produtivas e biodegradativas de <i>P. djamor</i> e <i>P. ostreatus</i> em função dos tratamentos..	47
Figura 13 — Crescimento micelial no substrato de <i>P. djamor</i>	48
Figura 14 — Crescimento micelial no substrato de <i>P. ostreatus</i>	49
Figura 15 — Precocidade de <i>P. djamor</i> e <i>P. ostreatus</i>	50
Figura 16 — Eficiência biológica de <i>P. djamor</i>	52
Figura 17 — Eficiência biológica de <i>P. ostreatus</i>	53
Figura 18 — Período produtivo de <i>P. djamor</i> e <i>P. ostreatus</i>	54
Figura 19 — Taxa de produção <i>P. djamor</i> e <i>P. ostreatus</i>	55
Figura 20 — Capacidade produtiva diária de <i>P. djamor</i> e <i>P. ostreatus</i>	56
Figura 21 — Perda de matéria orgânica de <i>P. djamor</i> e <i>P. ostreatus</i>	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Caracterização química dos materiais lignocelulósicos utilizados para a formulação dos substratos para o cultivo de cogumelos.	32
Tabela 2 — Formulação de cada tratamento.	37
Tabela 3 — Estimativa da composição química das formulações	37
Tabela 4 — Quadrados médios da análise de variância dos resultados de <i>P. djamor</i>	43
Tabela 5 — Quadrados médios da análise de variância dos resultados de <i>P. ostreatus</i>	44
Tabela 6 — Caracterização química do substrato pós-cultivo de cogumelos por tratamento (formulações de cultivo).....	45
Tabela 7 — Variação percentual (Δ) de componentes principais da composição química do substrato pós cultivo em relação aos tratamentos.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Procedimentos das análises químicas dos substratos lignocelulósicos, <i>in natura</i> e pós-cultivo de cogumelos.	38
Quadro 2 —Variáveis analisadas durante o cultivo de cogumelos.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 GERAL	15
2.2 ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 MACROFUNGOS	16
3.1.1 Biodiversidade ecológica	17
3.1.2 Importância socioambiental	18
3.1.3 Cogumelos comestíveis	18
3.1.4 Cogumelos do gênero <i>Pleurotus</i>	19
3.2 <i>Pleurotus djamor</i> (Rumph. ex Fr.) Boedijn	20
3.2.1 Origem e distribuição geográfica	20
3.2.3 Sinônimos	21
3.2.4 Nomes comuns	21
3.2.5 Morfologia	21
3.2.6 Propriedades	22
3.3 <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq)	23
3.3.1 Origem e distribuição geográfica	23
3.3.2 Taxonomia	23
3.3.3 Sinônimos	23
3.3.4 Nomes comuns	23
3.3.5 Propriedades	24
3.4 CULTIVO DE COGUMELOS COMESTÍVEIS	24
3.4.1 Etapas do cultivo de <i>Pleurotus spp.</i>	25
3.4.2 Substrato pós-cultivo de cogumelos	26
3.5 RECICLAGEM DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA O CULTIVO DE COGUMELOS	28
4 METODOLOGIA	30
4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	30
4.2 MATERIAL BIOLÓGICO	30
4.3 PREPARAÇÃO DE INÓCULOS	30
4.4 CULTIVO DE COGUMELOS	31

4.1.1	Preparo das formulações para o cultivo de cogumelos	31
4.1.2	Inoculação	33
4.1.3	Incubação	33
4.1.4	Indução-Frutificação	34
4.1.5	Colheita.....	36
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	36
4.3	ANÁLISES QUÍMICA DOS SUBSTRATOS	38
4.4	VARIÁVEIS ANALISADAS	40
4.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1	CARACTERIZAÇÃO PRODUTIVA	48
5.1.1	Crescimento micelial no substrato	48
5.1.2	Precocidade	49
5.1.3	Eficiência biológica.....	51
5.1.4	Período produtivo	53
5.1.5	Taxa de produção	55
5.1.6	Capacidade produtiva diária.....	56
5.2.	CAPACIDADE BIODEGRADATIVA.....	57
5.2.1	Perda de matéria orgânica.....	57
5.2.2	Variação percentual	58
6	CONCLUSÃO	62
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

Cogumelos comestíveis são definidos como os corpos de frutificação de macrofungos cuja ingestão é segura e adequada para o consumo humano (LI *et al.*, 2020). Estão distribuídos em florestas tropicais e subtropicais, mas também são cultivados artificialmente, com destaque para os gêneros *Agaricus*, *Letinula*, *Flaminula* e *Pleurotus* (NIEGO *et al.*, 2021). Nesse contexto, o cultivo de cogumelos comestíveis trata-se de um sistema de bioconversão ecológica que transforma resíduos lignocelulósicos em alimento proteico (ALBERTÓ, 2008). Esse processo ocorre por meio de fermentação em estado sólido (FES), na ausência ou com pouca água livre, possibilitada pela ação enzimática dos microrganismos resultantes da interação entre fungo e substrato (SALES-CAMPOS, 2008).

Das 50 espécies do gênero *Pleurotus* validadas taxonomicamente, 12 são cultivadas artificialmente, com destaque para *P. ostreatus* e *P. djamor*. Esses cogumelos são mais produzidos para fins comerciais e experimentais devido ao sistema de cultivo relativamente simples, rápido e de baixo custo, e por se desenvolverem em ampla faixa de temperatura, entre 24 e 30°C e de 20 e 34°C para *P. djamor* e *P. ostreatus*, respectivamente (BELLETINI *et al.*, 2019; SANCHEZ; ROYSE, 2017).

Conhecida como ‘Shimeji rosa’ ou ‘Cogumelo salmão’, *P. djamor* é uma espécie pantropical, caracterizada principalmente pela coloração que varia do rosa esbranquiçado ao rosa intenso (FRANCK, 2019; SHARMA, 2021; VEGA *et al.*, 2022). *P. ostreatus* designada como ‘Cogumelo ostra’, devido ao píleo em forma de ostra, é uma espécie cosmopolita que possui coloração variável do cinza claro ao marrom acinzentado (NARAIAN; SINGH, 2012; SEKAN *et al.*, 2019). Ambas as espécies são ricas em fibras, vitaminas, proteínas e aminoácidos; bem como dispõem de propriedades farmacológicas, como atividades antimicrobianas, antioxidantes, anti-inflamatórias e analgésicas. Além disso, possuem aplicação industrial, ambiental e biotecnológica (DEEPALAKSHMI; SANKARAN, 2014; PATEL; 2012; VELIOGLU; UREK, 2015).

Por serem organismos de podridão branca seletiva, as espécies do gênero *Pleurotus* se adaptam vários tipos de materiais lignocelulósicos, tais como bagaço de cana, borra de café, casca de arroz, sabugo de milho e folhas de bananeira (CARRASCO-CABRERA, 2019; VALÉRIO, 2021). Esses materiais geralmente são resíduos agrônômicos sem valor agregados e gerados em grande quantidade em resposta a expansão do setor agrícola e desenvolvimento

urbano, cujo o acúmulo é prejudicial ao meio ambiente. (ANDRADE, 2017). Entretanto, o cultivo de cogumelos comestíveis a partir desses materiais representa uma alternativa sustentável para reciclagem e diminuição de resíduos lignocelulósicos no meio ambiente, à medida em que se promove desenvolvimento socioeconômico local (ARAÚJO, 2014; VALÉRIO, 2021).

De acordo com Rabuske *et al.* (2018), seleção dos substratos para cultivo de cogumelos comestíveis deve levar em consideração a disponibilidade, custo e qualidade dos materiais lignocelulósicos. Na região do Brejo Paraibano, gera-se grandes quantidades de bagaço de cana e folhas de bananeira, em resposta extensa lavoura canavieira e a bananicultura, as quais são as principais atividades agrícolas da região (IBGE, 2021). Entretanto, a composição lignocelulósica desses materiais permite seu reaproveitamento como substrato de cultivo de espécies do gênero *Pleurotus*, que ao fim do ciclo produtivo retorna ao meio ambiente com um subproduto biodegradado, denominado substrato pós-cultivo de cogumelos, com diversas propriedades ambientais e biotecnológicas (CARVALHO, 2012; HANAFI *et al.*, 2018; GRIMM; WÖSTEN, 2018; VALADARES, 2013).

O uso de folhas de bananeira no substrato de cultivo de *P. ostreatus* promove maior crescimento micelial em comparação com palha de arroz, embora reduz a eficiência biológica (RAJAPAKSE *et al.*, 2007). Enquanto o uso de bagaço de cana fornece taxa de eficiência biológica de até 115% (Sales-Campos *et al.*, 2010). Entretanto, a mistura de diferentes substratos tende a ser mais benéfico em detrimento ao uso de substrato homogêneos, pois permite equilíbrio da composição química e nutricional das formulações de cultivo (MELANOURI *et al.*, 2020).

Portanto, é necessário padronizar formulações que propiciem melhores condições de desenvolvimento dos cogumelos, de modo que supra as demandas nutricionais deste, bem como elucidar a biologia das espécies cultivadas permite otimizar características produtivas desejadas (VIEIRA, 2016).

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Avaliar a influência de diferentes proporções de bagaço de cana e folha de bananeira sob parâmetros produtivos e capacidade biodegradativa de *P. djamor* e *P. ostreatus*.

2.2. ESPECÍFICOS

- a. Determinar qual substrato de cultivo promove melhores condições nutricionais para o desenvolvimento das espécies;
- b. Quantificar a capacidade de *P. ostreatus* e *P. djamor* em degradar substratos com diferentes composições lignocelulósicas;
- c. Demonstrar a viabilidade do uso dos principais resíduos lignocelulósicos gerados no Brejo Paraibano como substrato para o cultivo de *P. ostreatus* e *P. djamor*.

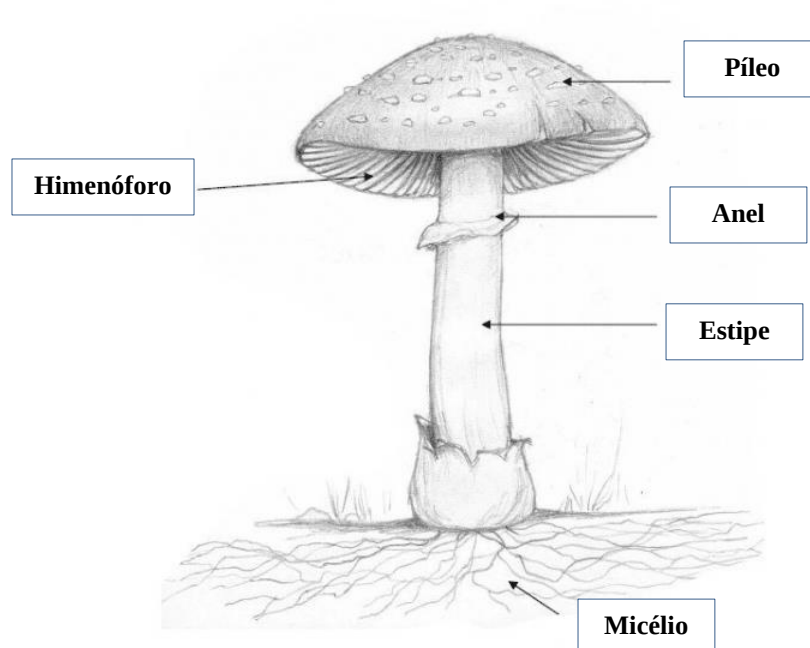
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. MACROFUNGOS

Macrofungos são organismos pertencentes Reino Fungí, atualmente considerado dentro da diversidade biológica da Funga (KUHAR *et al.*, 2018), que apresentam estruturas reprodutivas macroscópicas como ascomas e basidiomas, características dos filos Ascomycota e Basidiomycota, respectivamente. A estruturação somática é constituída por hifas, cujo conjunto é denominado micélio. São heterótrofos, de hábito saprófita, mutualista ou parasita (KUHAR, *et al.*, 2021; NIEGO *et al.*, 2023).

Os Basidiomicetos são divididos nas classes: *Teliomycetes*, fungos conhecidos como carvões e ferrugens; *Gasteromycetes*, fungos gasteróides que necessitam de ação mecânica para liberação de basidiósporos; e *Agaricomycetes*, os macrofungos conhecidos como cogumelos, cujo basidiósporos são formados no himênio. Os cogumelos estão estruturados em corpos de frutificação ou basidiocarpo (cogumelo propriamente dito) e o micélio, o qual desenvolve-se no interior do substrato (Figura 1). São classificados em: cogumelos comestíveis, medicinais, venenosos e cogumelos cujas propriedades ainda não foram bem elucidadas (BERBARA, 2020; EL SHEIKHA; HU, 2018).

Figura 1 — Morfologia típica de um cogumelo do filo Basidiomycota.



Fonte: Adaptado de Lunardi (2019).

3.1.1. Biodiversidade ecológica

Os macrofungos representam cerca de 10% da diversidade do Reino Fungi (MUELLER *et al.*, 2007). Dentro da biodiversidade dos basidiomicetos, existem cerca de 14.000 espécies de cogumelos identificados, sendo 3.000 comestíveis e 2.000 medicinais (EL SHEIKHA; HU, 2018).

Em relação ao hábito são classificados em: saprófitos, decompositores de matéria orgânica; mutualista, que formam associações simbióticas com raízes de plantas; e parasitas, quando obtêm nutrientes através de outros organismos (PARREIRA, 2020). A maioria dos basidiomicetos são saprófitos, distribuídos em diferentes biomas e decompondo vários substratos, como folhas, trocos e galhos. Esses organismos possuem diversas enzimas que atuam na degradação desses materiais lignocelulósicos. Dessa forma, a decomposição causada por esses indivíduos pode levar a diferentes tipos de podridão, sendo estes: podridão branca, podridão marrom e podridão mole (BERBARA, 2020; PERALTA *et al.*, 2017).

Os fungos relativamente mais eficientes no processo de decomposição são os de podridão branca, pois degradam a lignina junto dos demais constituintes da parede celular; enquanto os organismos de podridão marrom ou parda degradam a celulose e hemicelulose, deixando a lignina praticamente intacta; e, os fungos de podridão mole provocam um amolecimento na madeira sem degradar a lignina (MATA; SALMONES; SAVOIE, 2017; PERALTA, 2017).

Macrofungos de podridão branca, como *Pleurotus ostreatus* e *Trametes versicolor*, liberam diversas enzimas, como Lacase (E.C. 1.10.3.2), que funcionam como agentes de biodegradação para quebrar matérias lignocelulósicos em moléculas mais simples e, ao fim do processo degradativo, provocam um aspecto esbranquiçado, esponjoso e fibroso no substrato decomposto. Devido à degradação provocada em diferentes taxas de lignina, celulose e hemicelulose, esses organismos são classificados em podridão branca seletiva, ou seja, degradam preferencialmente a lignina; e podridão branca simultânea, com decomposição dos constituintes da parede celular ao mesmo tempo e proporção (MATA; SALMONES; SAVOIE, 2017). Assim, devido essa natureza enzimática permite a adaptação desses organismos a diferentes tipos de substratos ricos em lignocelulose (BERBARA, 2020; SURYADI *et al.*, 2022).

3.1.2. Importância socioambiental

Desempenham papel fundamental na dinâmica ecossistêmica, contribuindo para serviços florestais, atuando no sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes, e decomposição da matéria orgânica (NIEGO *et al.*, 2023). Bem como através da micorremediação, são empregados na remoção ou diminuição de contaminantes do solo e da água, contribuindo para mitigar problemas ambientais (STAMETS, 2005).

Desde a antiguidade, devido as diversas propriedades farmacológicas, os fungos são usados no combate a diversas doenças, como diabetes e câncer (PATEL; NARAIAN; SINGH, 2012). Possuem grande potencial biotecnológico para desenvolvimento de produtos e promoção de serviços, como na nanotecnologia, indústria cosmética e papelaria. Além disso, cogumelos comestíveis são alimentos nutracêuticos, cuja comercialização promove crescimento econômico, assim como a reciclagem de resíduos agrícolas, agroindustriais e urbanos, sendo tido como um mercado promissor na economia global dos países em vias de desenvolvimento (CARRASCO-CABREBRA *et al.*, 2019; BOIAGO, 2020; DE MOURA; OKURA, 2022; ZARATÉ-SALAZAR *et al.*, 2020).

3.1.3. Cogumelos comestíveis

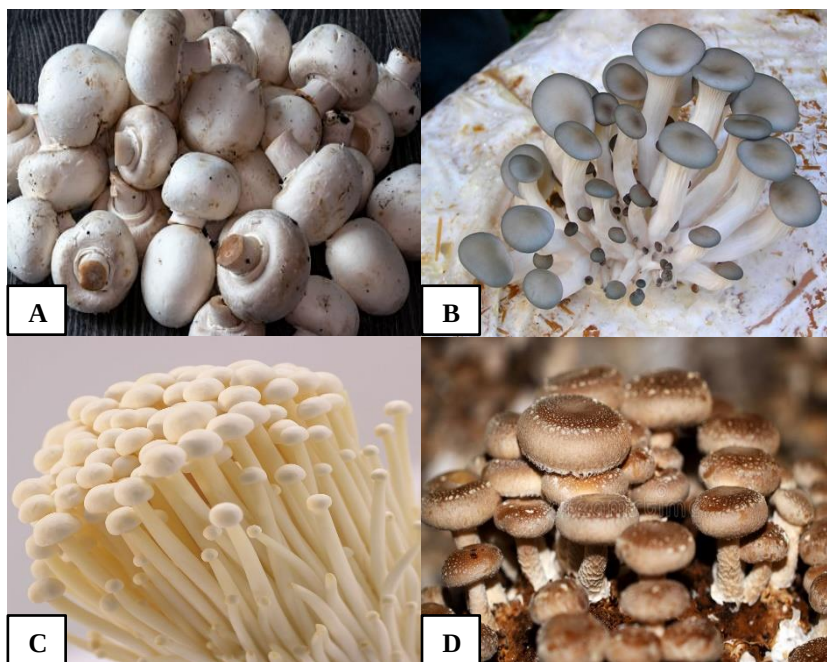
Cogumelos comestíveis são macrofungos cuja ingestão é segura e adequada para o consumo humano. Sabe-se que os primeiros registros da inserção de cogumelos na alimentação foram há 18 mil anos na Espanha, entre 5 e 6 mil anos na China, e 4 mil anos no Egito (LI *et al.*, 2020).

Esses macrofungos possuem alto valor nutricional pois são ricos em fibras, proteínas e aminoácidos essenciais. Apresentam compostos bioativos e fenólicos, vitaminas, propriedades antioxidantes e antibacterianas (PÈREZ-MONTES *et al.*, 2021). Devido a essa rica composição nutricional, propriedades nutracêuticas e características sensoriais, o consumo de cogumelos comestíveis tem sido impulsionado nos últimos anos (SCANZERLA; TODOROV; SILVA, 2020). Como por exemplo, o consumo *per capita* de cogumelos comestíveis no Brasil quintuplicou nos últimos 20 anos, passando de 50 a 288 gramas por ano (CAPRA; TONIN, 2019).

Cogumelos comestíveis crescem em florestas tropicais e subtropicais, mas podem ser cultivados artificialmente, com exceção das trufas. Embora existam cerca de 3.000 espécies identificados um pequeno número é cultivado comercialmente e apenas 25 está inserida na

alimentação humana (EL SHEIKHA; HU, 2018). Dentre as espécies majoritariamente cultivadas (Figura 2) destacam-se: ‘Champignon de Paris’ (*Agaricus bisporus*), ‘Cogumelo ostra’ (*Pleurotus ostreatus*), ‘Enoki’ (*Flammulina velutipes*) e ‘Shiitake’ (*Lentinula edodes*) (NIEGO *et al.*, 2021).

Figura 2 — Cogumelos comestíveis mais cultivados comercialmente, A) Champignon de Paris; B) Cogumelo ostra; C) Enoki; D) Shiitake.



Fonte: Google Imagens.

3.1.4. Cogumelos do gênero *Pleurotus*

O gênero *Pleurotus*, pertencente ao filo Basidiomycota, inclui 50 espécies validadas taxonomicamente. A denominação do gênero faz referência ao crescimento lateral das espécies em relação ao substrato, *Pleurotus* (*pleurē*, em grego) significa lateral (VIERA, 2016). Essas espécies são diferenciadas a nível morfológico por tamanho, cor e forma do himenóforo. São organismos cosmopolitas, distribuídos em florestas tropicais, subtropicais e semiáridas (MATA; SALMONES; SAVOIE, 2017).

São classificadas como fungos de podridão branca seletiva, característica que permite a sua adaptação a vários tipos de substratos lignocelulósicos, compostos de lignina, celulose, amido, pectina e proteínas, como diversos resíduos agroindustriais, degradando inicialmente a lignina (ANDRADE, 2017; MATA; SALMONES; SAVOIE, 2017).

Nesse contexto, enzimas do grupo oxidativas como a Lacasse (EC. 1.10.3.2), Peroxidase versátil (EC 1.11.1.16) e Peroxidase dependente de manganês (EC 1.11.1.13), são produzidas para o processo de biodegradação da lignina durante a fase da colonização do substrato. Além disso, conferem defesa contra outros organismos. No grupo das enzimas hidrolases, produzidas na fase de frutificação, destacam-se: as Celulases (E.C. 3.2.1.4), que degradam celulose e glicose; e Xilanases (E.C. 3.2.1.8), que degradam a hemicelulose. Devido à produção dessas e outras enzimas, as espécies de *Pleurotus* possuem uso biotecnológico potencial e para biodegradação de resíduos e organopoluentes (SEKAN *et al.*, 2019).

Ademais, as características bioquímicas dos cogumelos do gênero *Pleurotus* permitem seu cultivo a partir do reaproveitamento de resíduos agroindustriais, tais como folha de bananeira, fibra de coco, bagaço de cana e borra de café. Além disso, destacam-se pela tecnologia envolvida no processo ser relativamente simples, fácil, de baixo custo e de alto potencial de rendimento; bem como podem ser cultivados em sacos de polipropileno, garrafas PET e baldes (VALÉRIO, 2021). Doze espécies do gênero são cultivadas comercialmente com destaque para *P. ostreatus*, *P. djamor*, *P. pulmonarius* e *P. eryngii* (MATA; SALMONES; SAVOIE, 2017).

O consumo desses cogumelos deve-se ao seu perfil nutricional e características sensoriais. São ricos em proteínas, minerais, vitaminas, carboidratos e baixo teor de fibras. Possuem propriedades medicinais anticancerígenas, anti-hiperlipidêmicas, anti-hipertensivas, antidiabéticas, hepatoprotetoras antioxidantes, antimicrobianas e antialérgicas (CORRÊA *et al.*, 2016; KHAN; TÂNIA, 2012).

3.2. *Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn

3.2.1. Origem e distribuição geográfica

Originária de florestas tropicais, *P. djamor* é uma espécie pantropical, considerada como uma das mais importantes e abundantes do gênero *Pleurotus*, desenvolve-se em diversos tipos de madeira em decomposição de florestas da África, Ásia, América e Austrália (VEGA *et al.*, 2006). Nas Américas se distribui em florestas do Brasil, México, Argentina, Cuba e entre outros países (SALMONES, 2017).

No Brasil, a espécie tem registro de ocorrência nos domínios fitogeográficos de Mata Atlântica e Amazônia, principalmente na região Norte (Amazônia, Amapá, Pará e Rondônia),

Sul (Pará e Rio Grande do Sul), Sudeste (Rio de Janeiro e São Paulo) e Nordeste (Paraíba e Pernambuco) (FLORA DO BRASIL, 2023).

3.2.2. Taxonomia

Pleurotus djamor foi inicialmente descrita em 1750 como *Boletus secunds arboreus* por Rumph. Em 1821, foi classificada como *Agaricus djamor* e transferida para o gênero *Lentinus*, por Fries em 1836 e, finalmente, agrupadas no gênero *Pleurotus* em 1959 por Boedijn (PETERSEN, 2000).

De acordo com Cardona-Pérez (2021), a espécie apresenta a seguinte classificação taxonômica: Reino: Fungi; Divisão: *Basidiomycota*, Classe: *Agaricomycetes*; Ordem: *Agaricales*; Família: *Pleurotaceae*; Gênero: *Pleurotus*; Espécie: *Pleurotus djamor*.

3.2.3. Sinônimos

De acordo com Menoli; Breternitz, e Capelari (2014), são sinônimos de *P. djamor*: *P. flabellatus*, *P. ostreatoroseus*, *P. salmoneostramineus*, *P. eous*. Dentre as variedades temos: *P. djamor* (Fr.) Boedijn var. *djamor*, *P. djamor* var. *cyathiformis* Corner, *P. djamor* var. *roseus* Corner, *P. djamor* var. *salmoneostramineus* (L. Vass) (SALMONES, 2017).

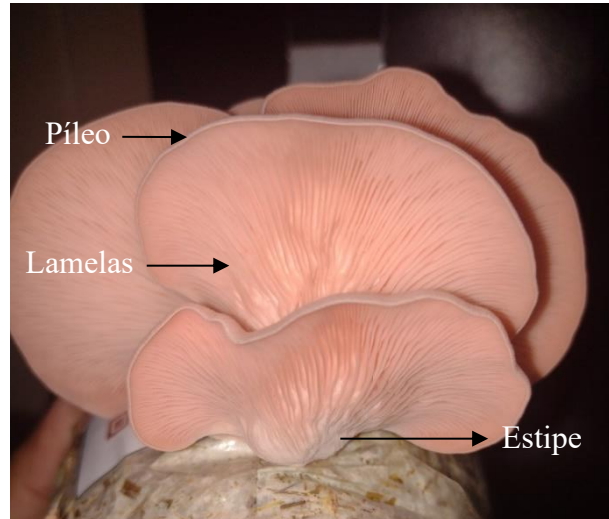
3.2.4. Nomes comuns

A espécie *P. djamor* é conhecida como ‘Cogumelo ostra rosa’ (DE OLIVEIR; NAOZUKA, 2019), ‘Cogumelo roseus’, ‘Cogumelo rosa’ ou ‘Cogumelo rosa salmão’ (JEGADEESH, RAMAN *et al.*, 2018), ‘Shimeji salmão’ (OLIVEIRA, 2022), ‘Cogumelo ostra rosa flamingo’ e ‘Cogumelo morango’ (MAFTOUN, 2015).

3.2.5. Morfologia

A coloração do corpo de frutificação varia de acordo com características genéticas das cepas e condições ambientais durante o seu ciclo de vida. Apresenta píleo convexo, liso, de 5 a 15 cm de diâmetro que se torna quase plano quando maduro, essa estrutura forma-se como uma expansão lateral do estipe e possui diversas cores que vão desde o esbranquiçado ao rosa intenso (Figura 3). Possui lamelas decorrentes, esbranquiçadas, lisas e de margem inteira. Tem estipe curto, excêntrico, quase lateral, com comprimento variável de 3 a 7 mm, em tonalidades rosa. (FRANCK, 2019; SALMONES, 2017; MODESTA, 2021).

Figura 3 — Morfologia de *P. djamor* cultivado sob condições ambientais controladas.



Fonte: Silva, S.A (2023).

3.2.6. Propriedades

De acordo com Vega *et al.* (2022), a composição nutricional de *Pleurotus djamor* reportada é variante. No entanto, em matéria seca os teores de proteínas oscilam de 11,3% a 43,3%, carboidratos totais entre 35,5% e 42,2 %, gorduras entre 0,1% e 4,6%, fibra bruta entre 7,3% e 12,2% e cinzas de 6,2% e 8,3%. Além disso, a espécie possui vitaminas do complexo B1, B2 e D, é rica em potássio, magnésio, cálcio, sódio, zinco e ferro.

A nível farmacológico possui propriedades antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatórias, analgésica, antitumoral, antiparasitária, antidiabética, antilipidêmica e propriedades hepatoprotetoras. (ACHARYA; KHATUA; RAY, 2017; SALMONES, 2017). Possuem aplicação na indústria têxtil, nanotecnologia, remediação de resíduos industriais e metais pesados, e produção de biossurfactantes (SHARMA, 2021; VELIOGLU; UREK, 2015; MARTÍNEZ-FLORES; CONTRERAS-CHÁVEZ; GARNICA-ROMO, 2020).

3.3. *Pleurotus ostreatus* (Jacq.)

3.3.1. Origem e distribuição geográfica

Originário do leste Asiático, *Pleurotus ostreatus* é uma espécie cosmopolita. Esses organismos crescem em diversas condições climáticas, sendo encontrados em florestas temperadas e de condições métricas a semiáridas (LI *et al.*, 2020). No Brasil, distribui-se nos Estados do Norte, Nordeste e Sudeste (SALES-CAMPOS; ALMEIDA; ANDRADE, 2010; MANCILHA, 2006; MENOLI *et al.*, 2014),

3.3.2. Taxonomia

A espécie foi descrita inicialmente por Joseph Freiherr von Jacquim como *Agaricus ostreatus*, no entanto, em 1871 foi transferida para o gênero *Pleurotus* pelo micologista alemão Paul Kummer (VIERA, 2016).

De acordo com Doroški *et al* (2022), a nível taxonômico a espécie possui a seguinte classificação: Reino: Fungi; Divisão: Basidiomycota; Classe: *Agaricomycetes*; Ordem: *Agaricales*; Família: *Pleurotaceae*; Gênero: *Pleurotus*; Espécie: *Pleurotus ostreatus* (Jacq).

3.3.3. Sinônimos

Conhece-se como sinônimos a *P. ostreatus subsp. Opuntiae* (Lév.); *P. ostreatus var. sativus* (Jacq.: Fr.) Quél.; *P. ostreatus f. euosmus* (Berk.); *P. ostreatus var. pulmonarius* (Fr.) (ZÁRATE-SALAZAR, 2015).

3.3.4. Nomes comuns

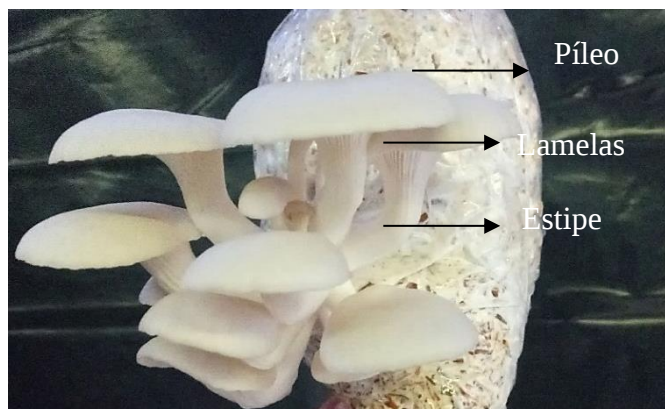
Pleurotus ostreatus é conhecido como: ‘Cogumelo ostra’, ‘Cogumelo ostra branco’, ‘Cogumelo ostra cinza’, ‘Hiratake’, ‘Shimeji-branco’ e ‘Shimeji-preto’ (DE OLIVEIRA; NAOZUKA, 2019; MIHAI *et al.*, 2022; SEKAN *et al.*, 2019; SANCHEZ, 2010; MONTEIRO, 2022; REIS, 2019).

3.3.1. Morfologia

Apresenta píleo de 5 e 35 cm de diâmetro em forma de leque ou ostra (por isso denominado popularmente como cogumelo ostra), a coloração varia de branco a cinza ou de castanho a marrom (Figura 4). Possui estipe decentralizada que se fixa lateralmente ao

substrato. Tem margens onduladas e lisas quando jovem (DEEPALAKSHMI; SANKARAN, 2014).

Figura 4 — Morfologia de *P. ostreatus* cultivado sob condições ambientais controladas.



Fonte: Silva, S.A (2023).

3.3.5. Propriedades

Apresenta baixo teor de gordura, rico em fibras, proteínas, minerais, carboidratos e vitaminas. Dispõem propriedades antibacterianas, antioxidantes, antivirais, anticâncer e antitumorais (DEEPALAKSHMI; SANKARAN, 2014).

Além disso, *P. ostreatus* apresenta diversas potencialidades, tais como: bioconversão de resíduos, aplicabilidades na micorremediação da água e solos, degradação de corantes industriais, biodegradação de organopoluentes e extração de enzimas com vários potenciais biotecnológicos (PATEL; NARAIAN; SINGH, 2012; SEKAN *et al.*, 2019).

3.4. CULTIVO DE COGUMELOS COMESTÍVEIS

O cultivo de cogumelos comestíveis é um sistema de bioconversão ecológica que transforma resíduos agrônômicos, aparentemente sem valor agregado, em alimento nutritivo (ALBERTÓ, 2008). Dessa forma, essa atividade constitui como uma alternativa sustentável e eficiente em reduzir o acúmulo de materiais lignocelulósicos agrícolas e urbanos no meio ambiente, como bagaço de cana, borra de café, folhas de bananeiras, entre outros, empregando-os como substrato para o cultivo de cogumelos comestíveis, que, ao final do ciclo da cadeia produtiva, retorna ao meio ambiente como um subproduto biodegradado com diversas

propriedades que permitem o seu uso biotecnológico, industrial e ambiental (VALÉRIO, 2021; GRIMM; WÖSTEN, 2018).

A bioconversão que ocorre durante o cultivo de cogumelos comestíveis, se dá pelo processo de fermentação em estado sólido (FES) possibilitada pela ação enzimática dos microrganismos resultantes da interação entre fungo e substrato (SALES-CAMPOS, 2008). Esse processo ocorre sem ou com pouca água livre, onde os microrganismos se desenvolvem no interior de materiais sólidos, simulando o ambiente de ocorrência natural de fungos (FONSECA, 2013). Assim, o cultivo de cogumelos através da fermentação em estado sólido, permite a extração de diversas enzimas com aplicações industriais e biotecnológicas, como Lacases (E.C 1.10.3.2) e Celulases (E.C. 3.2.1.4.), usadas na indústria de papel e da nanotecnologia, respectivamente; bem como constitui uma biotecnologia adequada na reciclagem de resíduos lignocelulósicos e urbanos (SILVA, 2016; SADH; DUHAN; DUHAN, 2018; MONTEIRO, 2022).

Além dos benéficos nutricionais, ambientais, avanços biotecnológicos e otimização de processos industriais; O cultivo de cogumelos comestíveis tem grande relevância na esfera econômica. uma vez que este mercado vem crescendo gradativamente ao longo dos anos, sendo considerada uma atividade econômica importante, com destaque para produção mundial das espécies dos gêneros *Letinula* (22%), *Pleurotus* (19%), *Auricularia* (17%), *Agaricus* (15%) e *Flamulina* (11%) (BOIAGO, 2020; SHEIKHA; HU, 2018).

Em 2020, o mercado de cogumelos comestíveis foi estimado em 46,1 bilhões de dólares, sendo um mercado promissor no setor agroindustrial global, liderado pela China, responsável por 87% da produção mundial (SGANZERLA, TODOROV; SILVA, 2022). No Brasil, a produção comercial ainda é pequena quando comparada com contexto mundial, sendo concentrada, principalmente, nos estados do Sul e Sudeste. As principais dificuldades para expansão desse mercado são devido ao alto custo de produção (RODRIGUES; OKURA, 2022). No entanto, a oferta de mercado não é suficiente para suprir a demanda (CAPRA; TONIN, 2019).

3.4.1. Etapas do cultivo de *Pleurotus spp.*

Em relação ao uso de substratos para o cultivo das espécies de *Pleurotus* são empregados diversos tipos de materiais lignocelulósicos como palhas, folhas de bananeira, bagaço de cana, borra de café, sabugo de milho e entre outros (FIGUEIRÓ; GRACIOLLI, 2011, CARRASCO-

CABRERA, 2019; VIEGA *et al.*, 2022). A exigências da relação carbono e nitrogênio (C/N) desses materiais pelos fungos desse gênero pode variar de 30-300:1. A umidade do substrato deve estar na faixa de 60 a 75% e deve ser esterilizado em autoclave, água alcalina, pasteurização e entre outras técnicas (ESTRADA; PECHIA, 2017; URBEM, 2017).

De acordo com Estrada e Pecchia (2017), a cadeia produtiva de cogumelos comestíveis se divide em duas etapas: *in vitro* e produtiva. A fase *in vitro* consiste na propagação em meio nutritivo, como ágar batata dextrose, do micélio em placa de Petri. Ao colonizar completamente, o micélio é propagado em grãos como milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*). O micélio crescido em grãos é denominado inóculo ou Spawn.

A etapa produtiva se inicia com a inoculação, ou seja, quando ocorre a mistura do Spawn com o substrato esterilizado. Em seguida, o substrato é ensacado em sacos de polipropileno e incubado por, aproximadamente, duas semanas sob escuridão total a uma umidade relativa do ambiente de 60 a 75% e temperatura de 15-35°C para *P. djamor* e de 5-35°C para *P. ostreatus*. Nessa etapa, para ambas as espécies, a concentração de CO₂ deve variar entre 2000 e 2500 mg L⁻¹. Ao fim da colonização micelial no substrato, é feita a indução da formação e saída dos primórdios dos cogumelos através da modificação das condições ambientais por meio de cortes verticais de 3 a 5 cm na superfície dos sacos de cultivo. Dessa forma, a concentração de CO₂ é reduzida, promovendo a troca gasosa. Em seguida, inicia-se a etapa de frutificação, ou seja, aparecimento de primórdios com consequente desenvolvimento dos basidiomas, fase esta onde deve haver iluminação de 200 - 640 luxes (o suficiente para ler em escuridão) por um período de 8 a 12 horas com umidade relativa do ambiente entre 85 a 97%. A temperatura ideal para desenvolvimento dos corpos de frutificação de *P. djamor* varia de 24-30°C, e para *P. ostreatus* de 20-34°C. Por fim, é realizada a colheita quando o píleo está estendido e apresenta margens enroladas (ESTRADA; PECHIA, 2017; BELLETINI *et al.*, 2019; URBEM; 2017).

3.4.2. Substrato pós-cultivo de cogumelos

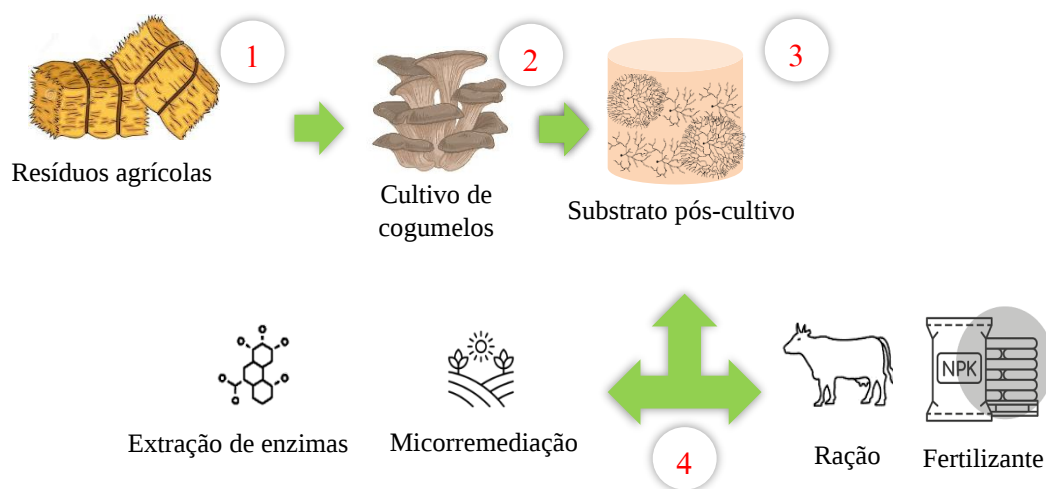
O subproduto biodegradado que é descartado após o período produtivo do cultivo de cogumelos é conhecido como substrato pós-cultivo de cogumelos, substrato exaurido de cogumelos ou; substrato gasto de cogumelos que deriva as siglas no inglês de SMS, *Spent Mushroom Substrate* (PÉREZ-CHÁVES *et al.*, 2019; PATHAK *et al.*, 2021). Sabe-se que por cada quilo de cogumelo produzido é gerado até 5kg desse subproduto (RINKER, 2017). Dessa

forma, considerando a expansão global na produção de cogumelos comestíveis, estima-se que até 2026 sejam geradas 104 milhões de toneladas de SMS (ATALLAH *et al.*, 2021). O descarte correto desse material representa um desafio para indústria de cogumelos, pois tem seu potencial subexplorado ou, quando não há emprego, é incinerado, disposto em aterros ou enterrado. Por isso, é necessário soluções alternativas que permitam reutilizar esse material (PHAN; SABARATNAM, 2012; CÔRREA *et al.*, 2016; RINKER, 2017).

O substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) é composto micélios, metabólitos, enzimas e substâncias bioativas, bem como é rico em vitaminas celulose e lignina. Possui teores relativamente altos de nitrogênio, potássio, micronutrientes e matéria orgânica (ZHANG *et al.*, 2021; ZIEL *et al.*, 2020; HANAFI *et al.*, 2018). Entretanto, composição do SMS varia de acordo com espécie do cogumelo cultivado, substratos e formulações utilizadas para o cultivo (LEONG, 2022).

O SMS tem aplicação a nível biotecnológico, industrial e ambiental através de técnicas da micorremediação (Figura 5). Portanto, pode ser usado como biofertilizantes (SINGH *et al.*, 2018), condicionador químico do solo (ZÁRATE-SALAZAR, 2022), útil no tratamento de águas contaminadas (SILVA *et al.*, 2023), produção de energia renovável e biocombustíveis (LUO *et al.*, 2018), ração animal (CHUANG *et al.*, 2020), confecção de biomateriais, e entre outras aplicações (HANAFI *et al.*, 2018; RINKER, 2017). Dessa forma, diante da viabilidade ambiental e econômica de reciclar SMS para diversas finalidades ou utilizá-lo para novo ciclo de cultivo, a cadeia produtiva de cogumelos insere-se em um modelo de economia circular (LEONG *et al.*, 2022) que o torna em um recurso renovável, promissor e ativo da indústria de cogumelos comestíveis (PANDEY, 2022).

Figura 5 — Processo de cultivo de cogumelos a partir de resíduos agrícolas (1 e 2), geração e possíveis aplicações do substrato pós-cultivo de cogumelos (3 e 4).



Fonte: Adaptado de Hanafi *et al.* (2018).

3.5. RECICLAGEM DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS PARA O CULTIVO DE COGUMELOS

Anualmente são geradas grandes quantidades de resíduos orgânicos oriundos das atividades agrícolas e industriais. Na bananicultura, por exemplo, gera-se quatro toneladas de resíduos lignocelulósicos por tonelada de fruta colhida, dos quais 480 quilogramas gramas são folhas (FERNANDES, 2013); enquanto a lavoura canavieira produz 12 milhões de tonelada de bagaço por tonelada de cana moída (COSTA; BOCCHI, 2012).

A disposição desses materiais caracteriza-se como meio de proliferação de vetores e liberação de gases tóxicos decorrentes do processo de decomposição, acarretando custos ambientais e econômicos (PEREIRA; ANJOS; MAGNAGO, 2019). Entretanto, a composição lignocelulósica desses resíduos permite utilizá-los com potencial substrato para o cultivo de cogumelos comestíveis, provendo a sua diminuição de resíduos no meio ambiente, otimizando a produção agrícola e contribuindo de forma positiva para ao desenvolvimento sustentável, econômico e social (ARAÚJO, 2014).

No contexto do Brejo paraibano, por exemplo, na cidade de Areia, as principais atividades econômicas são o cultivo de cana-de açúcar e de banana com produções de 33.000 e 11.400 toneladas, respectivamente (IBGE, 2021). Assim, frente à grande quantidade de resíduos lignocelulósicos gerados, aliada a composição química dos substratos, o cultivo de

cogumelos comestíveis do gênero *Pleurotus* torna-se uma alternativa viável para diminuir a quantidade desses materiais no meio ambiente de forma sustentável e econômica.

Diante disso, faz-se necessário padronizar formulações de substratos que propiciem as melhores condições de desenvolvimento dos cogumelos, de modo que supra as demandas nutricionais do macrofungo a ser cultivado, bem como elucidar a biologia desse organismo a fim de otimizar as características produtivas desejadas (VIEIRA, 2016).

4. METODOLOGIA

4.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no Módulo de Produção do Grupo de Pesquisa & Produção de Cogumelos Comestíveis (GPEC), pertencente ao Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER) do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, lotado na cidade de Areia, sob coordenadas geográficas 6°58'22.80" de Latitude Sul e 35°42'52.26" de Longitude Oeste e altitude de 618 m.

4.2. MATERIAL BIOLÓGICO

O cultivo de *Pleurotus djamor* (Fr.) foi realizado partir da cepa ¹PDJ/R2-UFPB, originária da cidade Areia a qual está em processo de caracterização produtiva e taxonômica. Para o cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) foi utilizada a cepa da linhagem PO/A02, oriunda da *Universidad Nacional Agraria La Molina* - Peru, caracterizada produtivamente por Zárate-Salazar *et al.* (2020). Ambos os materiais biológicos foram preservados, propagados e cedidos pelo GPEC.

4.3. PREPARAÇÃO DE INÓCULOS

A elaboração do Spawn foi realizada de acordo com a metodologia de Estrada e Pecchia (2017) e Zárate-Salazar *et al.* (2020) com algumas adaptações. Assim, foram utilizados grãos de alpiste, os quais foram cozidos por cerca de 25 minutos, até a maciez do grão sem exposição do amido. Após esfriarem sobre papel, em temperatura ambiente, foram adicionados 3 g de calcário (CaCO₃) e 13 g de gesso agrícola (CaSO₄) por quilograma de grão cozido. A mistura foi ensacada em sacos de polipropileno, vedados com algodão, amarrados com elásticos e esterilizados em autoclave a 120 °C e 103 kPa por 30 minutos. Por fim, em câmara de fluxo laminar, realizou-se a inoculação dos grãos esterilizados através da transferência de 1 cm² do micélio de *P. ostreatus* e *P. djamor* cultivado em Batata-Dextrose-Ágar (BDA) contidos em placa de Petri. Os grãos inoculados foram incubados no módulo de Produção do GPEC, a uma temperatura de 23,95 ± 0,21 °C e umidade relativa 94,24 ± 3,85%, sob escuridão total, até completa colonização durante, aproximadamente, duas semanas (Figura 6).

¹ A cepa foi encontrada, coletada e propagada pelos membros do GPEC, Rafael Zárate e Robson Monteiro, em 2021 no Campus II do CCA, UFPB, Areia-PB.

Figura 6 – Preparação de inóculos ou Spawn de *P. ostreatus* e *P. djamor*.



Fonte: Silva, S. A. (2023).

Após a finalização da preparação do Spawn, foi realizada a elaboração do inóculo secundário, através da transferência desse material para grãos de alpiste (preparados seguindo os mesmos procedimentos descritos para elaboração do inóculo primário), a uma relação 10:1, a fim de aumentar a quantidade de inóculo disponível.

4.4. CULTIVO DE COGUMELOS

O cultivo de cogumelos seguiu a metodologia de Estrada e Pecchia (2017), com algumas adaptações, englobando as etapas de preparo de formulações dos substratos, inoculação, incubação, indução-frutificação e colheita.

4.1.1. Preparo das formulações para o cultivo de cogumelos

Os substratos lignocelulósicos utilizados para as formulações de cultivo foram: folhas de bananeira (coletadas na Zona Rural do Município de Areia), bagaço de cana-de-açúcar (coletado em engenhos da região), farinha de trigo (adquirido em comércio) e serragem de eucalipto (adquirido em marcenaria local) totalizando 120 g em massa seca. Dessa massa seca total, 100 g corresponderam à mistura das folhas de bananeira e bagaço de cana, 10 g de farinha e 10 g serragem. Antes da formulação todos os substratos foram secos, triturados em moinho, peneirados em malha de 2,79 mm e analisados quimicamente (Tabela 1).

Tabela 1 — Caracterização química dos materiais lignocelulósicos utilizados para a formulação dos substratos para o cultivo de cogumelos.

Parâmetro químico/ Substrato	Bagaço de cana	Folhas de bananeira	Farinha de trigo	Serragem
CO (mg g ⁻¹)	396,32 ± 15,13	429,11 ± 18,76	393,72 ± 16,34	443,41 ± 9,91
N (mg g ⁻¹)	1,37 ± 0,07	2,55 ± 0,06	6,61 ± 0,02	2,09 ± 0,16
C/N	291,23 ± 23,86	168,55 ± 10,95	59,52 ± 2,34	214,86 ± 18,87
MO (%)	99,46 ± 0,06	95,65 ± 0,22	98,32 ± 0,17	96,13 ± 0,80
CZ (%)	0,54 ± 0,06	4,35 ± 0,22	1,68 ± 0,17	3,87 ± 0,80
P (mg g ⁻¹)	3,74 ± 0,29	7,49 ± 0,44	10,46 ± 0,69	3,17 ± 0,60
K (mg g ⁻¹)	0,78 ± 0,02	0,93 ± 0,03	0,73 ± 0,01	0,79 ± 0,05
Na (mg g ⁻¹)	2,31 ± 0,26	2,92 ± 0,04	1,34 ± 0,07	0,77 ± 0,01
Lig (mg g ⁻¹)	81,37 ± 2,66	125,52 ± 4,54	212,12 ± 7,18	221,58 ± 7,13
Hem (mg g ⁻¹)	521,09 ± 9,70	485,32 ± 0,06	219,51 ± 7,18	609,99 ± 3,62
Cel (mg g ⁻¹)	298,77 ± 25,30	262,58 ± 2,31	17,88 ± 0,28	128,97 ± 4,66
Uh	87,56 ± 0,21	88,00 ± 0,20	96,91 ± 0,36	87,2 ± 0,25
ρ (g cm ⁻³)	0,22 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,51 ± 0,04	0,25 ± 0,00
pH (20:1 m/v)	6,40 ± 0,03	7,02 ± 0,01	6,87 ± 0,08	6,21 ± 0,02
CE (dS m ⁻¹)	0,65 ± 0,01	0,85 ± 0,03	0,33 ± 0,01	0,28 ± 0,01

CO = teor de carbono orgânico; N = teor de nitrogênio; C/N = relação de carbono e nitrogênio; MO = teor de matéria orgânica; Cz = teor de cinzas; P = teor de fósforo; K = teor de potássio; Na = teor de sódio; Lig = teor de lignina; Hem = teor de hemicelulose, determinado pela diferença do teor da fibra detergente neutro e ácido; Cel = teor de celulose, determinada pela diferença da fibra detergente ácida e o teor de lignina; ; Uh = umidade higroscópica; ρ = densidade; pH = potencial hidrogeniônico, relação substrato e água de 20:1 m/v; CE = condutividade elétrica, relação substrato e água 20:1 m/v. Média ± SD, n = 3.

Fonte: Silva, S. A. (2023).

As formulações foram constituídas da mistura dos substratos em cinco proporções percentuais (% m/m) crescentes de bagaço de cana (0%, 25%, 50%, 75% e 100%) complementadas ao 100% com folhas de bananeiras, logo as misturas foram suplementadas com farinha de trigo e serragem, ambas a 10% da massa seca, respectivamente. As misturas dos substratos e suplementos foram umedecidas a 68% (v/m) com água destilada e ensacadas em sacos de polipropileno de 15 cm × 30 cm × 6 mm. No interior dos sacos foram adicionados copos de vidro de 100 mL, depois os sacos foram vedados com algodão e atados com elásticos e, por fim, foram esterilizados em autoclave por uma hora a 120° C e 103 kPa (Figura 7).

Figura 7 — Etapa do preparo das formulações com os substratos lignocelulósicos para o cultivo de cogumelos. A) Mistura de substratos; B) Ensacamento; C) Substratos autoclavados.



Fonte: Silva, S.A (2023).

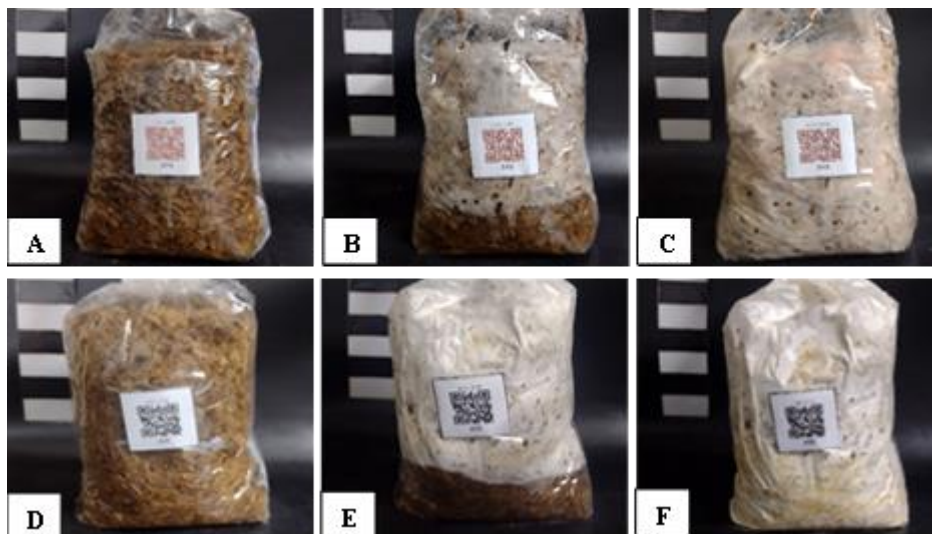
4.1.2. Inoculação

Após a esterilização dos substratos, os mesmos foram inoculados em câmara de fluxo laminar do Laboratório de Microbiologia do Centro de Educação e Saúde (CES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Cuité. Nesse processo, retirou-se o copo de vidro do centro do substrato, sendo a cavidade deixada preenchida com inóculo. A taxa de inoculação foi de 40 g de inóculo por quilograma de substrato esterilizado. Ao fim da inoculação, as sacolas de cultivo foram amarradas com elásticos, vedadas com algodão, cobertas com papel e devidamente identificadas e codificadas.

4.1.3. Incubação

Após a inoculação, as sacolas de cultivo foram incubadas em Sala de Incubação sob escuridão total a temperatura de $23,95 \pm 0,21^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $91,24 \pm 3,85\%$, durante 26 ± 6 dias. O fim da etapa de incubação é sinalizado pela colonização total do substrato (Figura 8).

Figura 8 — Colonização micelial do substrato durante a fase de incubação. *Pleurotus djamor*: A) 0 dias, B) 13 dias e C) 27 dias. *Pleurotus ostreatus*: D) 0 dias, E) 14 dias e F) 28 dias.



Fonte: Silva, S. A. (2023).

Durante essa etapa, as sacolas de cultivo eram monitoradas diariamente, sendo realizados registros fotográficos de todas as unidades a cada dois dias. Além disso, neste período a temperatura e umidade relativa foram registradas através de termo-higrômetro digital a fim de assegurar o controle das condições ambientais ideais para desenvolvimento dos cogumelos.

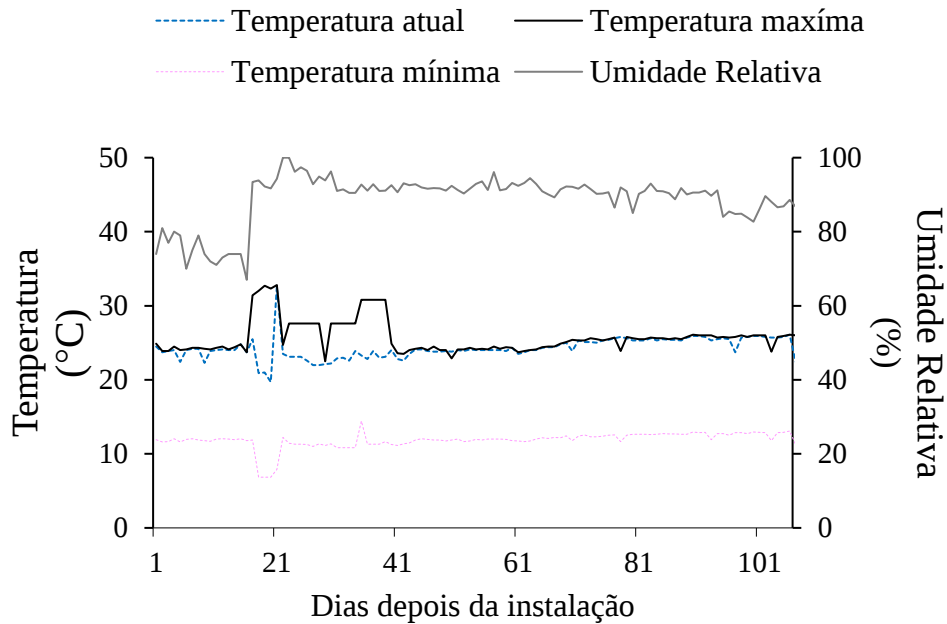
4.1.4. Indução-Frutificação

Após a completa colonização micelial dos substratos, as sacolas de cultivo foram transferidas para a Sala de Indução-Frutificação. Desse modo, retirou-se o papel e algodão delas, amarrando-se o mais próximo possível do substrato a fim de evitar a indução não intencional de basidiomas. Em seguida, realizou-se a indução por meio de dois cortes verticais de 5 cm cada lado com auxílio de bisturi. As sacolas de cultivo foram penduradas em colunas com barbantes, sustentado por uma estrutura de madeira, sendo estas agrupadas sequencialmente de acordo com o número do código e espécie.

Durante essa etapa houve controle das condições ambientais no interior da sala de cultivo por meio de equipamentos e sistema automatizado. Dessa forma, a luminosidade foi controlada por 8 horas por dia com auxílio de timer digital. A umidade e temperatura foram mantidas através de um sistema de bombeamento automático, o qual umidificava as sacolas de cultivo, chão e paredes da sala de cultivo. A ventilação foi mantida por meio de exaustor por

12 horas por dia. Durante todo ciclo de cultivo registrou-se diariamente a temperatura e umidade relativa do ambiente (Figura 9).

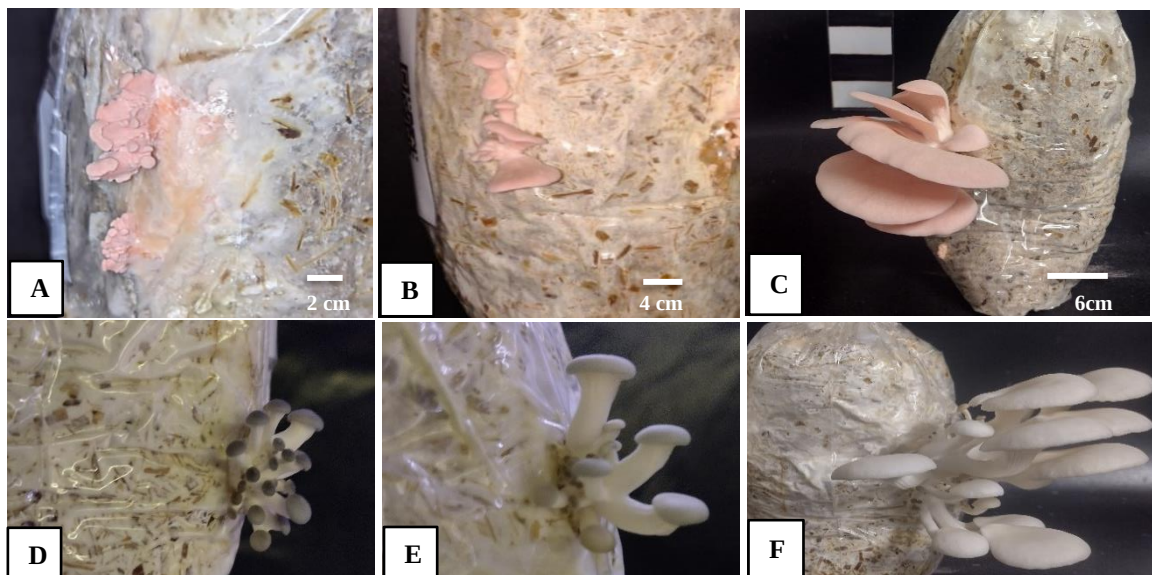
Figura 9 — Condições ambientais durante o ciclo produtivo de cogumelos.



Fonte: Silva, S. A. (2023).

A temperatura durante essa fase foi de $22,85 \pm 1,56^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa $94,2 \pm 3,68\%$. A frutificação iniciou-se com a saída dos primórdios e finalizando-se com a colheita, (Figura 10).

Figura 10 — Processo de frutificação dos basidiomas de *P. djamor* e *P. ostreatus*. Aparecimento de primórdios (A e D); Desenvolvimento de primórdios (B e E); Basidiomas em ponto de colheita (C e F).

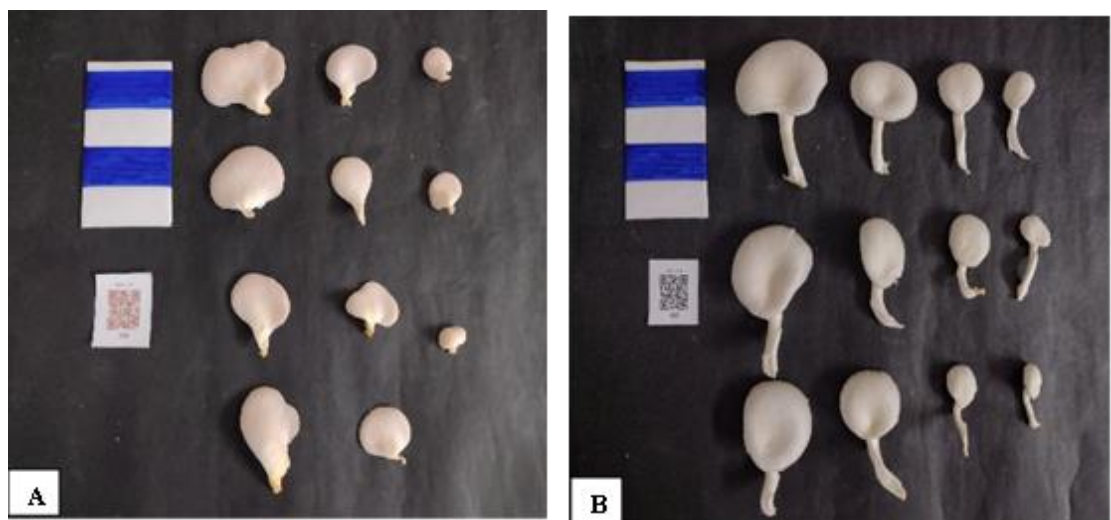


4.1.5. Colheita

Após o desenvolvimento dos corpos de frutificação, os basidiomas foram colhidos ao passarem da forma côncava para convexa, ou seja, antes que as margens do píleo fiquem totalmente planas. A colheita foi realizada manualmente envolvendo a base dos basidiomas entre os dedos, girando levemente a 180° e retirando-os da sacola, sem deixar resquícios do cogumelo no substrato.

Em seguida, os cogumelos foram pesados, desagrupado dos cachos (clusters), ordenados de maior ao menor tamanho (Figura 11), fotografados, secos em estufa a 45° C por 3 dias, e armazenados sob refrigeração em sacos herméticos de plásticos. O período produtivo terminou em três fluxos de colheita.

Figura 11 — Colheita e classificação de basidiomas



Fonte: Silva, S. A. (2023)

4.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em um DIC (delineamento inteiramente casualizado), com cinco tratamentos constituídos por diferentes proporções de folhas de bananeira complementados proporcionalmente com bagaço de cana (% m/m) e suplementados com 10% de serragem e 10% de farinha de trigo (Tabela 2).

Tabela 2 — Formulação de cada tratamento.

Código	Bagaço de cana (g)	Folhas de bananeira (g)	Farinha de trigo (g)	Serragem (g)	Massa seca total (g)
Controle	0	100	10	10	120
25BG	25	75	10	10	120
50BG	50	50	10	10	120
75BG	75	25	10	10	120
100BG	100	0	10	10	120

Controle = 0% bagaço de cana e 100% folhas de bananeira; 25BG = 25% bagaço de cana e 75% folhas de bananeira; 50BG = 50% bagaço de cana e 50% folhas de bananeira; 75BG = 75% bagaço de cana e 25% folhas de bananeira; 100BG = 100% bagaço de cana e 0% folhas de bananeira.

Fonte: Silva, S. A. (2023).

Os tratamentos foram compostos por 8 repetições, em que cada repetição foi constituída por uma unidade experimental (UE), sendo ela uma sacola de polipropileno com dimensões de 15 cm × 30 cm × 6 mm contendo a formulação do substrato inoculado com uma espécie de *Pleurotus*, totalizando 80 UEs (40 para cada espécie cultivada). A estimativa da composição química de cada tratamentos é descrita na Tabela 3. Para as análises foram excluídas as unidades que atingiram mais de 50 % de contaminação.

Tabela 3 — Estimativa da composição química das formulações de cada tratamento ao 95% do intervalo de confiança

Parâmetro químico/ Tratamento	Controle	25BG	50BG	75BG	100BG
Carbono orgânico	504,03	493,95	483,87	473,79	463,71
Nitrogênio (mg g ⁻¹)	3,14	2,90	2,66	2,41	2,17
C/N	160,52	170,44	182,16	196,23	213,43
Fósforo	9,41	8,50	7,58	6,67	5,75
Potássio	1,03	0,99	0,95	0,92	0,88
Sódio	2,79	2,86	2,92	2,99	3,05
Lignina	162,15	151,27	140,39	129,51	118,63
Hemicelulose	477,64	493,74	509,83	525,93	542,02
Celulose	241,09	269,25	297,40	325,56	353,71

Valores calculados de acordo com a massa de cada componente das formulações multiplicado por IC máximo de cada parâmetro químico e dividido pela massa total de cada formulação. Tratamento controle = 0% bagaço + 100% folhas de bananeiras; Tratamento 25BG=25% bagaço + 75% folhas; Tratamento 50BG = 50% bagaço+ 50% folhas; Tratamento 75BG= 75% bagaço + 25% folhas; Tratamento 100 BG = 100% bagaço + 0% folhas.

Fonte: Silva, S. A. (2023).

4.3. ANÁLISES QUÍMICA DOS SUBSTRATOS

Todos os materiais lignocelulósicos (*in natura* e pós-cultivo de cogumelos) foram analisados quimicamente de acordo como a metodologia da Embrapa (2019), cujo parâmetros e procedimentos adotados estão descritos no Quadro 1. Os teores de celulose e hemicelulose foram determinados de forma indireta através da diferença entre FDA e lignina e, FDN e FDA, respectivamente.

O substrato pós-cultivo de cogumelos (SMS) foi previamente seco por três dias em casa de vegetação e, posteriormente, seco em estufa a 45°C por três dias. Para realização das análises químicas retirou-se resquícios de inóculo do SMS para que não houvesse influência desse nos parâmetros analisados. Em seguida, o material foi triturado em moinho e armazenado em sacos herméticos de plásticos.

Quadro 1 — Procedimentos das análises químicas dos substratos lignocelulósicos, *in natura* e pós-cultivo de cogumelos.

Parâmetros	Procedimentos
Carbono Orgânico (%)	As amostras secas de 15 mg foram digeridas em bloco digestor a 170°C por 30 minutos em 5 e 10 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), respectivamente. Após esfriarem, adicionou-se 10 mL de ácido fosfórico e (H_3PO_4) e completou-se até 50 mL com água destilada. Por fim, foram adicionadas 3 gotas de difenilamina e tituladas com sulfato ferroso ($FeSO_4$).
Nitrogênio (%)	As amostras de 10 mg foram digeridas em bloco digestor com ácido sulfúrico (H_2SO_4) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Retirou-se 20 mL do extrato, adicionou-se 10 mL de ácido bórico e 2 gotas de hidróxido de sódio (NaOH.). Em seguida, destilou-se até a 30 mL. Por fim, realizou-se a titulação com ácido clorídrico (HCl), até a mudança da coloração verde para o rosa intenso.
Relação C/N	Determinada pela razão entre os teores de carbono orgânico e nitrogênio.
Cinzas (%)	2,00 g de amostra foram colocadas em cadinho (previamente seco a 105° C), seca em estufa a 105° C por 6 horas. O cadinho foi incinerado em mufla a 600 °C por 4 horas. Por fim, o material foi pesado em balança analítica.
Fósforo ($mg\ kg^{-1}$)	Após a digestão ácido sulfúrico (H_2SO_4) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Em tubo de 25mL foram colocados 0,150 mL do extrato e adicionou-se uma gota de P-nitrofenol e uma gota de NaOH 15N, após agitadas, apresentaram coloração amarelo intenso. Em seguida, corrigiu-se o pH com uma gota de H_2SO_4 a 1,5N, tornando-se a uma coloração transparente. Adicionou-se 4 mL de solução B, e completados até 25 mL com água deionizada. A mistura então foi agitada, e deixada em repouso por 45 minutos. Por fim, foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 880 nm de absorvância considerando a curva de seis pontos de P (0, 1, 2, 3, 4, 5) em $mg\ kg^{-1}$.
Sódio e Potássio ($mg\ kg^{-1}$)	Após a digestão ácido sulfúrico (H_2SO_4) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). As amostras foram diluídas 3 vezes, utilizando 3 mL do extrato e 6 mL de água deionizada. Foi realizada a leitura em fotômetro de chama considerando a curva de seis pontos de Na/K (0, 4, 8, 12, 16 e 20) em $mg\ kg^{-1}$.

Quadro 1 – Continuação.

Parâmetro	Procedimento
pH em água	Em um copo de 50 mL foi colocada a amostra de 2 g e adicionada 40 mL de água destilada. A mistura foi homogeneizada, deixada em repouso por 30 minutos. Em seguida, realizou-se a leitura através do potenciômetro (pHmetro).
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	Em um copo de 50 mL foi colocada a amostra de 2 g e adicionada 40 mL de água destilada. A mistura foi homogeneizada, deixada em repouso por 16 horas. Em seguida, realizou-se a leitura através do condutivímetro.
Umidade (%)	2,00 g de amostra foi colocada em um cadinho (previamente seco em estufa e pesado), seca em estufa a 105° C por 6 horas. Após esfriarem, realizou-se a pesagem em balança analítica.
Densidade (g cm ⁻³)	Em um tubete de 8 g cm ⁻³ foi preenchido até sua capacidade máxima e pesado em balança analítica. Assim, a densidade do substrato foi calculada entre a razão da massa do substrato (sem considerar o peso do tubete) e o volume do tubete.
FDN (%)	Utilizou 0,5 g de amostra em sacos de TNT, os quais foram secos em estufa por 6 horas a 105°. Os sacos foram colocados em solução de detergente neutro em ebulição por 15 minutos e lavados com água destilada quente. Em seguida foram colocados em estufa ventilada a 60°C por 24 horas e, posteriormente, em estufa com ventilação por 105°C. Os sacos foram acondicionados em aparelho analisador de fibras ANKOM, adicionada a solução detergente neutro e realizada a extração a 105° C por uma hora. Logo após, foram lavados com água destilada, secos em estufa não ventilada a 60°C por 24 horas e em estufa ventilada por 2 horas a 105°C. Por fim, foram pesados em balança analítica. A correção dos valores de FDN foi feita através da incineração dos resíduos em mufla a 600°C por 4 horas.
FDA (%)	Para as análises de FDA seguiu-se os mesmos procedimentos adotados para a análise de FDN, apenas substituiu-se a solução de detergente neutro por solução detergente ácido
Lignina (%)	Após as análises de FDN e FDA, os sacos de TNT contendo as amostras foram colocadas em solução de ácido sulfúrico, processados, secos em estufa e pesados em balança analítica.
Hemicelulose (%)	Determinada pela diferença do teor de FDN menos o teor de FDA.
Celulose (%)	Determinada pela diferença do teor de FDA menos o teor de Lignina.

As análises foram realizadas no Laboratório de Matéria Orgânica e Fertilidade do Solo (Departamento de Solos e Engenharia Rural), Laboratório de Química Analítica (Departamento de Química Física e no Laboratório de Análise de Alimentos (Departamento de Zootecnia), do Centro de Ciências Agrárias da UFPB de novembro de 2022 a janeiro de 2023.

Fonte: Silva, S. A. (2023).

4.4. VARIÁVEIS ANALISADAS

Foram avaliados crescimento micelial, precocidade, período produtivo, eficiência biológica, taxa de produção, capacidade produtiva diária, perda de matéria orgânica e variação percentual dos componentes principais (Quadro 2).

Quadro 2 — Variáveis analisadas durante o cultivo de cogumelos.

Variável	Definição	Fórmula	Referência
Crescimento micelial no substrato (cm dia ⁻¹)	Intervalo de tempo em que o micélio coloniza totalmente o substrato.	$VCM = \frac{R}{t}$ Onde: t = tempo de colonização (dias) R = raio da sacola de cultivo (mm), calculado como: $R = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \times a \times b \times h}$ Onde: a = semieixo maior da base da sacola de cultivo (mm); b = semieixo menor da base da sacola de cultivo (mm); h = altura da sacola de cultivo (mm)	ZÁRATÉ- SALAZAR <i>et al.</i> (2020).
Precocidade (dias)	Tempo médio decorrido desde a indução até o aparecimento dos primórdios.	$Pcd = \frac{(t1+t2+t3)}{NC}$ Onde: t = dias entre indução e colheita; NC = Número de colheitas	ECONOMOU; PHILIPPOUSSIS; DIAMANTOPOULOU (2020).
Período Produtivo (dias)	Intervalo de dias decorrido desde a inoculação até a última colheita.	$PP = Duc - Di$ Onde: Duc = Dia da última colheita Di = Dia da inoculação	MA <i>et al.</i> (2020).
Eficiência Biológica (%)	Percentual de conversão do substrato em biomassa fúngica.	$EB = \frac{MFC}{MFF} \times 100$ Onde: MFC = Massa fresca de cogumelos (g) MFF = Massa seca do substrato (g).	MARTINS <i>et al.</i> (2018).

Fonte: Silva, S. A. (2023).

Quadro 2 — Continuação.

Variável	Definição	Fórmula	Referência
Taxa de produção (% dia ⁻¹)	Representa a razão entre eficiência biológica e período produtivo.	$Tp = \frac{EB}{PP}$ Onde: EB = Eficiência biológica; PP = Período produtivo.	KOUTROTSIOS <i>et al.</i> (2018).
Capacidade produtiva diária (g dia ⁻¹)	Relação entre massa de cogumelos frescos com a precocidade e o número de colheitas. Determinada para 100 unidades produtivas.	$CPD = \frac{MF}{Pcd \times NC} \times 100$ Onde: MF = massa fresca de cogumelos (g); Pcd = precocidade em dias; NC = Número de colheitas.	ZÁRATÉ-SALAZAR <i>et al.</i> (2020).
Perda de matéria orgânica (%)	Expressa a decomposição do substrato pelo fungo.	$PMO = \frac{MSI - SMS}{MSI} \times 100$ Onde: MSI = Massa seca inicial (g); SMS = Substrato pós-cultivo de cogumelos.	CARVALHO <i>et al.</i> (2012).
Variação percentual da composição dos substratos lignocelulósicos (Δ)	Alteração promovida pela biodegradação fúngica dos nutrientes do substrato <i>in natura</i> em comparação com o substrato pós-cultivo.	$\Delta (\%) = \frac{(V1 - V0) \times 100}{V0}$ Onde: V0 = Valor da variável do substrato <i>in natura</i> ; V1 = Valor da variável do SMS.	DONG <i>et al.</i> (2013)

Fonte: Silva, S. A. (2023).

4.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas foram realizadas no ambiente estatístico R versão 4.3.0 (R TEAM CORE, 2023), utilizando os pacotes *agricolae*, *Exp.Des*, e *tidyverse*. Analisou-se os pressupostos de normalidade e homoscedasticidade com os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett a 5% de significância ($P \geq 0,05$), respectivamente. Quando aceitos, as médias dos resultados entre tratamentos em todas as variáveis foram comparadas com o teste de Tukey, com exceção das variáveis celulose, e hemicelulose que foram analisadas com o teste de Kruskal-Wallis, ambos os testes a 5% de significância ($P \leq 0,05$). Complementarmente, análises de componentes principais foram realizados com os pacotes estatísticos *FactoMineR* e *factoextra*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da análise de variância dos quadrados médios e significância, para os parâmetros produtivos e biodegradativos dos cogumelos do gênero *Pleurotus* neste estudo estão agrupadas nas Tabelas 4 e 5. Verificamos *P. djamor* apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) em todas as variáveis analisadas, exceto a variação de celulose e hemicelulose (Tabela 4). Em contraste, nenhum efeito significativo ($P \geq 0,05$) foi observado na caracterização de *P. ostreatus*, exceto lignina e celulose, evidenciando que o comportamento desta espécie independe do substrato fornecido, ou pode ser resposta da sua domesticação, ao contrário de *P. djamor* que é uma espécie coletada sem previa caracterização (Tabela 5).

Tabela 4 — Quadrados médios da análise de variância dos resultados de *P. djamor*.

Variável	Quadro médio	C.V. (%)
Crescimento micelial	0,0005 *	9,48
Precocidade	0,2428 *	14,42
Período Produtivo	107,8000 *	16, 73
Eficiência biológica	0,4871*	10,73
Taxa de produção	0,0526*	6,40
Capacidade produtiva	4,1812 *	15,44
Perda de matéria orgânica	0,0000 *	7,14
Δ Carbono orgânico	0,0007 *	4,35
Δ Nitrogênio	0,0094 *	13,76
Δ Fósforo	0,0117 *	13,34
Δ Potássio	0,0111*	13,76
Δ Sódio	0,0107 *	16,55
Δ Lignina	0,0066 *	3,50
Δ Celulose	0,0002 n.s.	9,58
Δ Hemicelulose	0,5295 n.s.	35,00

* $P > 0,05$ = significativo; n.s = Não significativo. Eficiência biológica, precocidade, taxa de produção e capacidade produtiva foram transformadas em $(x + 0,5)^{0,5}$; variação percentual de carbono, nitrogênio, potássio e sódio foram transformados com $(x/100 + 0,5)^{0,5}$; Variação percentual de fósforo e lignina foram transformados com $(x/100 + 1)^{0,5}$; Perda de matéria orgânica, variação percentual de hemicelulose e celulose foram transformados com $1/x$. C.V. = coeficiente de variação.

Fonte: Silva, S. A. (2023)

Tabela 5 — Quadrados médios da análise de variância dos resultados de *P. ostreatus*.

Variável	Quadro médio	C.V. (%)
Crescimento micelial	0,0097 n.s.	10,55
Precocidade	1,1975 n.s.	8,09
Período Produtivo	11,6670 n.s.	5,63
Eficiência biológica	92,2840 n.s.	10,80
Taxa de produção	0,0244 n.s.	9,91
Capacidade produtiva	923,0000 n.s.	10,69
Perda de matéria orgânica	10,2138 n.s.	5,66
Δ Carbono orgânico	0,0014 n.s.	6,43
Δ Nitrogênio	0,0035 n.s.	9,05
Δ Fósforo	0,0060 n.s.	10,48
Δ Potássio	0,0231 n.s.	19,21
Δ Sódio	0,0068 n.s.	18,62
Δ Lignina	0,0002 *	2,36
Δ Celulose	0,0006 *	3,34
Δ Hemicelulose	0,016 n.s.	20,48

* $P > 0,05$ = significativo; n.s = Não significativo. Eficiência biológica, precocidade, taxa de produção e capacidade produtiva foram transformadas em $(x + 0,5)^{0,5}$; variação percentual de carbono, nitrogênio, potássio e sódio foram transformados com $(x/100 + 0,5)^{0,5}$; Variação percentual de fósforo e lignina foram transformados com $(x/100 + 1)^{0,5}$; Perda de matéria orgânica, variação percentual de hemicelulose e celulose foram transformados com $1/x$. C.V. = coeficiente de variação.

Fonte: Silva, S. A. (2023).

De acordo com a Tabela 6, em princípio, descritivamente, podemos verificar que a inserção de bagaço de cana aumenta gradativamente o teor de carbono, reduz o teor de nitrogênio no substrato pós-cultivo de cogumelos e, conseqüentemente, eleva-se a relação C/N. Além disso, provoca redução na condutividade elétrica e nos níveis de pH nos substratos, sugerindo que o metabolismo fúngico provocado pelos diferentes tratamentos acidificam o meio, bem como ocorre aumento nos teores de cinza e matéria orgânica. Por outro lado, os teores de potássio e sódio diminuem, exceto para os tratamentos 25BG e 100 BG de *P. djamor*. Bem como demonstra-se acréscimos nos teores dos componentes lignocelulósicos disponíveis nos substratos pós-cultivo.

Tabela 6 — Caracterização química do substrato pós-cultivo de cogumelos por tratamento (formulações de cultivo).

Tratamento	CO	N	C/N	MO	CZ	P	K	Na
	—— mg g ⁻¹ ——			—— % ——		—— mg g ⁻¹ ——		
<i>Pleurotus djamor</i>								
Controle	383,34 ± 13,11	3,43 ± 0,07	111,61 ± 1,75	91,84 ± 0,52	8,16 ± 0,52	4,99 ± 0,82	1,12 ± 0,03	2,67 ± 0,18
25BG	426,25 ± 4,95	3,61 ± 0,10	118,06 ± 1,85	93,55 ± 0,85	6,45 ± 0,85	8,44 ± 0,38	1,23 ± 0,07	3,63 ± 0,23
50BG	417,54 ± 10,02	2,70 ± 0,25	156,70 ± 10,16	94,67 ± 0,15	5,33 ± 0,15	6,62 ± 1,48	0,80 ± 0,11	2,68 ± 0,43
75FB	407,77 ± 3,87	2,20 ± 0,17	187,73 ± 15,31	97,74 ± 0,36	2,26 ± 0,36	3,26 ± 0,53	1,09 ± 0,02	2,27 ± 0,05
100BG	426,25 ± 4,95	1,75 ± 0,20	249,75 ± 26,91	99,87 ± 0,04	0,13 ± 0,04	2,97 ± 0,10	1,03 ± 0,09	2,13 ± 0,10
<i>Pleurotus ostreatus</i>								
Controle	400,50 ± 13,11	2,80 ± 0,07	143,10 ± 1,18	92,07 ± 0,52	7,93 ± 0,52	3,74 ± 0,17	1,19 ± 0,05	2,03 ± 0,06
25BG	411,95 ± 10,31	2,63 ± 0,15	165,73 ± 12,8	92,90 ± 0,46	7,10 ± 0,46	5,18 ± 1,01	1,06 ± 0,19	1,98 ± 0,13
50BG	432,00 ± 13,38	2,53 ± 0,13	163,47 ± 7,83	94,52 ± 0,27	5,48 ± 0,27	5,09 ± 0,25	1,15 ± 0,05	2,01 ± 0,15

Controle = 0% bagaço de cana e 100% folhas de bananeira; 25BG = 25% bagaço de cana e 75% folhas de bananeira; 50BG = 50% bagaço de cana e 50% folhas de bananeira; 75BG = 75% bagaço de cana e 25% folhas de bananeira; 100BG = 100 % bagaço de cana e 0% folhas de bananeira. CO = teor de carbono orgânico; N = teor de nitrogênio; C/N = relação de carbono e nitrogênio; MO = teor de matéria orgânica; Cz = teor de cinzas; P = teor de fósforo; K = teor de potássio; Na = teor de sódio. Média ± SD, $n = 3$.

Fonte: Silva, S. A (2023).

Tabela 6 — Continuação.

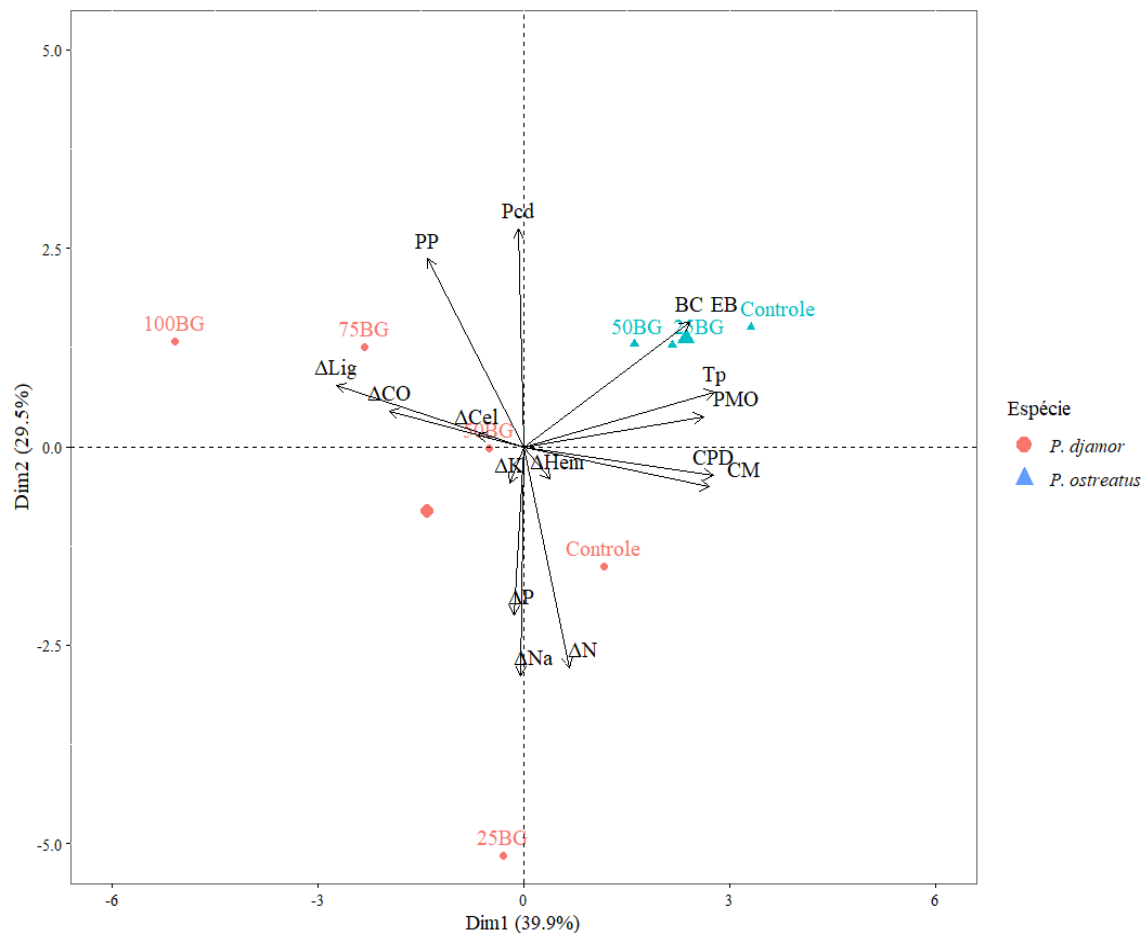
Tratamento	Lig	Hem	Cel	Uh (%)	ρ (g cm ⁻³)	pH	CE (dS m ⁻¹)
	mg g ⁻¹						
<i>Pleurotus djamor</i>							
Controle	41,05 ± 4,20	282,49 ± 40,66	18,99 ± 2,31	88,76 ± 0,31	0,23 ± 0,00	5,01 ± 0,02	1,94 ± 0,11
25BG	65,31 ± 1,74	431,90 ± 3,57	181,28 ± 0,75	89,65 ± 0,36	0,24 ± 0,00	5,00 ± 0,05	1,58 ± 0,08
50BG	60,44 ± 0,41	444,26 ± 1,72	137,86 ± 1,83	88,78 ± 0,32	0,24 ± 0,00	4,72 ± 0,07	1,57 ± 0,02
75FB	93,22 ± 3,88	530,22 ± 2,57	197,92 ± 0,48	89,14 ± 0,10	0,22 ± 0,01	4,44 ± 0,05	1,07 ± 0,02
100BG	117,53 ± 1,31	276,02 ± 33,59	204,6 ± 22,35	89,52 ± 0,21	0,22 ± 0,01	4,20 ± 0,09	0,71 ± 0,02
<i>Pleurotus ostreatus</i>							
Controle	49,41 ± 2,14	348,97 ± 15,8	143,52 ± 6,87	88,48 ± 0,21	0,18 ± 0,00	4,89 ± 0,03	1,61 ± 0,06
25BG	50,07 ± 0,65	392,03 ± 11,92	145,22 ± 4,17	89,13 ± 0,15	0,16 ± 0,00	4,84 ± 0,03	1,59 ± 0,04
50BG	61,16 ± 1,16	387,73 ± 43,1	143,60 ± 4,91	88,83 ± 0,24	0,17 ± 0,00	4,61 ± 0,06	1,49 ± 0,09

Controle = 0% bagaço de cana e 100% folhas de bananeira; 25BG = 25% bagaço de cana e 75% folhas de bananeira; 50BG = 50% bagaço de cana e 50% folhas de bananeira; 75BG = 75% bagaço de cana e 25% folhas de bananeira; 100BG = 100 % bagaço de cana e 0% folhas de bananeira. Lig = teor de lignina; Hem = teor de hemicelulose, determinado pela diferença do teor da fibra detergente neutro e ácido; Cel = teor de celulose, determinada pela diferença da fibra detergente ácida e o teor de lignina; Uh = umidade higroscópica; ρ = densidade; pH = potencial hidrogeniônico, relação substrato e água de 20:1 m/v; CE = condutividade elétrica. Média ± SD, $n = 3$

Fonte: Silva, S. A (2023).

De acordo com análise de componentes principais (PCA) verifica-se que 70% da variância dos dados em função dos tratamentos representa os efeitos provocados pela capacidade produtiva e biodegradativa de *P. djamor* e *P. ostreatus*. observa-se que primeira dimensão (linha vertical) agrupou os dados em função das espécies, enquanto a segunda dimensão (linha média horizontal) discriminou em função dos aspectos produtivos (direita) e biodegradativos (esquerda). Nesse sentido, os resultados desta análise sugerem que a espécie de *Pleurotus ostreatus* possui maior influência sob os parâmetros produtivos e a espécie de *P. djamor*, majoritariamente, relaciona-se com aspectos biodegradativos (Figura 12)

Figura 12 –Análise de Componentes Principais (PCA) das características produtivas e biodegradativas de *P. djamor* e *P. ostreatus* em função dos tratamentos. Controle = 0% bagaço de cana e 100% folhas de bananeira; 25BG = 25% bagaço de cana e 75% folhas de bananeira; 50BG = 50% bagaço de cana e 50% folhas de bananeira; 75BG = 75% bagaço de cana e 25% folhas de bananeira; 100BG = 100% bagaço de cana e 0% folhas de bananeira. ΔCO = Δ carbono orgânico; ΔN = Δ de nitrogênio; ΔP = Δ de fósforo; ΔNa = Δ de sódio; ΔLig = Δ de lignina; ΔHem = Δ de hemicelulose; ΔCel = Δ de celulose; PP = período produtivo; Pcd = precocidade; EB = eficiência biológica; PMO = perda de matéria orgânica; Tp = taxa de produção; CPD = capacidade produtiva diária e CM = crescimento micelial.



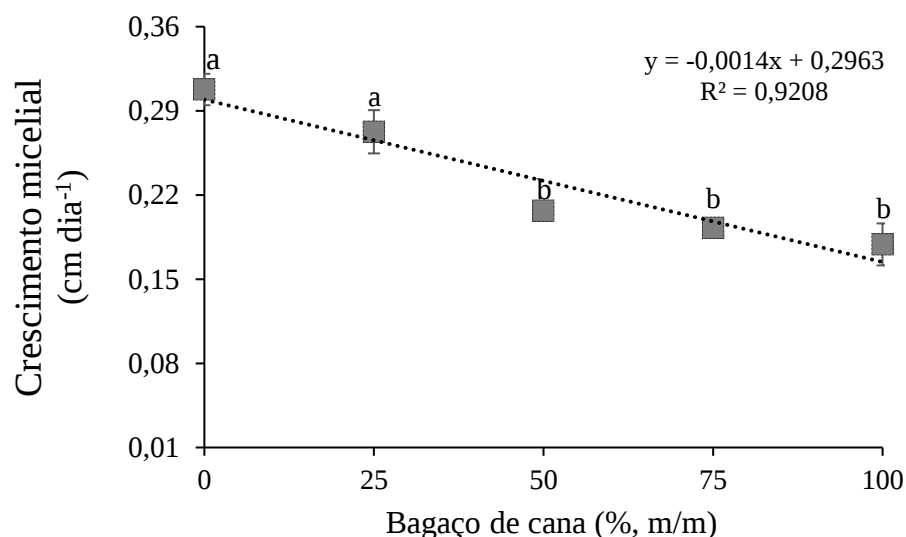
Fonte: Silva, S.A (2023).

5.1 CARACTERIZAÇÃO PRODUTIVA

5.1.1 Crescimento micelial no substrato

Para a espécie *P. djamor*, os resultados indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos, havendo redução no crescimento micelial à medida que a proporção de bagaço de cana é adicionada nas formulações de cultivo, sendo o tratamento 25BG 10% inferior ao tratamento controle e superior em cerca de 1,5 vezes aos demais tratamentos, os quais não diferiram estatisticamente entre si (Figura 13).

Figura 13 — Crescimento micelial no substrato de *P. djamor* em função dos tratamentos. Números dos tratamentos indicam proporções de bagaço de cana (BG) complementados proporcionalmente com folhas de bananeira. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas de acordo com o teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância.



Fonte: Silva, S.A (2023).

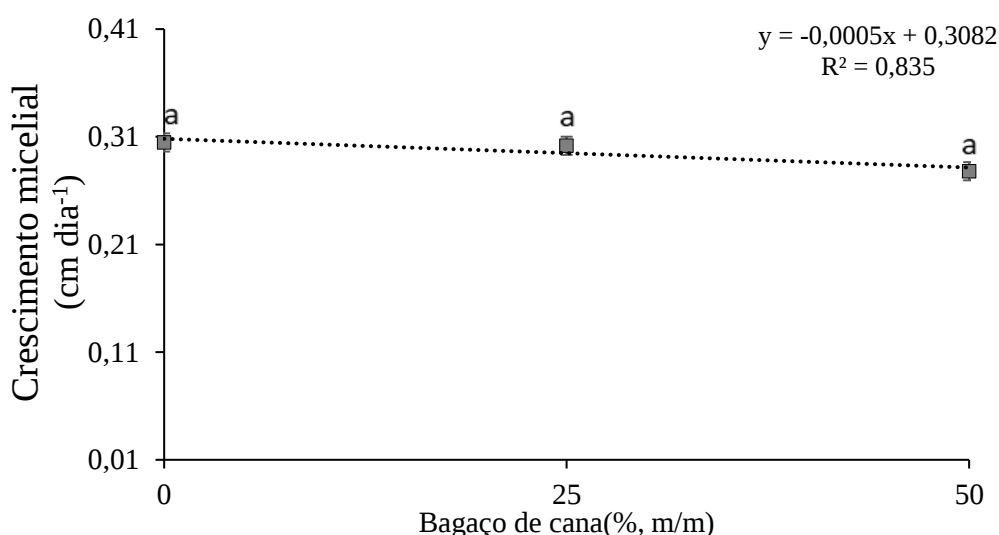
De acordo com Melanouri *et al.* (2022), o crescimento micelial é influenciado pela composição química dos substratos, havendo uma correlação negativa entre tal variável e relação C/N, sendo que substratos com menores relação C/N apresentam maior velocidade no crescimento micelial. Dessa forma, os resultados confirmam esse pressuposto, uma vez que o tratamento 25BG apresenta menor relação carbono e nitrogênio ($C/N = 170,44$), o qual apresentou a maior taxa de colonização do substrato ($0,27 \text{ cm dia}^{-1}$). Resultados semelhantes foram encontrados por Atila (2017) que constatou crescimento micelial das espécies *P. eryngii*, *P. djamor* e *P. citrinopileatus* mais rápido em feno e palha de feijão em comparação com os

substratos resíduos de girassol e serragem, os quais apresentavam maiores índices na relação C/N.

Pleurotus ostreatus apresentou um crescimento micelial médio de 0,29 cm dia⁻¹, sem diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 14), indicando que as proporções de bagaço de cana e folha de bananeira independem entre si.

O bagaço de cana é capaz de promover boa taxa de colonização, troca gasosa e fácil acesso aos carboidratos (PAUL; NGOZIKA, 2017). Esse efeito foi constatado por Tavares (2015) ao cultivar diferentes cepas de *P. ostreatus*, onde a maior velocidade de crescimento micelial ocorreu em substratos com maiores proporções de bagaço de cana e menor quantidade de palha de feijão. Nesse contexto, comparando esse resultado com os dados obtidos nesta pesquisa, pode-se inferir que a mistura folhas de bananeira e bagaço fornece condições semelhantes para o crescimento micelial de *P. ostreatus*, enquanto a palha de feijão em conjunto com o bagaço reduz a colonização micelial.

Figura 14 — Crescimento micelial no substrato de *P. ostreatus* em função dos tratamentos. Números dos tratamentos indicam proporções de bagaço de cana (BG) complementados proporcionalmente com folhas de bananeira. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas de acordo com o teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância.



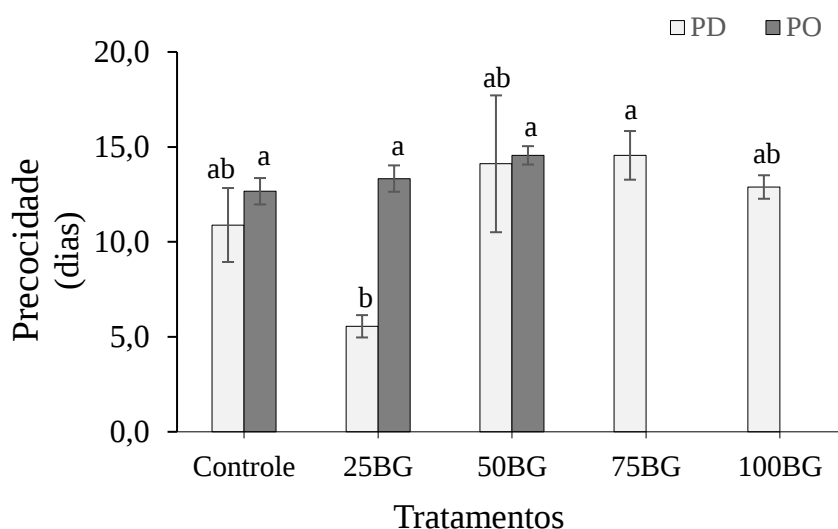
Fonte: Silva, S.A (2023).

5.1.2 Precocidade

De acordo com os resultados apresentados na Figura 15, observa-se que a composição dos substratos exerceu influência significativa no tempo decorrido desde a indução até o

aparecimento dos primórdios da espécie *Pleurotus djamor*, sendo que todos os tratamentos foram estatisticamente similares ao tratamento controle, exceto o tratamento 75BG (Pcd = 14,6 dias), o qual foi 34% superior ao tratamento controle (Pcd = 10,9 dias).

Figura 15 — Precocidade de *P. djamor* (PD) e *P. ostreatus* (PO) em função dos tratamentos. Os números que acompanham as siglas indicam valores percentuais do substrato, BG: bagaço de cana e Controle: 100% folhas de bananeira. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas de acordo com o teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância.



Fonte: Silva, S.A (2023).

Com base nos resultados obtidos, observamos que o tratamento 25BG (Pcd = 5,6 dias) foi o mais precoce entre os tratamentos analisados, sinalizado que o bagaço de cana retarda o aparecimento de primórdios, ressalta-se que quanto menor a precocidade menor o ciclo de cultivo de cogumelos e, portanto, comercialmente é requerido menores índices de precocidade (VIEIRA JUNÍOR *et al.*, 2022). O mesmo resultado foi obtido por Silva *et al.*, (2022) ao cultivar *P. djamor* em diferentes proporções de bagaço de cana e folhas de bananeiras, os tratamentos com maiores porcentagens de bagaço de cana foram menos precoces em até duas vezes em comparação de substratos que continham folhas de bananeira.

Nesse sentido, levando em consideração a composição química dos tratamentos, o bagaço de cana contém maior teor de celulose associada a lignina (VALADARES, 2013), o que pode interferir na produção de enzimas hidrolíticas, como celulasas, que fornecem e assimilam nutrientes necessários para o metabolismo fúngico, as quais são produzidas na fase de desenvolvimento de corpos de frutificação (MATA; SALMONES; SAVOIE, 2017). Assim,

pode-se inferir que adição de bagaço de cana pode diminuir a produção de enzimas hidrolíticas e afetar a formação de cogumelos, aumento o intervalo de tempo para formação de primórdios.

Para a espécie *P. ostreatus* não houve diferenças significativas ($P>0,05$), demonstrando que tal variável independe entre os tratamentos, apresentando uma precocidade média de 13,52 dias, sendo controle (Pcd = 12,67 dias), 25BG (Pcd = 13,33 dias), 50BG (Pcd = 14,56 dias). Além da composição físico-química do substrato, esse parâmetro pode ser influenciado pelas condições ambientais de cultivo e características genéticas das linhagens utilizadas (VIEIRA, 2016).

Dessa forma, esse efeito pode estar relacionado com o comportamento biológico da linhagem utilizada, uma vez que o cultivo foi realizado sob as mesmas condições ambientais e com os mesmos suplementos. Resultados semelhante foram descritos por Monteiro (2022), onde ao utilizar diferentes proporções de borra de café e bagaço de cana, a mesma cepa (PO/A02), a precocidade não divergiu de forma significativa entre os tratamentos, sendo em média 28,38 dias. Entretanto, comparando os substratos utilizados, a inserção de folhas de bananeira ao bagaço de cana estimula a precocidade de *P. ostreatus* até 2 vezes mais do que quando se utiliza borra de café e bagaço de cana.

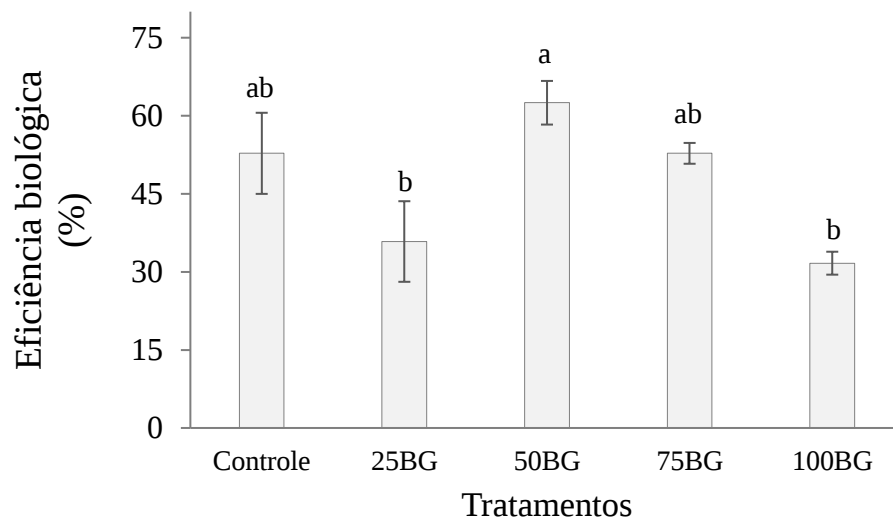
5.1.3. Eficiência biológica

Em relação a espécie *P. djamor*, os resultados indicam diferenças significativas em relação a eficiência biológica, sendo o tratamento 50BG (EB = 60,50%) aproximadamente 15% superior ao tratamento controle (EB=52,78%), os demais tratamentos não diferiram estatisticamente ao tratamento controle apresentando eficiência biológica média de 40,09% (Figura 16). Segundo Sales-Campos *et al.*, (2010), as diferenças nas taxas de eficiência biológica relacionam-se com capacidade dos substratos fornecerem nutrientes prontamente disponíveis e assimiláveis pelo fungo durante seu desenvolvimento. Nesse contexto, a partir dos dados obtidos, pode-se inferir que a formulação dos substratos com 50% bagaço de cana e 50% folhas de bananeira, fornecem melhores condições nutricionais para que *P. djamor* converta tal substrato em biomassa fúngica de forma mais eficiente em detrimento aos demais tratamentos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Sturion (1994) ao cultivar *P. ostreatusroseus* (sinônimo de *P. djamor*) nos mesmos substratos e das mesmas proporções a desse estudo (50% bagaço de cana e 50% folhas de bananeira) obteve eficiência biológica de 58,54%. Em

contraste, dados superiores foram obtidos por Cardona-Pérez (2021) ao cultivar *Pleurotus djamor* em um substrato composto de 50% de palha de milho e 50% palha de aveia, sendo a eficiência biológica de 77%.

Figura 16 — Eficiência biológica de *P. djamor* em função dos tratamentos. Os números que acompanham as siglas indicam valores percentuais do substrato, BG: bagaço de cana e Controle: 100% folhas de bananeira. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas, de acordo com o teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância.

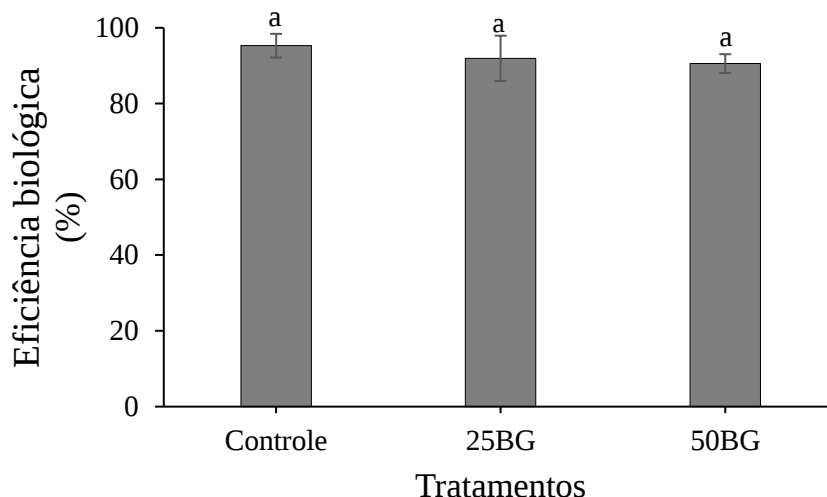


Fonte: Silva, S.A (2023).

P. ostreatus (Figura 17) apresentou eficiência biológica média de 95% de basidiomas frescos por massa seca do substrato, não havendo diferenças significativas entre os tratamentos, assim verifica-se que a quantidade de bagaço de cana e folhas de bananeiras são independentes entre si para a produção desse cogumelo.

A eficiência biológica sinaliza a adequação do substrato para o cultivo de determinada espécie (RAMAN *et al.*, 2020). Portanto, os substratos testados mostram-se adequados para o cultivo de *Pleurotus ostreatus*, uma vez que é requerida uma eficiência biológica próxima ou superior a 100%. (SALES-CAMPOS, 2008). Monteiro (2022) e Zárate-Salazar *et al* (2020) ao cultivarem a mesma cepa utilizada nesta pesquisa obtiveram eficiência biológica de até quase 70% e 75%, respectivamente. Esses resultados demonstram que a alta eficiência biológica é uma característica genética da linhagem utilizada.

Figura 17 — Eficiência biológica de *P. ostreatus* em função dos tratamentos. Os números que acompanham as siglas indicam valores percentuais do substrato, BG: bagaço de cana e Controle: 100% folhas de bananeira. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas de acordo com o teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância.



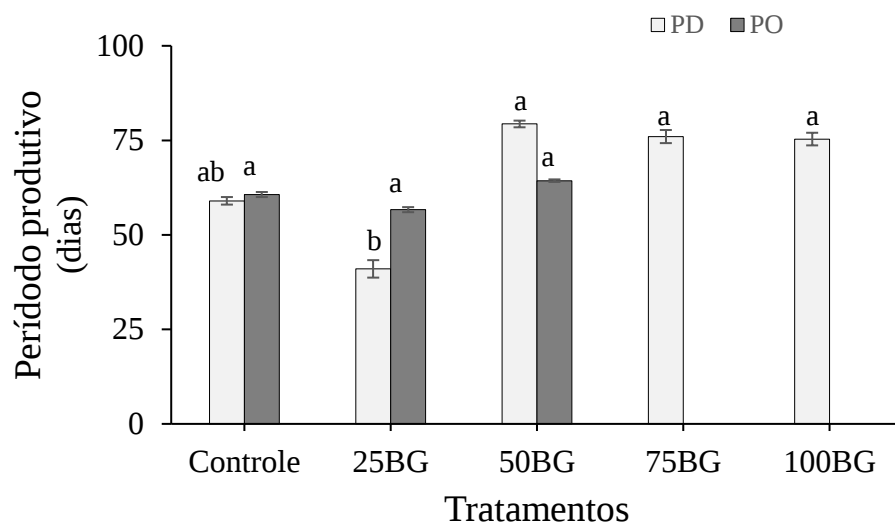
Fonte: Silva, S.A (2023).

Resultados inferiores foram descritos por HOA *et al.* (2015) que ao cultivar a mesma espécie em diferentes formulações de bagaço de cana, espiga de milho e serragem, obteve os maiores índices de eficiência biológica em substratos compostos por 100% bagaço de cana e espiga de milho, sendo a eficiência biológica de 65,65% e 66,08%, respectivamente.

5.1.4. Período produtivo

O período produtivo compreende o ciclo total da cadeia de produtiva de cogumelos desde a inoculação até a última colheita (MA *et al.*, 2018). Em relação a *Pleurotus djamor*, apenas o tratamento 25BG (PP = 41 dias) diferiu estatisticamente ao tratamento controle (PP = 59 dias), enquanto os tratamentos 50BG (PP = 79,33 dias), 75BG (PP = 76 dias) e 100BG (PP = 75,33 dias) demonstraram período produtivo médio de 76,88 dias, sem diferirem entre si e, estatisticamente, semelhante ao tratamento controle (Figura 18).

Figura 18 — Período produtivo de *P. djamor* (PD) e *P. ostreatus* (PO) em função dos tratamentos. Os números que acompanham as siglas indicam valores percentuais do substrato, BG: bagaço de cana e Controle: 100% folhas de bananeira. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas de acordo com o teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância.



Fonte: Silva, S.A (2023).

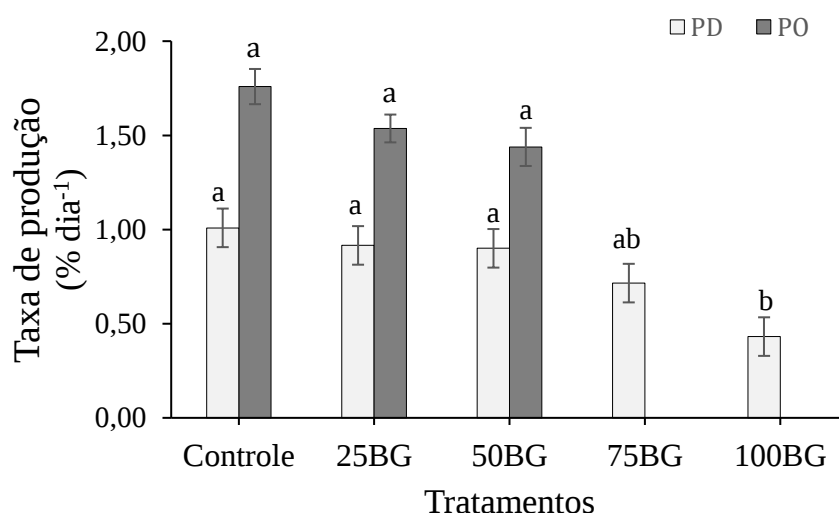
Dessa forma esse parâmetro correlaciona-se com as crescimento micelial e precocidade, uma vez que as menores proporções de bagaço de cana no substrato fornecem melhores condições nutricionais para o crescimento micelial e formação de primórdios, e consequentemente, reduz o ciclo produtivo de *Pleurotus djamor*.

Pleurotus ostreatus apresentou período produtivo médio de 60,5 dias, sem diferenças estatísticas entre os tratamentos analisados. Resultados inferiores ao deste estudo foram obtidos por Cayeta-Caetano (2020) ao cultivar a mesma espécie em diferentes combinações de restolho de grão de bico, amendoim e palha de feijão, o ciclo de cultivo foi de 44,2 a 47,4 dias. Carvalho *et al* (2012) ao cultivar *Pleurotus ostreatus* em diferentes combinações de folhas e pseudocaule de bananeira o período produtivo foi de 49 dias. Comparando esses resultados com os dados obtidos nesta pesquisa, as diferentes proporções de bagaço de cana e folhas de bananeira prologam o ciclo de cultivo de *P. ostreatus*.

5.1.5. Taxa de produção

A taxa de produção é baseada na eficiência biológica total e no tempo decorrido durante o ciclo de cultivo desde a incubação até o último fluxo da colheita. Nesse sentido, de acordo com a Figura 19, *Pleurotus djamor* apresentou taxa de produção média de 0,74% dia⁻¹. Os tratamentos 25 BG (Tp = 0,92% dia⁻¹) e 50 BG (Tp = 0,92% dia⁻¹) não se diferiram estatisticamente ao tratamento controle (Tp = 1,01% dia⁻¹). Cardona- Pérez (2021) ao cultivar *Pleurotus djamor* em diferentes substratos obteve taxa de produção variável entre 0,69 a 1,63% dia⁻¹, demonstrando que o substrato de cultivo é um fator determinante sob a taxa de produção.

Figura 19 — Taxa de produção *P. djamor* (PD) e *P. ostreatus* (PO) em função dos tratamentos. Os números que acompanham as siglas indicam valores percentuais do substrato, BG: bagaço de cana e Controle: 100% folhas de bananeira. Letras diferentes indicam diferenças estatística. de acordo com o teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância.



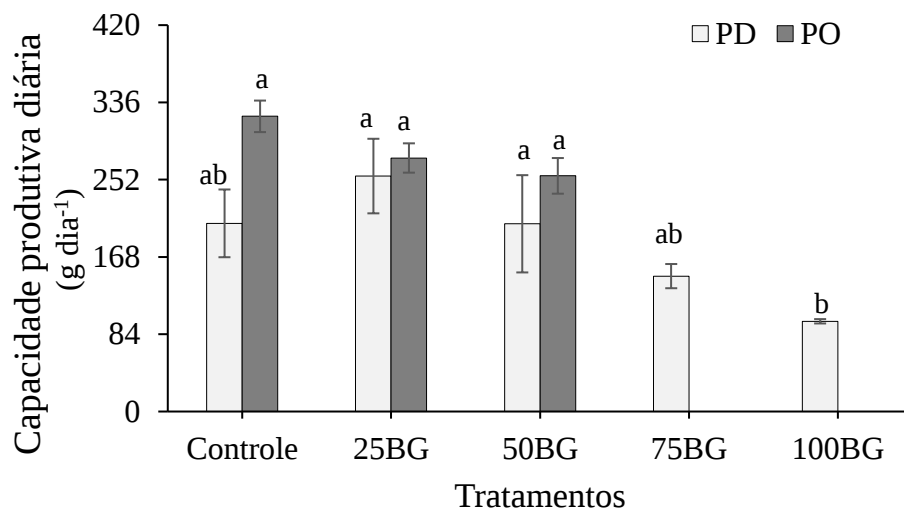
Fonte: Silva, S.A (2023).

P. ostreatus não diferiu estatisticamente entre os tratamentos avaliados, apresentado uma taxa de produção média diária de 1,58 %. Resultados semelhantes foram obtidos por Pardo-Giménez et. al (2012), que ao avaliar os efeitos da suplementação vegetal com farelo de pistache na produção de *Pleurotus ostreatus*, não constatou diferenças estatísticas em relação a taxa de produção, mesmo os valores sendo maiores em substratos com suplementos em relação aos substratos não suplementados.

5.1.6. Capacidade produtiva diária

Em relação a *P. djamor*, destaca-se o tratamento 100BG (CPD = 98,07 g dia⁻¹), o qual foi 52% inferior ao tratamento controle (CPD = 204,53 g dia⁻¹) (Figura 20). *P. ostreatus* não demonstrou diferenças significativas, indicando que os tratamentos independem entre si, com capacidade produtiva diária média de 284,2 g dia⁻¹. Tais comportamentos relacionam-se com eficiência biológica e precocidade de cada espécie, sendo influenciados pela composição dos substratos de cultivo, como evidenciado na análise de componentes principais (Figura 12) e constatado por Zárate-Salazar et. al (2020).

Figura 20 — Capacidade produtiva diária de *P. djamor* (PD) e *P. ostreatus* (PO) em função dos tratamentos. Os números que acompanham as siglas indicam valores percentuais do substrato, BG: bagaço de cana e Controle: 100% folhas de bananeira. Letras diferentes indicam diferenças estatística, de acordo com o teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância



Fonte: Silva, S.A (2023).

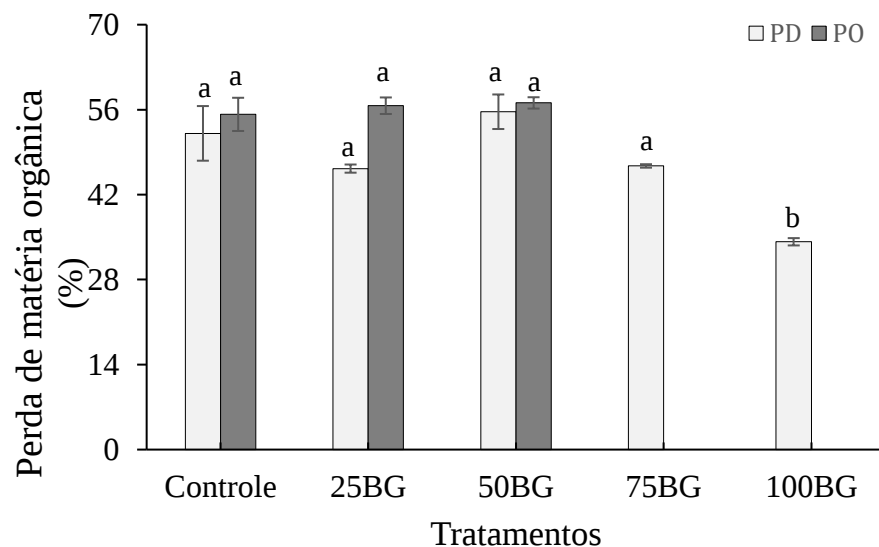
5.2. CAPACIDADE BIODÉGRADATIVA

5.2.1 Perda de matéria orgânica

A perda de matéria orgânica indica quanto o substrato foi degradado em resposta ao metabolismo e à atividade enzimática do fungo, relacionando-se com disponibilidade de substâncias de maior e menor facilidade de degradação pelos microrganismos, aliado a perda de gás carbônico e água, gastos durante o metabolismo dos microrganismos, não havendo correlação entre perda de matéria orgânica e eficiência biológica (MARTINS *et al.*, 2018; SALES-CAMPOS, 2008; TAVARES, 2015).

Em relação a *P. djamor* (Figura 21), os tratamentos 25BG (PMO = 46,29%), 50BG (PMO = 55,66%) e 75BG (PMO = 46,73%) apresentaram perda de matéria orgânica média de 49,56%, sem divergirem estatisticamente com o tratamento controle (PMO = 52,09%), o qual foi 33% superior ao tratamento 100BG (PMO = 34,06%). De forma geral, esses resultados sugerem que os aumentos nas proporções de bagaço de cana reduzem a perda de matéria orgânica.

Figura 21 — Perda de matéria orgânica de *P. djamor* (PD) e *P. ostreatus* (PO) em função dos tratamentos. Os números que acompanham as siglas indicam valores percentuais do substrato, BG: bagaço de cana e Controle: 100% folhas de bananeira. diferentes indicam diferenças estatística. de acordo com o teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$) de significância.



Fonte: Silva, S.A (2023).

Fonseca (2013) constatou uma perda de matéria orgânica média de 37,67% para *P. ostreatoroseus* (sinônimo de *P. djamor*) cultivado em casca de cupuaçu suplementado com farelo de trigo. Enquanto Holtz *et al.* (2009) ao cultivar *P. ostreatus* em resíduos de algodão obteve uma perda de matéria orgânica de 24,10%, mas quando cultivados em serragem e estipe de pupunheira a decomposição do fungo variou de 53,58 a 59,91%, valores relativamente próximos aos obtidos nesta pesquisa.

Como evidenciado na Figura 21, *P. ostreatus* não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos, apresentando perda de matéria orgânica média de 56,32%. Esses resultados são superiores aos níveis de perda de matéria orgânica descritos por Zárate-Salazar *et al.* (2020) e Monteiro (2022) ao estudaram a mesma cepa em restolho de milho e casca de arroz, e borra de café, respectivamente. No entanto, assim como neste trabalho, não houve diferenças significativas entre os tratamentos, indicado que a cepa decompõe eficientemente diferentes tipos de substratos sem seletividade.

Tavares (2015) ao cultivar *P. ostreatus* em diferentes proporções de bagaço de cana e palha de feijão obteve 43,57% como o maior índice de perda de matéria orgânica, sendo inferior ao evidenciado neste trabalho. No entanto, ressalta-se que as maiores taxa de perda de matéria orgânica tornam o substratos pós-cultivo de cogumelos com menos compostos recalcitrantes, permitindo otimização para seu reaproveitamento (GRIMM; WÖSTEN, 2018).

5.2.2 Variação percentual

Na Tabela 7, verifica-se a variação percentual da composição química dos substratos lignocelulósicos que, aliada a análise de componentes principais, permitem discutir os resultados com base comportamento das espécies e da interação dessas com as diferentes formulações dos substratos. Em relação a interação espécie $\times$ substrato, as diferentes composições lignocelulósicos conferem a *P. djamor* maior potencial biodegradativo, enquanto *P. ostreatus* apresenta comportamento mais homogêneo nos diferentes substratos de cultivo

Tabela 7 — Variação percentual (Δ) de componentes principais da composição química do substrato pós cultivo em relação aos tratamentos.

Tratamento	Δ CO	Δ N	Δ P	Δ K	Δ Na	Δ Lig	Δ Hem	Δ Cel
<i>Pleurotus djamor</i>								
Controle	-23,95 $\pm$ 2,60b	9,34 $\pm$ 2,29ab	-46,99 $\pm$ 8,71ab	8,44 $\pm$ 2,82ab	-4,43 $\pm$ 6,34ab	-74,68 $\pm$ 2,59d	-40,86 $\pm$ 8,51a	-92,12 $\pm$ 0,46a
25BG	-13,71 $\pm$ 1,00a	24,69 $\pm$ 3,36a	-0,62 $\pm$ 4,52b	19,71 $\pm$ 6,70a	26,87 $\pm$ 8,01a	-54,84 $\pm$ 0,00c	-12,52 $\pm$ 0,72a	-32,67 $\pm$ 0,28b
50BG	-13,71 $\pm$ 2,07a	1,53 $\pm$ 9,37ab	-31,65 $\pm$ 15,35ab	-22,03 $\pm$ 10,42b	-8,19 $\pm$ 14,62ab	-56,95 $\pm$ 0,29c	-12,86 $\pm$ 0,34a	-53,65 $\pm$ 0,62a
75BG	-13,94 $\pm$ 0,82a	-8,91 $\pm$ 7,0ab	-51,05 $\pm$ 8,02a	5,79 $\pm$ 1,81ab	-24,14 $\pm$ 1,51b	-28,02 $\pm$ 3,00b	0,82 $\pm$ 0,49a	-39,02 $\pm$ 0,15b
100BG	-8,08 $\pm$ 1,07a	-19,5 $\pm$ 9,1b	-48,26 $\pm$ 1,67ab	-0,17 $\pm$ 9,1ab	-30,14 $\pm$ 3,21b	-0,92 $\pm$ 1,11a	-49,07 $\pm$ 6,2a	-42,15 $\pm$ 6,32b
<i>Pleurotus ostreatus</i>								
Controle	-20,54 $\pm$ 2,6a	-10,9 $\pm$ 2,25a	-60,24 $\pm$ 1,77a	15,51 $\pm$ 4,43a	-27,29 $\pm$ 2,12a	-69,53 $\pm$ 1,32b	-26,94 $\pm$ 3,31	-40,47 $\pm$ 2,85a
25BG	-12,54 $\pm$ 2,71a	-9,31 $\pm$ 5,33a	-39,02 $\pm$ 11,90a	3,14 $\pm$ 18,89a	-30,71 $\pm$ 4,64a	-66,9 $\pm$ 0,43a	-20,6 $\pm$ 2,41a	-56,54 $\pm$ 6,50a
50BG	-14,86 $\pm$ 2,13a	-4,73 $\pm$ 4,87a	-32,91 $\pm$ 3,35a	12,2 $\pm$ 4,75a	-31,18 $\pm$ 5,1a	-56,44 $\pm$ 0,82b	-23,95 $\pm$ 8,45a	-51,71 $\pm$ 1,65b

Δ CO = teor de carbono orgânico; Δ N = teor de nitrogênio; Δ P = teor de fósforo; Δ K = teor de potássio; Δ Na = teor de sódio. Média $\pm$ SD, n = 3. Δ Lig = teor de lignina; Δ Hem = teor de hemicelulose; Δ Cel = teor de celulose. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas de acordo com o teste de Tukey a 5% (0,05). Números dos tratamentos indicam proporções de bagaço de cana (BG) complementados proporcionalmente com folhas de bananeira.

Fonte: Silva, S.A (2023).

De forma geral, ocorre redução nos teores de carbono, fósforo, nitrogênio (exceto alguns tratamentos), sódio e potássio. O mesmo efeito foi constatado por Sales-Campos (2008) e Andrade (2007). Bem como degradação preferencial de lignina e celulose e consumo relativamente menor de hemicelulose.

Em relação aos tratamentos 25BG e 50BG de *Pleurotus djamor*, o aumento do teor de nitrogênio no substrato relaciona-se com a capacidade do fungo e/ou de microrganismos associados a microsfera deste em absorver e fixar esse componente, além disso pode ser atribuído a decomposição de carboidratos totais, fibras bruta, celulose e hemicelulose, as quais são utilizadas pelo fungo desde o estágio inicial de desenvolvimento (SADAR *et al*, 2017).

Os resultados indicam que ambas as espécies de *Pleurotus* degradam de forma mais eficiente a lignina em detrimento dos demais componentes lignocelulósicos. Esse padrão biodegradativo está de acordo com as características da espécie, pois os cogumelos do gênero *Pleurotus* após a degradação da lignina, utilizam celulose e hemicelulose, disponíveis em resíduos vegetais, como as principais fontes de carbono para o seu desenvolvimento, o que ocorre logo após o uso de carboidratos disponíveis no substrato, sendo que parte destes é usada para manutenção do metabolismo e a outra é retida no substrato. Assim, essa bioconversão deve-se ao rico e diverso coquetel enzimático hidrolítico e oxidativo das espécies (SÁNCHEZ, 2009; RAJARATHNAM; BANO; MILES, 1984).

Segundo Fayssa (2020), fungos de podridão branca, como as espécies de *Pleurotus*, apresentam diferentes exigências nutricionais durante o ciclo de vida. Dessa forma, durante a fase de colonização degradam preferencialmente a lignina, por meio do sistema oxidativo de diversas enzimas, como lacases e peróxidasas. Na formação dos corpos de frutificação, consomem celulose e hemicelulose, através do sistema hidrolítico e ação de celulasas e xilanasas, respectivamente. Por isso, a degradação da lignina é um pré-requisito para o fungo utilizar os demais polímeros como fonte nutricional, pois mesmo em quantidades menores do que os demais polissacarídeos, a presença de lignina restringe o acesso a hemicelulose e celulose. Por isso, colonizam mais rapidamente substratos ricos em lignina (FIGUEIRÓ; GRACIOLLI, 2011; VALADARES, 2013; PANDEY, 2020).

De acordo Premkumar *et al.* (2018), a atividade enzimática é estimulada ou inibida em razão da composição físico-química dos substratos. Os mesmos autores evidenciaram que maior produção de celulasas e xilanase por *Pleurotus djamor* foi induzida em substratos com maior teor de lignina. Embora a presente pesquisa não conte com análises enzimáticas, a partir do comportamento biodegradativo observado, pode se inferir que as *P. ostreatus* e *P. djamor*

possuem capacidade de produzir xilanase e outras enzimas hidrolíticas e oxidativas de forma independente ao substrato de cultivo, uma vez que não houve diferenças significativas nas taxas de decomposição de hemicelulose por ambas as espécies.

Dessa forma, as espécies mostram-se adaptadas ecologicamente aos substratos, uma vez que taxa de secreção enzimática representa um parâmetro adaptativo ao substrato de desenvolvimento (RAJARATHNAM; BANO; MILES, 1984). No entanto, estudos complementares a nível enzimático devem ser realizados a fim de comprovar ou não esse efeito pois, de acordo com Campos-Sales (2008), o grau de degradação varia de acordo com características genética das espécies de *Pleurotus*, fatores físicos-ambientais, químicos e biológicos.

6 CONCLUSÃO

O tratamento 25BG (25% de bagaço de cana + 75% de folhas de bananeira) fornece as melhores condições nutricionais para o desenvolvimento de *Pleurotus djamor* favorecendo um rápido crescimento micelial e promovendo maiores taxas de degradação do substrato.

Pleurotus ostreatus desenvolve-se independentemente ao substrato de cultivo com eficiência biológica média de 95%.

Entre as características mais destacáveis entre as espécies cultivadas em folhas de bananeira e bagaço de cana, *Pleurotus ostreatus* possui maior influência sob os parâmetros produtivos e *P. djamor* relaciona-se com aspectos biodegradativos.

O cultivo de cogumelos comestíveis do gênero *Pleurotus* representa uma alternativa sustentável, economicamente viável e promissora para gestão dos principais resíduos lignocelulósicos gerados no Brejo Paraibano.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos com a presente pesquisa, as características produtivas e biodegradativas dos cogumelos do gênero *Pleurotus* permitem o reaproveitamento dos principais resíduos lignocelulósicos disponíveis na região do Brejo Paraibano. Assim, o cultivo de cogumelos pode ser tido com uma proposta promissora e sustentável para o reaproveitamento de bagaço de cana e folha de bananeiras, promovendo desenvolvimento econômico local e permitindo que os cogumelos comestíveis se tornem mais acessíveis a nível regional.

Do ponto de vista acadêmico-científico é necessário analisar o perfil enzimático das espécies, a fim de aprimorar padrões produtivos desejáveis, bem como estudar a potencialidades do substrato pós cultivo de cogumelos gerados.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-HAMID, A. M.; SOLBIATI, J. O.; CANN, I.K.O. Insights into lignin degradation and its potential industrial applications. In: **Advances in applied microbiology**. Academic Press, 2013. p. 1-28.
- ACHARYA, K.; KHATUA, S.A; RAY, S. Quality assessment and antioxidant study of *Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 7, n. 6, p. 105-110, 2017.
- AGUIAR, L. V. B.; SALES- CAMPOS, C.; GOUVÊA, P.R.S.; VIANES, B.F.; DIAS, E.S.; CHEVREUIL, L.R. Métodos de desinfecção de substrato na produção e composição nutricional de um cogumelo-ostra silvestre da Amazônia. **Ciência e Agrotecnologia** , v. 45, 2021.
- AHMAD, T.; DANISH, M. Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. **Journal of environmental management**, v. 206, p. 330-348, 2018.
- ALBERTÓ, E. **Cultivo intensivo de los hongos comestibles: cómo cultivar champiñones, girgolas, shiitake y otras especies**. 1 ed. Buenos Aires. 2008.
- ANDRADE, C. P. **Meios de cultura alternativos para produção de biomassa de *Pleurotus eryngii***. 2017. Bacharelado em Ciências Biológicas – Universidade Estadual do Amazonas, Manaus, 2017.
- ANDRADE, M. C. N. **Crescimento micelial, produção e características bromatológicas do shiitake em função de linhagens e de propriedades físicas e químicas de espécies e clones de eucalipto**. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, UNESP-Botucatu, 2007.
- ARAÚJO, A. J. M. **Promoção do empreendedorismo local, projeto para a criação da empresa "cogumelos da vila"**. 2014. Dissertação (Mestrado em Gestão de Empresas Familiares e Empreendedorismo) - Programa de Pós-Graduação Gestão de Empresas Familiares e Empreendedorismos Instituto Politécnico, 2014.
- ATALLAH, E.; ZEAITER, J.; AHMAD, M.N.; LEAHY, J.J.; KWAPINSKI, W. Hydrothermal carbonization of spent mushroom compost waste compared against torrefaction and pyrolysis. **Fuel Processing Technology**, v. 216, p. 106795, 2021.
- ATILA, F. Evaluation of suitability of various agro-wastes for productivity of *Pleurotus djamor*, *Pleurotus citrinopileatus* and *Pleurotus eryngii* mushrooms. **J Exp Agric Int**, v. 17, n. 5, p. 1-11, 2017.
- BARH, A.; SHARMA, V.; ANNEPU, S.K.; KUMARI.; KAMAL, S; KUMAR, A. Estimation of genetic diversity for interspecific hybridization in *Pleurotus spp*. **Vegetos**, p. 1-10, 2023.
- BELLETTINI, M. B.; FIORDA, F; A.; MAIEVES, H.A.; ÁVILA, G.T.L.; HORNUNG, P.S.; JÚNIOR, A.M; RIBANI,R.H. Factors affecting mushroom *Pleurotus spp*. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 4, p. 633–646, 2016.
- BERBARA, R. L. L. **Bioprospecção de macrofungos da classe basidiomycetes da floresta nacional Mário Xavier em Seropédica – RJ**. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia e

Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia e Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

BOIAGO, L. B. **O cultivo do cogumelo ostra, revisão**. 2020. Trabalho de conclusão de curso - Centro Universitário Toledo, Araçatuba. 2020.

CAMARA, M. C. **Cultivo do cogumelo comestível *Pleurotus djamor* em diferentes misturas de caroço de algodão e bagaço de cevada**. 2014. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Biotecnologia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Grande Dourados, 2014.

CAPRA, R.S; TONIN, F. B. Ascensão do cultivo de cogumelos comestíveis no Brasil. In: **VIII JORNACITEC-Jornada Científica e Tecnológica**. 2019.

CARDONA PÉREZ, D. M. **Evaluación de la actividad antioxidante de *Pleurotus djamor* cultivado en seis combinaciones de sustrato**. 2021. Tesis profesional por etapa –Obtener el título de Biólogo. Universidad Autónoma Del Estado De Morelos, Facultad De Ciencias Biológicas, Cuernavaca, 2021.

CARRASCO-CABRERA, C.P.; BELL, T.L.; KERTÉSZ, M. Caffeine metabolism during cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) with spent coffee grounds. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 103(14), 5831-5841, 2019.

CARVALHO, C. S. M. D.; AGUIAR, L.V.B.; SALES-CAMPOS, C.; MINHONI, M.T.A.; ANDRADE, M.C.N. Applicability of the use of waste from different banana cultivars for the cultivation of the oyster mushroom. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 43, n. 2, p. 819–826, 2012.

CARVALHO, P. I. A. de; SALES, M. R. B.; ARAGÃO NETO, J. C.; FERREIRA, F. V. Resíduos agroindustriais como substrato para cultivo indoor de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotus ostreatus*. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, n. 4, p. 330–339, 2021.

CAVALCANTE, F. S.; CAMPOS, M.C.C.; SILVA, V.V.; LIMA, J.P.S Macrófungos pertencentes à família Polyporaceae no sudoeste da Amazônia, Brasil. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 1, p. 154-169, 2021

CHUANG, W. Y.; LIU, C.H.; TSAY, C.F.; LIN, W.C.; CHANG, S.C.; SHIH, H.D.; SHY, Y.M.; LEE, T.. Evaluation of waste mushroom compost as a feed supplement and its effects on the fat metabolism and antioxidant capacity of broilers. **Animals**, v. 10, n. 3, p. 445, 2020.

COELHO, M.P.S.V.; FIGUEIREDO, A.S.; MARTIM, S.R.; TEIXEIRA, M.F.S. Ciclo de produção de cogumelos comestíveis cultivados em resíduos lignocelulósicos da fruticultura Amazônica: um estudo de caso. **Concilium**, v. 22, n. 2, p. 284-294, 2022.

CORRÊA, R. C. G.; BRUGNARI, T.; BRACHT, A.; PERALTA, R.M.; FERREIRA, I.C.F.R. Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus spp.* (Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. **Trends in Food Science & Technology**, v. 50, p. 103-117, 2016.

COSTA, W. L S.D.; BOCCHI, M. L..M Aplicações do bagaço da cana-de-açúcar utilizadas na atualidade. **Ciência & Tecnologia**, v. 4, n. 1, 2012.

DE CARVALHO, P. I. A.; SALES, M.R.B.; NETO, J.C.A; FERREIRA, F.V. Resíduos agroindustriais como substrato para cultivo indoor de cogumelos comestíveis da espécie

Pleurotus ostreatus. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, n. 4, p. 330-339, 2021.

DE MOURA, G.R.; OKURA, M.H. Cogumelos comestíveis no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e24711830830-e24711830830, 2022.

DE OLIVEIRA, A.P.; NAOZUKA, J. Preliminary results on the feasibility of producing selenium-enriched pink (*Pleurotus djamor*) and white (*Pleurotus ostreatus*) oyster mushrooms: Bioaccumulation, bioaccessibility, and Se-proteins distribution. **Microchemical Journal**, v. 145, p. 1143-1150, 2019.

DEEPALAKSHMI, K.; SANKARAN, M. *Pleurotus ostreatus*: an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. **Journal of Biochemical Technology**, v. 5, n. 2, p. 718-726, 2014.

DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. **Métodos para análises de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2012. 214p.

DISSASA, G. Cultivation of different oyster mushroom (*Pleurotus* species) on coffee waste and determination of their relative biological efficiency and pectinase enzyme production, Ethiopia. **International Journal of Microbiology**, v. 2022, 2022.

DONG, X. Q.; YANG, J. S.; ZHU, N.; WANG, E. T.; YUAN, H. L. Sugarcane bagasse degradation and characterization of three white-rot fungi. **Bioresource technology**, 131, 443-451, 2013.

DONINI, L.P.; BERNARDI, E.; MINOTTO, E.; NASCIMENTO, J.S.; *et al.* Cultivation of shimejii on elephant grass substrate supplemented with different kinds of bran. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 1, p. 67-74, 2009.

DOROŠKI, A.; KLAUSS, A.; JAMBRAK, A.R.; DJEKIC, I. Food Waste Originated Material as an Alternative Substrate Used for the Cultivation of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*): A Review. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 12509, 2022.

ECONOMOU, C. N.; PHILIPPOUSSIS, A. N.; DIAMANTOPOULOU, P. A. Spent mushroom substrate for a second cultivation cycle of *Pleurotus* mushrooms and dephenolization of agro-industrial wastewaters. **FEMS Microbiology Letters**, v. 367, n. 8, p. 060, 2020.

EL SHEIKHA, A. F.; HU, D.M. How to trace the geographic origin of mushrooms?. **Trends in Food Science & Technology**, v. 78, p. 292-303, 2018.

EL-RAMADY, H.; ABDALLA, N.; ZAKARIA, F.; BADGAR, K.; LIANAJ, X.; TORŐS, G.; HADJÚ, P.; EID, Y.; PROKISCH, J. Green Biotechnology of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.): A Sustainable Strategy for Myco-Remediation and Bio-Fermentation. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3667, 2022.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. (G. K. Donagema, D. V. B. de Campos, S. B. Calderano, W. G. Teixeira, & J. H. M. Viana, Eds.). Embrapa Solos (3a ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2019..

ESTRADA, A. E.; PECCHIA, J. **Cultivation of *Pleurotus ostreatus*. Edible and medicinal mushrooms: technology and applications**, 339-360, 2017.

FAYSSAL, S.; ALSANAD, M.A.; SEBAALY, Z.E.; ISMAIL, A.I.; SASSINE, Y.N. Valorization of olive pruning residues through bioconversion into edible mushroom *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm.(1871) of improved nutritional value. **Scientifica**, v. 2020, 2020.

FERNANDES, E. R. K.; MARANGONI, C.; SOUZA, O.; SELLIN, N. Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. **Energy conversion and management**, v. 75, p. 603-608, 2013.

FLORENTINO, J.T. **Pragas e doenças associadas à cultura da bananeira no estado da Paraíba**. Trabalho de conclusão de curso – Bacharelado em Agronomia, Areia 2020.

FONSECA, T.R.B. ***Pleurotus ostreatoroseus* DPUA 1720: avaliação do crescimento, produção de basidioma e determinação da atividade proteolítica em resíduos agroindustriais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

FRANCK, J.A. **Macrofungos saprofíticos comestíveis da mata atlântica catarinense e aspectos relacionados à produção comercial de cogumelos**. 2019. Licenciatura em Ciências Biológicas – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

FUFA, B.K.; TADESSE, B.A.; TULU, M. M. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on agricultural wastes and their combination. **International Journal of Agronomy**, v. 2021, p. 1-6, 2021.

GRIMM, D.; WÖSTEN, H.; Mushroom cultivation in the circular economy. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 102, p. 7795-7803, 2018.

HANAFI, F. H. M.; REZANIA, S.; TAIB, S. M.; DIN, M. F. M.; YAMAUCHI, M., SAKAMOTO, M.; EBRAHIMI, S. S. Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 3, p. 1383-1396, 2018.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>. Acesso em 19 de janeiro de 2023.

JEGADEESH, R.; LAKSHMANAN, H.; KAB-YEUL, J.; SABAR-ATNAM, V.; RAAMAN, N. Cultivation of Pink Oyster mushroom *Pleurotus djamor* var. *roseus* on various agro-residues by low-cost technique. **J Mycopathol Res**, v. 56, n. 3, p. 213-220, 2018.

KHAN, M.A. TANIA, M. Nutritional and medicinal importance of *Pleurotus* mushrooms: an overview. **Food Reviews International**, v. 28, n. 3, p. 313-329, 2012.

KOUTROTSIOS, G.; KALOGEROPOULOS, N.; KALIORA, A.; ZERVAKIS, G. I.; Toward an increased functionality in oyster (*Pleurotus*) mushrooms produced on grape marc or olive mill wastes serving as sources of bioactive compounds. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 66, n. 24, p. 5971-5983, 2018.

KUHAR, F.; FURCI, G.; DRESCHSLER-SANTOS, E.R.; PFISTER, D.H. Delimitation of Funga as a valid term for the diversity of fungal communities: the Fauna, Flora & Funga proposal (FF&F). **IMA Fungus**, v. 9, n. 2, p. A71-A74, 2018.

LEONG, Y.K.; MA, Y.W.; CHANG, J.S.; YANG, F.C.. Recent advances and future directions on the valorization of spent mushroom substrate (SMS): A review. **Bioresource technology**, v. 344, p. 126157, 2022

LI, F.; KONG, Q.; ZHANG, Q.; WANG, H.; WANG, L.; LUO, T. Spent mushroom substrates affect soil humus composition, microbial biomass and functional diversity in paddy fields. **Applied soil ecology**, v. 149, p. 103489, 2020.

LI, H.; Tian Y.; Menoli Jr,N.; YE,L; Karunaratha,S. C.; PEREZ-MORENO,J.; RAHMAN,M.M.; RASHID,M.H.; PHENG SINTHAM,P.; RIZAL,L.;KASUYA,T.; LIM, Y.W.; DUTTA,A.K.; KHALID,A.N.; HUYEN, T.H.; BALOLONG,M.P.; BARUAH,G.; MADAWALA, S.; THONGKLANG,N; HYDE,K.D.; KIRK.; XU, J. Reviewing the world's edible mushroom species: A new evidence-based classification system. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 2, p. 1982-2014, 2021.

LUNARDI, J.S. **Cultivo de *Pleurotus ostreatus* utilizando bagaço de malte, serragem e casca de arroz**. 2019. Trabalho de conclusão de curso- Universidade Federal do rio Grande do Sul, Bacharelado em Engenharia Química.2019.

LUO, X.; YAUN, X.; WANG, S.; SUN, F.; ZHANSHAN, H.; HU, Q.; ZHAI, L.; CUI, Z.; ZOU, Y. Methane production and characteristics of the microbial community in the co-digestion of spent mushroom substrate with dairy manure. **Bioresource technology**, v. 250, p. 611-620, 2018.

MA, N. L.; KHOO, S.C.; PENG, W.; NG, C. M.; THE, C. H.; PARK, Y.; LAM, S.S. Green application and toxic risk of used diaper and food waste as growth substitute for sustainable cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). **Journal of cleaner production**, v. 268, p. 12-27, 2020.

MAFTOUN, P.; JOHARI, H., SOLTANI, M.; MALIK, R.; OTHAMAN, N.H.; ENSHASY, E. The edible mushroom *Pleurotus* spp.: I. Biodiversity and nutritional values. **International Journal of Biotechnology for Wellness Industries**, v. 4, n. 2, p. 67, 2015.

MANCILHA, E. S. D. L. **Seleção de Basidiomycetes coletados e isolados em área de Mata Atlântica-PE, com atividade fenoxidase e sua aplicação na descoloração de corantes sintéticos**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

MANN, M.K.; SOOCH, B.S. Utilization of Fruit and Vegetable Wastes for the Cultivation of Edible Mushrooms. In: **Fruits and Vegetable Wastes: Valorization to Bioproducts and Platform Chemicals**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 117-138.

MARINO, R. H.; ABREU, L. D.; MESQUITA, J. B.; RIBEIRO, G, T. Crescimento e cultivo de diferentes isolados de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kummer em serragem da casca de coco. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 75, p. 29-36, 2021.

MARTÍNEZ-FLORES, H. E.; CONTRERAS-CHÁVEZ, R.; GARNICA-ROMO, M. G. Effect of extraction processes on bioactive compounds from *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus djamor*: Their applications in the synthesis of silver nanoparticles. **Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials**, v. 31, p. 1406-1418, 2021.

MARTINS, O.G.; ABILIO, D.P.; SIQUEIRA, O. A. P. A.; RONCHESEL, M; ANDRADE, M.C.N. Sobra de alimentos como alternativa para a formulação de novos substratos para o

cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Basidiomycota, Fungi). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 2, p. 505-518, 2018.

MATA, G.; SALMONES, D.; SAVOIE, J. M. . Lignocellulolytic enzymes of *Pleurotus spp.* In: SÁNCHEZ, J.R.; ROYSE, D. **La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus spp.*** Chiapas, México D. F.: ECOSUR, 2017. p 63-82.

MIHAI, R.A.; HELO, E.J.; FLORESCU, L.I.; CATANA, R.D. The edible gray oyster fungi *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm a potent waste consumer, a biofriendly species with antioxidant activity depending on the growth substrate. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 3, p. 274, 2022.

MONTEIRO, R. E.P. **Fermentação em estado sólido da borra de café para o cultivo de shimeji-preto (*Pleurotus ostreatus* Jacq.).** Trabalho de conclusão de curso- Universidade Federal da Paraíba, Bacharelado em Agronomia. 2022.

MUELLER, G. M.; SCHMIT, J.P.; LEACOCK, P.R.; BUYCK, B.; CIFUENTES, J.; DESJARDIN, D.E.; HALLING, R.E.; HJÖRTSTAM, K.; ITURRIAGA, T.; LARSSON, K.; LODGE, D.J.; MAY, T. W.; MINTER, D.; RAJCHENBERG, M.; REDHEAD, S.; RYVARDEN, L.; TRAPPE, J.M.; WATLING, R.; WU, Q. Global diversity and distribution of macrofungi. **Biodiversity and conservation**, v. 16, n. 1, p. 37-48, 2007.

NIEGO, A.G.; RAPIOR, S.; THONGKLANG, N.; HYDE, K.D.; MORTIMER, P. Reviewing the contributions of macrofungi to forest ecosystem processes and services. **Fungal Biology Reviews**, v. 44, p. 100294, 2023.

NIEGO, A.G.; RAPIOR, S.; THONGKLANG, N.; RASPÉ, O.; JAIDEE, W.; LUMYOUNG, S.; HYDE, K.D. Macrofungi as a nutraceutical source: promising bioactive compounds and market value. **Journal of Fungi** , v. 7, n. 5, p. 397, 2021.

OLIVEIRA, A.P. **Avaliação do enriquecimento de cogumelos com selênio e efeitos antagônicos com elementos tóxicos.** 2022. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêutica, Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2022.

PANDEY, A.K.; RAJAN, S.; SARSAIYA, S.; JAIN, S.K. Mushroom for the national circular economy. **Int. J. Sci. Res. in Biological Sciences Vol**, v. 7, n. 6, 2020.

PARDO-GIMÉNEZ, A.; ZIED, D.C.; ÓRTI-ALVAREZ, M.; RÚBIO, M.; PARDO, J. E. Effect of supplementing compost with grapeseed meal on *Agaricus bisporus* production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 8, p. 1665-1671, 2012.

PARREIRA, C.I.V. **Cogumelos na ecopista de Évora-diversidade de macrofungos do solo.** 2020. Dissertação (Mestrado em Biologia da Conservação), Universidade de Évora, 2020.

PATEL, Y.; NARAIAN, R.; SINGH, V. K. Medicinal properties of *Pleurotus* species (oyster mushroom): a review. **World Journal of Fungal and Plant Biology**, v. 3, n. 1, p. 1-12, 2012.

PATHAK, P.; SINGH, C.; CHAUDHARY, N.; RATHI, A.; VYAS, D. Fertilizing with spent mushroom compost. Recent Trends Mushroom Biol. 1st ed., Delhi: **Global books Organization**, 175-186, 2021.

PATRÍCIO, A.S.; MENDOZA, A.Y.G.; CAVALCANTE, F.S.; SANTOS, V.S.; LIMA, R.A. Levantamento de Macrofungos na Reserva Natural de Palmari, Atalaia do Norte, Amazonas, Brasil. **Biodiversidade**, v. 20, n. 3, 2021.

PAUL, T.T.; NGOZIKA, I.P. Growth Performance and Yield of the Edible White Rot Fungus (*Pleurotus ostreatus*) on Different Agro Waste Materials. **International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering**, v. 11, n. 8, p. 648-651, 2017.

PERALTA, R.M.; SILVA, B.P.D.; CÔRREA, R.C.B.; KATO, C.G.; SEIXAS, F.A.V.; BRACHT, A. Enzymes from basidiomycetes peculiar and efficient tools for biotechnology. In: **Biotechnology of microbial enzymes**. Academic Press, p. 119-149, 2017

PEREIRA, N.R.; ANJOS, F. E.; MAGNAGO, R. F. Resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sobre os processos químicos de extração da celulose. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 4, p. 1165-1179, 2019.

PÉREZ-CHÁVEZ, A. M.; MAYER, L.; ALBERTÓ, E. Mushroom cultivation and biogas production: A sustainable reuse of organic resources. **Energy for Sustainable Development**, v. 50, p. 50-60, 2019.

PÉREZ-MONTES, A.; RANGEL-VARGAS, E.; LORENZO, J.M.; ROMERO, L.; SANTOS, E.M. Edible mushrooms as a novel trend in the development of healthier meat products. **Current Opinion in Food Science**, v. 37, p. 118-124, 2021.

PETERSEN, R. H. Plasticidade fenética em *Pleurotus diamor*. **MICOTAXON**. v. 76, p 17-37, 2000.

PHAN, C. W.; SABARATNAM, V. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 96, n. 4, p. 863-873, 2012.

Pleurotus in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB95139>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

PREMKUMAR, G.; MUTHURAMKUMAR, S.; Kannan, M.; VARATHARAJU, G.; RAJARATHINAM, K. Cellulase and xylanase production by *Pleurotus* sp. on mixed substrate system. **J Biotechnol Biomater**, v. 8, n. 2, p. 1-4, 2018.

RABUSKE, R. E.; DUPONT, A.; PUTZKE, J.; PUTZKE, M.T.L. Substratos alternativos para o cultivo do cogumelo comestível ostra salmão: *Pleurotus djamor*. **Caderno de Pesquisa**, v. 31, n. 2, p. 22-24, 2019.

RAJAPAKSE, J.C.; RUBASINGHA, P.; DISSANAYAKE, N.N. The effect of six substrate on the growth and yield of american oyster mushroom based on juncao technology. **Manakin Repository**, 2007

RAJARATHNAM, S.; BANO, Zakia; MILES, P. G. *Pleurotus mushrooms*. Part I A. morphology, life cycle, taxonomy, breeding, and cultivation. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 26, n. 2, p. 157-223, 1987.

RAMAN, J.; JANG, K.; OH, Y.; OH, M. IM, J.; LAKSHMANAN, H.; SABARATNAM, V. Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus spp.*: an overview. **Mycobiology**, v. 49, n. 1, p. 1-14, 2021.

RAY, R. C.; BEHERA, S. S. Solid state fermentation for production of microbial cellulases. In: **Biotechnology of microbial enzymes**. p. 43-79, 2017.

- REKSOHADIWINOTO, B. S.; ROSMALAWATI, S.; CAHYANA, P.T.; HARIYANTO, B. Enzim laccase dari edible mushroom untuk pemutihan pati sagu ramah lingkungan. **Jurnal Teknologi Lingkungan**, v. 18, n. 2, p. 224-232, 2017.
- RINKER, D.L. Spent mushroom substrate uses. **Edible and medicinal mushrooms: Technology and applications**, v. 1, p. 427-454, 2017.
- ROYSE, J.D.; BAARS, J.; TAN, Q. Current overview of mushroom production in the world. **Edible and medicinal mushrooms: technology and applications**, p. 5-13, 2017.
- SADH, P. K.; DUHAN, S.; DUHAN, J.S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2018.
- SALES-CAMPOS, C. **Aproveitamento de resíduos madeireiros e da agroindústria regional para o cultivo de fungos comestíveis de ocorrência na região amazônica**. 2008. Tese (Doutorado em Biotecnologia) — Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.
- SALES-CAMPOS, C.; ARAÚJO, L. M.; MINHONI, M.T.A.; ANDRADE, M.C.N. Análise físico-química e composição nutricional da matéria prima e de substratos pré e pós cultivo de *Pleurotus ostreatus*. **Volume 35, Pags. 70-76**, 2010.
- SALES-CAMPOS, C.; ALMEIDA MINHONI, M.T.D; ANDRADE, M.C.N.D. *Pleurotus ostreatus* em resíduos da Amazônia. **Interciencia**, v. 35, n. 3, p. 198-201, 2010.
- SALMONES, D. *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. **Revista mexicana de micología**, v. 46, p. 73-85, 2017.
- SÁNCHEZ, J. E.; GALLEGOS, R.A.; RUIZ, L.M.; MORALES, R.C. **Aportaciones de ecosur al conocimiento de macromicetos y al desarrollo de tecnología para su cultivo y aprovechamiento**. Chiapas, México: ECOSUR, 2017. p 721-783.
- SANTANA, R.S. **Produção, pré-purificação e caracterização bioquímica de enzimas proteolíticas com ação fibrinolítica de cogumelos comestíveis**. 2022. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) — Programa Multi-Institucional de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.
- SARDAR, H.; ALI, M.A.; ANJUM, M.A.; NAWAZ, F.; HUSSAIN, S.; NAZ, S.; KARIMI, S.M. Agro-industrial residues influence mineral elements accumulation and nutritional composition of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*). **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 327-334, 2017.
- SEKAN, A.S.; MYRONCHEVA, O.S.; KARLSSON, O.; GRYGANSKYI, A.P.; BLUME, Y. Green potential of *Pleurotus* spp. in biotechnology. **PeerJ**, v. 7, p. e6664, 2019.
- SGANZERLA, W. G.; TODOROV, S. D.; DA SILVA, A.P.G. Research Trends in the Study of Edible Mushrooms: Nutritional Properties and Health Benefits. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 24, n. 5, 2022.
- SHARMA, J.; SHARMA, D.; SHARMA, A.; BANSAL, S. Thermo stable tyrosinase purified from *Pleurotus djamor* grown in biomimetic calcium carbonate: A biological strategy to industrial waste remediation. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, p. 101-294, 2021.

- SILVA, D. **Processo integrado de produção de enzimas fibrolíticas, açúcares fermentescíveis e cogumelos comestíveis utilizando resíduos agroindustriais**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2016.
- SILVA, S. A.; ZÁRATE-SALAZAR, J.R.; COSTA, N.K.A.; SANTOS, J.V.A.; ARAÚJO, M.H.C; DIAS, B.O. Uso da micofiltração no tratamento da água contaminada. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 11, n. 2, p.1-10, 2023
- SILVA, S. A.; ZÁRATE-SALAZAR, J.R.; SOUZA, H. A.N.; MEDEIROS, R.S.; ARAÚJO, M.H.C; COSTA, N.K.A.; DIAS, B.O. Reciclagem de folhas de bananeira e bagaço de cana para produção do ‘cogumelo ostra rosa’ em Areia, PB. **Inovações em ciência e tecnologia de alimentos**. Jardim do Seridó: Agroon Food.
- SINGH, U. B.; MALVYJA, D.; WASIULLAH, K.; SINGH, S.; KARTHIKEYAN, N.; IMRAM,M.; RAI, J.P.; SARMA, B.K.; MANNA, M.C.; CHAURASSIA, R.; SHARMA, A.K.; P,D.; OH, J.W Earthworm grazed-Trichoderma harzianum biofortified spent mushroom substrates modulate accumulation of natural antioxidants and bio-fortification of mineral nutrients in tomato. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1017, 2018.
- STAMETS, P. E. (2005). **Mycelium running: how mushrooms can help save the world**. Berkeley: Ten Speed Pres. California,p 59-61,2005.
- STASTNY, J.; MARSIK, P.; TAUCHEN, J.; BOZIK, M.; MASCELLANI, A.; HAVLIK, J; LANDA, P.; JABLONSKY, I.; TREML, J.; HERCZOGOVA, P.; BLEVA, R.; SYNITSYA, A.; KLOUCEK. Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity of Five Medicinal Mushrooms of the Genus *Pleurotus*. **Antioxidants**, v. 11, n. 8, p. 1569, 2022.
- STURION, G.L. **Utilização da folha de bananeira como substrato para o cultivo de cogumelos comestíveis (*Pleurotus* spp.)**. 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Programa de Pós-Graduação em Ciências, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- SURYADI, H.; JUDONO, J. J.; PUTRI, R.M.; ECLESIA, A. D.; ULHAQ, J. M.; AGUSTINA, D.N.; SUMIATI, T. Biodelignification of lignocellulose using ligninolytic enzymes from white-rot fungi. **Heliyon**, p. e08865, 2022.
- TAVARES, A. C. D. **Cultivo do cogumelo comestível *Pleurotus ostreatus* INPA 1467: Produção, composição centesimal e mineral**. 2015. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.
- TAVARWISA, D.M.; GOVERA, C.; MUTETWA, M.; NGEZIMANA, W. Evaluating the suitability of baobab fruit shells as substrate for growing oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). **International Journal of Agronomy**, v. 2021, p. 1-7, 2021.
- TRIPATHI, N. N.; SINGH, ; VISHWAKARMA, P. . Biodiversity of macrofungi with special reference to edible forms: a review. **J Indian Bot Soc**, v. 96, n. 3, p. 144-187, 2017.
- URBEN, A.F. **Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde**. Editora técnica. 3.ed rev. e ampl., Embrapa: Brasília-DF, 2017.
- VALADARES, F.L. **Produção e uso de enzimas derivadas do fungo *Pleurotus ostreatus* na hidrólise de bagaço de cana pré-tratado por processo quimiotermomecânico**. 2013.

Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial, Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, 2013.

VALÉRIO, T.P. **Utilização de resíduos lignocelulósicos de palmito pupunha (*Bactris gasipaes*) para o cultivo de cogumelo (*Pleurotus ostreatus*)**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021.

VEGA, A.; FRANCO, H. Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles *Pleurotus pulmonarius* RN2 y *P. djamor* RN81 y RN82 cultivados sobre sustratos lignocelulósicos. **Información tecnológica**, v. 24, n. 1, p. 69-78, 2013.

VEGA, A.; LEÓN, J.D.; MIRANDA, S.; REYES, S. Agro-industrial waste improves the nutritional and antioxidant profile of *Pleurotus djamor*. **Cleaner Waste Systems**, v. 2, p. 100018, 2022.

VEGA, A; MATA, G; SALMONES, D; CABALLERO, R. E. Cultivo de cepas nativas de *Pleurotus djamor* en Panamá, en paja de arroz y pulpa de café. **Scientia Fungorum**, n. 23, p. 93-97, 2006.

VELIOGLU, Z.; UREK, R. O. Optimization of cultural conditions for biosurfactant production by *Pleurotus djamor* in solid state fermentation. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 120, n. 5, p. 526-531, 2015.

VIEIRA JUNIOR, W. G.; CARDOSO, R.V.C.; FERNANDES, A.; FERREIRA, I. C. F. R.; BARROS, L.; PARDO-GIMÉNEZ, A.; SOARES, D. M. M.; STEVANI, C.V.; ZIED, D.C. Influence of strains and environmental cultivation conditions on the bioconversion of ergosterol and vitamin D2 in the sun mushroom. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 4, p. 1699-1706, 2022.

VIEIRA, F. R. **Substrato de cultivo para os cogumelos *Pleurotus ostreatus* e *Agaricus bisporus*: composição físico-química e metagenômica microbiana**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2016.

YE, D.; HU, Q.; BAI, X.; ZHANG, W.; GUO, H. Increasing the value of Phragmites australis straw in a sustainable integrated agriculture model (SIAM) comprising edible mushroom cultivation and spent mushroom substrate compost. **Science of The Total Environment**, v. 869, p. 161807, 2023.

ZÁRATE-SALAZAR, J. R. **Uso de substratos pós-cultivo de cogumelos de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) na recuperação da fertilidade de um Luvisolo degradado**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, 2022.

ZÁRATE-SALAZAR, J. R.; SANTOS, M. N.; CABALLERO, E. N. M.; MARTINS, O. G.; HERRERA, Á. A. P. Use of lignocellulosic corn and rice wastes as substrates for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) cultivation. **SN Applied Sciences**, 2(11), 1-10, 2020.

ZÁRATE-SALAZAR, J.R. **Producción y desarrollo de cuatro aislamientos de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) cultivados en restos de cosecha**. 2015. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2015.

ZHANG, H.; WANG, W.; LI, Z.; YANG, C.; LIANG, S.; WANG, S. *Planifilum fulgidum* Is the Dominant Functional Microorganism in Compost Containing Spent Mushroom Substrate. **Sustainability**, v. 13, n. 18, p. 10002, 2021.

ZIED, D.C.; SANCHEZ, J.E.; NOBRE, R.; PARDO-GIMÉNEZ. Use of spent mushroom substrate in new mushroom crops to promote the transition towards a circular economy. **Agronomy**, v. 10, n. 9, p. 1239, 2020.