

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUÇÃO DE SUBSTRATO PREPARADO PELO MÉTODO
TRADICIONAL E COM BUNKER DE SISTEMA DE
AERAÇÃO FORÇADA (INDOOR) PARA O CULTIVO DO
COGUMELO *Pleurotus ostreatus* var. Florida**

Adriano Taffarel Camargo de Paula

Zootecnista

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUÇÃO DE SUBSTRATO PREPARADO PELO MÉTODO
TRADICIONAL E COM BUNKER DE SISTEMA DE
AERAÇÃO FORÇADA (INDOOR) PARA O CULTIVO DO
COGUMELO *Pleurotus ostreatus* var. Florida**

Discente: Adriano Taffarel Camargo de Paula

Orientador: Prof. Dr. Diego Cunha Zied

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Microbiologia Agropecuária.

P324p

Paula, Adriano Taffarel Camargo de

Produção de substrato preparado pelo método tradicional e com bunker de sistema de aeração forçada (indoor) para o cultivo do cogumelo *Pleurotus ostreatus* var. Florida / Adriano Taffarel Camargo de Paula. -- Jaboticabal, 2026

70 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Diego Cunha Zied

1. Cultivo de cogumelos. 2. Substrato pasteurizado. 3. Bunker com aeração forçada. 4. Compostagem. 5. Resíduos lignocelulósicos. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PRODUÇÃO DE SUBSTRATO PASTEURIZADO PELO MÉTODO TRADICIONAL E COM BUNKER DE SISTEMA DE AERAÇÃO FORÇADA (INDOOR) PARA CULTIVO DO COGUMELO *Pleurotus ostreatus* var. Florida

AUTOR: ADRIANO TAFFAREL CAMARGO DE PAULA

ORIENTADOR: DIEGO CUNHA ZIED

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Microbiologia Agropecuária, pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **DIEGO CUNHA ZIED**
Data: 02/07/2026 16:05:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. DIEGO CUNHA ZIED (Participação Presencial)

Departamento de Produção Vegetal / UNESP / Câmpus de Dracena - FCAT

Documento assinado digitalmente
 **FRANCINE LORENA CUQUEL**
Data: 06/07/2026 13:15:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. FRANCINE LORENA CUQUEL (Participação Virtual)

Departamento de Produção Vegetal na Agricultura Sustentável / Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Curitiba/PR

Profa. Dra. LUCIA MARIA CARARETO ALVES (Participação Virtual)

Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental / UNESP / Câmpus de Jaboticabal - FCAV

Documento assinado digitalmente
 **LUCIA MARIA CARARETO ALVES**
Data: 02/07/2026 16:47:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 01 de julho de 2026.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

O autor, Adriano Taffarel Camargo de Paula, nasceu em 7 de julho de 1998, na cidade de Sorocaba, estado de São Paulo. Graduou-se em dezembro de 2023 no curso de Zootecnia pela Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) na UNESP Câmpus de Botucatu. Na graduação, foi diretor jurídico financeiro da Empresa Júnior de Nutrição de Ruminantes (NUTRIR) por dois anos. Durante a pandemia de COVID-19, iniciou um cultivo comercial de cogumelos junto com a família, enfrentando diversos desafios relacionados à falta de conhecimento técnico, o que incentivou a buscar aprofundamento técnico e científico na área. Em decorrência disso, realizou o estágio supervisionado obrigatório no Centro de Estudos em Cogumelos (CECOG), onde passou a atuar em pesquisas relacionadas ao cultivo de diferentes espécies de cogumelos. Durante o mestrado, realizou pesquisas voltadas ao desenvolvimento de novas tecnologias de compostagem para o preparo de substrato de *Pleurotus ostreatus* var. Florida (shimeji branco), bem como sobre o uso da suplementação com resíduos de amendoim durante a inoculação.

"Os lábios da sabedoria estão fechados, exceto aos ouvidos do entendimento. " – Os Três Iniciados, O Caibalion.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar e abençoar meus caminhos durante esse período.

A minha família, em especial aos meus pais, Alberto e Arlene por todo o apoio, carinho e incentivo ao longo desses anos. Aos meus avós José Bueno (*in memoriam*) e Conceição, que tiveram papel fundamental em minha criação e formação pessoal, ao meu irmão Andrei, por todo o apoio e por sempre ter sido uma grande referência para mim, e ao meu sobrinho Álvaro por todo o carinho e atenção.

A minha namorada Isabel, por todo o apoio, carinho, compreensão e companheirismo durante esse período.

Ao Professor Dr. Diego Cunha Zied, pela orientação, paciência, dedicação, bem como pelas contribuições para a minha formação profissional e por me acolher no Centro de Estudos em Cogumelos.

Aos meus amigos, moradores da república Rã k saia, Bruno, Caio, Gabriel, Kauan, Pedro, Asser, Davi, Matheus, e aos ex-moradores e agregados, como Guilherme, Wagner, Leonardo, Fábio, entre outros, muito obrigado pelas boas memórias.

Aos meus colegas de grupo, Asser, Lucas, Gregory, Marcos, Bruno, Mineo, Leonardo, e aos antigos integrantes Wagner, Cinthia, Pedro e Caio por todo o companheirismo e ensinamentos.

A Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, aos docentes da FCAV, FCAT e ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária pela contribuição na minha formação acadêmica.

A Seção Técnica da Pós-graduação, pela disponibilidade e auxílio. E aos demais colaboradores da FCAV e FCAT, que trabalham diariamente para manter a faculdade em boas condições para o desenvolvimento de ensino, pesquisa e extensão.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
1. INTRODUÇÃO	1
REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Cogumelos comestíveis	3
2.2. <i>Pleurotus ostreatus</i> var. Florida.....	4
2.3. Matérias-primas utilizadas no cultivo de <i>P. ostreatus</i> var. Florida.....	5
2.4. Métodos de produção do substrato para <i>P. ostreatus</i> var. Florida.....	6
2.5. Sistema de bunker com ventilação forçada.....	9
2.6. Suplementação na inoculação	10
REFERÊNCIAS.....	12
Capítulo 2 - Estratégias de compostagem de curta duração para a produção de substrato de <i>Pleurotus ostreatus</i> var. Florida.....	20
RESUMO.....	20
1. INTRODUÇÃO	21
2. MATERIAIS E MÉTODOS	22
2.1. Linhagens.....	22
2.2. Formulação do substrato	23
2.3. Compostagem fase I	23
2.4. Compostagem fase II	24
2.5. Preparo do suplemento, suplementação e inoculação do substrato	24
2.6. Cultivo e colheita de cogumelos	25
2.7. Variáveis analisadas.....	25
2.8. Delineamento experimental e análise dos resultados	26
3. RESULTADOS	26
3.1. Parâmetros de compostagem.....	26
3.2. Parâmetros químicos do substrato	28
3.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	29
3.4. Parâmetros produtivos	30
3.4.1. Interação método x linhagem	31
3.4.2. Interação linhagem x suplemento	32
3.4.3. Interação método x suplemento	33

4. DISCUSSÃO	34
5. CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS.....	40
CAPÍTULO 3 – Produção de substrato para <i>Pleurotus ostreatus</i> var. Florida em compostagem de 9 dias nos sistemas tradicional e bunker com ventilação forçada	45
RESUMO.....	45
1. INTRODUÇÃO	46
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	47
2.1. Linhagens.....	47
2.2. Composição do substrato	47
2.2.1. Preparação do substrato (fase I e fase II da compostagem)	48
2.3. Preparação do suplemento, suplementação e inoculação	49
2.4. Condições de cultivo e colheita dos cogumelos	49
2.5. Monitoramento da temperatura e umidade durante a compostagem	49
2.6. Caracterização química.....	50
2.7. Microscopia eletrônica de varredura.....	50
2.8. Parâmetros produtivos	50
2.9. Delineamento experimental e análises estatísticas	51
3. RESULTADOS	51
3.1. Temperatura e umidade durante a compostagem.....	51
3.2. Caracterização química.....	52
3.3. Microscopia eletrônica de varredura.....	53
3.4. Parâmetros produtivos	54
4. DISCUSSÃO	56
5. CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
CAPÍTULO 4 – Considerações Finais	66
1. Resumo geral dos resultados	66
2. Implicações para a cadeia produtiva	67
3. Perspectivas e recomendações para estudos futuros	68

Produção de substrato preparado pelo método tradicional e com bunker de sistema de aeração forçada (indoor) para o cultivo do cogumelo *Pleurotus ostreatus* var. Florida

RESUMO – No Brasil, o cultivo do cogumelo ostra (*Pleurotus ostreatus* var. Florida) vem crescendo em função da maior demanda por alimentos saudáveis, bem como da capacidade dessa espécie de colonizar e degradar resíduos lignocelulósicos em um ciclo relativamente curto e de ser cultivada em ambientes rústicos. Entretanto, ainda há necessidade de otimizar o processo de compostagem e desenvolver tecnologias alternativas para a obtenção de substratos pasteurizados de qualidade, visando reduzir a contaminação e os custos de produção e aumentar a produtividade. Atualmente, a produção de substrato para cogumelos do gênero *Pleurotus*, especialmente o shimeji branco, utiliza amplamente a compostagem curta, com tempos variáveis de fase I e revolvimentos periódicos para promover a aeração. Entretanto, essa operação demanda mão de obra e combustível para o funcionamento das máquinas. Dessa maneira, este estudo propôs a utilização de um sistema de bunker com aeração forçada como alternativa ao método tradicional com revolvimento. Foram conduzidos dois experimentos com diferentes tempos de compostagem na fase I, sendo o primeiro com cinco dias e o segundo com nove dias, ambos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, considerando o método de compostagem (bunker com aeração forçada e tradicional com revolvimento), duas linhagens comerciais e a presença ou ausência de suplementação com resíduo de amendoim. No primeiro experimento, com cinco dias de fase I, a linhagem POF 23/02 se mostrou sensível ao método de compostagem, obtendo maior produtividade no sistema tradicional, porém quando a suplementação foi associada ao sistema bunker foi possível obter um rendimento produtivo semelhante entre os métodos. Entretanto, a linhagem POF 23/01 apresentou rendimento semelhante independentemente do método de compostagem e da suplementação, demonstrando maior estabilidade produtiva. No segundo experimento, com nove dias de fase I, ambos os métodos apresentaram rendimentos equivalentes para as duas linhagens avaliadas. A suplementação antecipou a frutificação em um dia e incrementou em 2% o rendimento do primeiro fluxo. De maneira geral, os resultados demonstram o potencial do sistema bunker com aeração forçada para a produção de substrato destinado ao cultivo de *P. ostreatus*. A escolha da linhagem também se mostrou importante para a obtenção de rendimento semelhante entre os métodos de compostagem e para a resposta à suplementação. Apesar dos resultados positivos, novos estudos são necessários para avaliar a viabilidade econômica e aprimorar o sistema bunker como alternativa tecnológica para a produção de substrato destinado ao cultivo de *P. ostreatus* var. Florida.

Palavras-chave: Cogumelo ostra, substrato pasteurizado, resíduos lignocelulósicos, bunker com ventilação forçada, compostagem no cultivo de cogumelos.

Production of substrate prepared via the traditional method and using an indoor forced-aeration bunker system for the cultivation of the mushroom *Pleurotus ostreatus* var. Florida

ABSTRACT – In Brazil, the cultivation of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* var. Florida) has been increasing due to the growing demand for healthy foods, as well as the ability of this species to colonize and degrade lignocellulosic residues within a relatively short cycle and to be cultivated under low-technology conditions. However, there is still a need to optimize the composting process and develop alternative technologies for obtaining high-quality pasteurized substrates, aiming to reduce contamination and production costs while increasing productivity. Currently, substrate production for mushrooms of the genus *Pleurotus*, particularly white shimeji, widely relies on short composting processes with variable Phase I durations and periodic turning to promote aeration. However, this operation requires labor and fuel for machinery operation. Therefore, this study proposed the use of a bunker system with forced aeration as an alternative to the traditional turning method. Two experiments were conducted with different Phase I composting durations, the first lasting five days and the second nine days, both arranged in a completely randomized design in a $2 \times 2 \times 2$ factorial scheme, considering the composting method (bunker with forced aeration and traditional method with turning), two commercial strains, and the presence or absence of supplementation with peanut residue. In the first experiment, with a five-day Phase I, strain POF 23/02 was sensitive to the composting method, showing higher productivity under the traditional system. However, when supplementation was associated with the bunker system, similar productivity was obtained between the two methods. In contrast, strain POF 23/01 showed similar yield regardless of the composting method and supplementation, demonstrating greater production stability. In the second experiment, with a nine-day Phase I, both methods showed equivalent yields for the two strains evaluated. Supplementation advanced fruiting by one day and increased the yield of the first flush by 2%. Overall, the results demonstrate the potential of the bunker system with forced aeration for producing substrate for *P. ostreatus* cultivation. Strain selection also proved important for achieving similar yields between composting methods and for determining the response to supplementation. Despite the positive results, further studies are needed to assess the economic feasibility of the process and improve the bunker system as a technological alternative for producing substrate for the cultivation of *P. ostreatus* var. Florida.

Keywords: Oyster mushroom, pasteurized substrate, lignocellulosic residues, forced-aeration bunker, composting in mushroom cultivation.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de alimentos enfrenta diversos desafios, entre os quais se destacam as mudanças climáticas, a escassez hídrica, a degradação dos solos e os processos de desertificação (El-Ramady et al., 2022). Diante desse cenário, tornam-se necessários estudos que explorem fontes alimentares alternativas capazes de contribuir para a mitigação desses problemas globais, abrangendo aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental e à segurança alimentar (El-Ramady et al., 2022; Mishra; Shankar, 2025).

Nesse contexto, a produção de cogumelos mostra-se uma alternativa sustentável e promissora, uma vez que possibilita o aproveitamento de resíduos agrícolas e florestais, tais como, palha de gramíneas, bagaço de cana-de-açúcar, restos de colheita e serragem (Thakur, 2020; Goglio et al., 2024). Além disso, esses organismos possibilitam a geração de alimentos de alto valor nutricional, contendo quantidades expressivas de proteínas, aminoácidos essenciais, fibras, vitaminas e minerais (Doroški et al., 2022; Devi et al., 2024; Martinez-Burgos et al., 2024).

Diante desse potencial, a produção de cogumelos tem se consolidado como um segmento relevante no cenário agroalimentar global. Estima-se que cinco gêneros principais — *Lentinula*, *Pleurotus*, *Auricularia*, *Agaricus* e *Flammulina* – representam aproximadamente 85% da produção mundial (Bijla, 2023). No Brasil, a espécie *Pleurotus ostreatus* var. *Florida* é a mais cultivada (Zied et al., 2019a), devido ao seu potencial gastronômico e pela sua capacidade de utilizar uma ampla variedade de substratos lignocelulósicos, além de sua adaptação a condições tropicais (Ferraro et al., 2022; De Bonis et al., 2024).

Para que esse potencial seja plenamente explorado, a preparação adequada do substrato torna-se um fator determinante para atender as demandas nutricionais e sanitárias do fungo de interesse (Gardeli et al., 2024). Em escala mundial, diversas técnicas são empregadas na preparação de substratos para o cultivo de *Pleurotus* spp., (Bellettini et al., 2019; De Mastro et al., 2023; Caballero et al., 2025). Entretanto o processo de compostagem e pasteurização à vapor tem sido um método amplamente utilizado na preparação do substrato na indústria de cogumelos, por apresentar menor custo, reduzir o risco de contaminações e possibilitar o aproveitamento da infraestrutura

já existente em propriedades produtoras de champignon (Vieira; De Andrade, 2016; De Mastro et al., 2023; Wang et al., 2024).

Embora a compostagem tradicional seja eficiente na produção de substrato de qualidade (Zied et al., 2019a; Guo et al., 2021; De Mastro et al., 2023), essa metodologia demanda bastante mão de obra para o revolvimento e aeração do material (Sema et al., 2021), além de elevado consumo de diesel em máquinas pesadas utilizadas em sistemas de maior escala (Cao et al., 2023). Como consequência, há aumento nos custos de produção, podendo inviabilizar a atividade em contextos de limitada disponibilidade de mão de obra e recursos financeiros (De Cianni; Pippinato; Mancuso, 2023; Zied et al., 2024).

Diante desse cenário, destaca-se a utilização de bunkers com ventilação forçada como alternativa ao sistema tradicional, técnica já investigada na produção de substratos para *Agaricus bisporus* (Pudelko, 2014), porém ainda pouco explorada para o cultivo de *Pleurotus* spp. A adoção de diferentes estratégias na produção do composto pode alterar as características do substrato e demandar ajustes nas etapas subsequentes. Nesse contexto, a suplementação constitui uma estratégia para fornecer nutrientes adicionais e favorecer o aproveitamento de resíduos agroindustriais (Sassine et al., 2021; Otieno et al., 2022; Caitano et al., 2024).

Entre os materiais com potencial para suplementação, destaca-se o resíduo de amendoim, amplamente gerado em regiões tropicais e subtropicais. Quando armazenado inadequadamente, pode apresentar contaminação por aflatoxinas, tornando-se impróprio para a alimentação humana ou animal (Putra et al., 2023; Caitano et al., 2024; Coppock; Christian, 2025). Entretanto, algumas espécies de cogumelos apresentam capacidade de degradar essas micotoxinas, indicando potencial para o aproveitamento desses resíduos na produção de cogumelos e sua consequente valorização (Loi et al., 2018; Song et al., 2021; Zapašnik et al., 2025). Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do método de compostagem em bunker com ventilação forçada, em comparação ao método tradicional com revolvimento, em dois tempos de fase I (5 e 9 dias), para a produção de substrato destinado ao cultivo de duas linhagens comerciais de *Pleurotus ostreatus* var. Florida, com ou sem suplementação com resíduo de amendoim.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cogumelos comestíveis

Cerca de um quinto e um terço das espécies fúngicas já identificadas são atribuídas a classe *Agaricomycetes*, do filo *Basidiomycota* (Hibbett et al., 2014; Hyde, 2020; He et al., 2022). Segundo Miles & Chang (2004), esses organismos pertencem à classe de macrofungos, caracterizados por apresentarem estruturas de frutificação conhecida como cogumelos, possuírem presença de esporos, parede celular rígida, ausência de fotossíntese e tamanho suficiente para ser visível a olho nu (Chang, 2008). Essas estruturas atuam na reprodução dos fungos e têm sido utilizadas como alimento pelo ser humano ao longo dos séculos (Dhar, 2017; Boontawon et al., 2021).

A maioria dos macrofungos atua na decomposição da matéria orgânica, caracterizando-se como fungos saprófitas (Grimm; Kuenz; Rahmann, 2021). Esses organismos podem ser classificados em decompositores primários e secundários. Os primários atuam na degradação de materiais com elevada concentração de lignina, como madeiras mortas, caracterizados por alta relação C/N. Já os secundários estão associados principalmente à degradação de celulose e hemicelulose, ou seja, de substratos com baixa relação C/N (Miles; Chang, 2004; De Mattos-Shiple et al., 2016; Grimm; Wösten, 2018; Zied et al., 2020).

Embora a utilização de cogumelos na alimentação seja recente em alguns países, seu consumo é mencionado desde a antiguidade. Registros históricos indicam o cultivo de shiitake na Ásia antiga cerca de 1313 d.c, enquanto na Europa até o século XVII os fungos eram coletados na natureza (Dhar, 2017). Desde então, os fungos têm sido reconhecidos como importantes fontes de nutrição e uso medicinal (Boyden, 1973; Ahmed et al., 2023). Diante da crescente demanda global por alimentos, os cogumelos comestíveis destacam-se como alternativa promissora, devido ao seu elevado valor nutricional e ao seu potencial no tratamento e na prevenção de diversas doenças (Zavadinack et al., 2021; Doroški et al., 2022; Martinez-Burgos et al., 2024; Devi et al., 2024).

Em 2022, a produção global de cogumelos atingiu 42,79 milhões de toneladas, enquanto a produção brasileira atingiu 15,6 mil toneladas (Pérez-Álvarez et al., 2023). Essa produção abrange diversas espécies, sendo que cinco gêneros principais se destacam mundialmente, que são *Lentinula*, *Pleurotus*, *Auricularia*, *Agaricus* e

Flammulina (Bijla, 2023). No Brasil, o mercado concentra-se principalmente em *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* e *Pleurotus ostreatus* (Menolli et al., 2025).

2.2. *Pleurotus ostreatus* var. *Florida*

As espécies do gênero *Pleurotus* apresentam hábito saprofítico e integram o grupo dos fungos da podridão branca (Tsujiyama; Ueno, 2013; Raman et al., 2021). Caracterizam-se pela formação de micélio branco com textura algodonosa e são amplamente cultivadas em substratos lignocelulósicos (Savoie; Salmones; Mata, 2007). E destacam-se como os cogumelos comestíveis com maior distribuição geográfica no mundo (Melanouri; Dedousi; Diamantopoulou, 2022). Os fungos desse gênero produzem cogumelos dispostos em agrupamentos, com variações de tamanho e formato que lembram ostras. O tamanho dos cogumelos pode variar entre 5 e 15 cm, apresentando ampla diversidade de coloração, incluindo amarelo, rosa, cinza, branco, marrom-escuro e cinza-escuro. (Wojewoda, 2003; Lai et al., 2024; Charisis; Wang; Argyropoulos, 2025) A espécie *Pleurotus ostreatus* var. *Florida* (Figura 1), por exemplo, caracteriza-se pela coloração branca a creme ou cinza-claro, sendo a intensidade dessa coloração influenciada por fatores como substrato, luminosidade e temperatura (Kaur; Sharma; Sodhi, 2022).

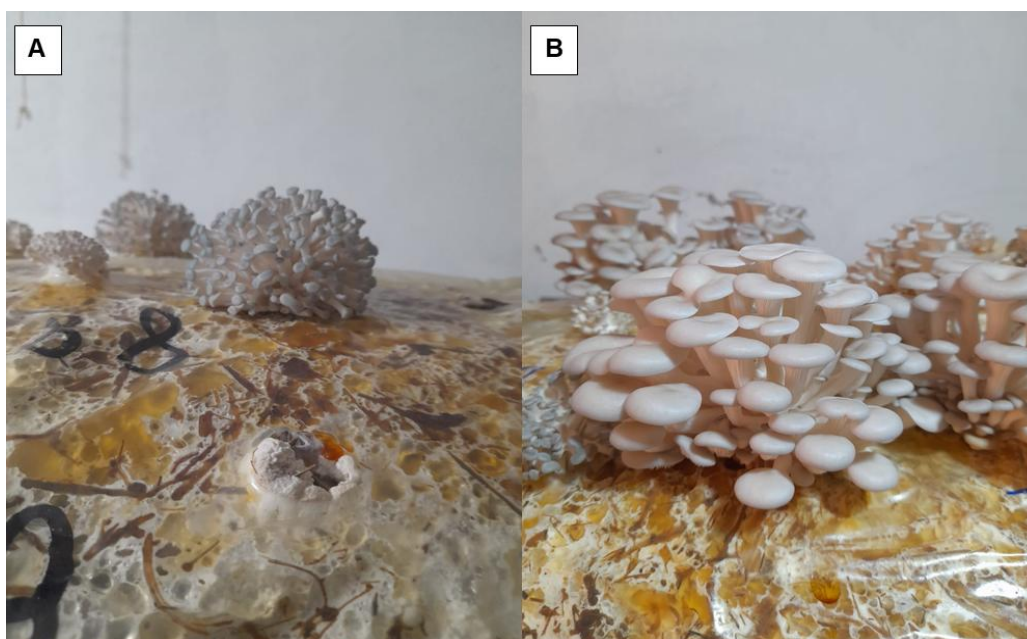


Figura 1. Basidiomas de *Pleurotus ostreatus* var. *Florida* em diferentes estágios de desenvolvimento, sendo início da frutificação (primórdios) (A) e cogumelo em ponto de colheita (B).

No contexto da produção global, *Pleurotus ostreatus* var. Florida destaca-se entre os cogumelos comestíveis de maior importância econômica (De Albuquerque et al., 2026). No Brasil, é a espécie mais cultivada (Zied et al., 2019a), sendo popularmente conhecido como shimeji branco, hiratake ou cogumelo ostra (Caldas; Zied; Sartorelli, 2022; Harun; Palma; Setyaningsih, 2025; De Albuquerque et al., 2026). Essa relevância está associada ao seu potencial nas áreas de nutrição, medicina e biotecnologia (De Bonis et al., 2024; Wang et al., 2024), bem como à versatilidade dos substratos utilizados em seu cultivo (Melanouri; Dedousi; Diamantopoulou, 2022; De Mastro et al., 2023).

2.3. Matérias-primas utilizadas no cultivo de *P. ostreatus* var. Florida

Os fungos saprofíticos precisam de substratos orgânicos para se nutrirem, geralmente uma fonte constituída por resíduos lignocelulósicos que sustenta seu crescimento, desenvolvimento e a formação dos corpos frutíferos (Rezaeian; Pourianfar; Attaran Dowom, 2021; Doroški et al., 2022). Embora as matérias-primas base sejam essenciais, nem sempre garantem um crescimento adequado e com bom desempenho produtivo. Por esse motivo, a formulação dos substratos tem recebido a adição de materiais concentrados, como farelos (fontes de nitrogênio) e calcário (fonte de cálcio), com a finalidade de padronizar os processos químicos envolvidos na produção (Bellettini et al., 2019; Iossi et al., 2023; Han et al., 2024).

De maneira geral, os principais parâmetros químicos que devem ser avaliados na formulação do substrato incluem a relação carbono/nitrogênio (C/N), o pH, a condutividade elétrica, além de teores de lignina, hemicelulose e celulose (Bellettini et al., 2019; Suwannarach et al., 2022; Han et al., 2024).

No caso de *Pleurotus ostreatus* var. Florida, existe a possibilidade de ser cultivado em uma ampla gama de substratos preparados com diversos resíduos (Melanouri; Dedousi; Diamantopoulou, 2022; Gardeli et al., 2024; De Albuquerque et al., 2026). Na Europa, o cultivo ocorre principalmente em substratos de palha de trigo ou centeio (Mleczek et al., 2021). Podendo também ser cultivado em resíduos agroindustriais como o bagaço de cana-de-açúcar, palha de gramíneas, palha de arroz e serragem (Bellettini et al., 2019; Mihai et al., 2022; De Bonis et al., 2024).

Ademais, pode-se mencionar resíduos de uva, polpa e casca de frutas, resíduos de algodão, resíduo de café, folhas de baneira, entre outros que são utilizados como fonte de carbono para o substrato de cultivo de *P. ostreatus* var. Florida (Bellettini et al., 2019; Raman et al., 2021; Melanouri; Dedousi; Diamantopoulou, 2022). Desse modo,

existe uma grande variedade de resíduos da cadeia agroindustrial com potencial para utilização na formulação de substratos que forneçam condições ideais para a produção de cogumelos (De et al., 2023).

No Brasil, o bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é um dos resíduos gerados em abundância pela agroindústria, desse modo pode ser encontrado com maior facilidade em certas regiões (Cursi et al., 2022; Ogura et al., 2022; Rossetto et al., 2022; Hiranobe et al., 2024). Sendo uma boa fonte de lignina, celulose e hemicelulose para a utilização na formulação de substratos de cogumelos (Albertia et al., 2021; De et al., 2023; Hiranobe et al., 2024; Silva et al., 2025).

Além disso, o cultivo de *Urochloa dictyoneura* (sinônimo: *Brachiaria dictyoneura*) tem apresentado crescimento expressivo, destacando-se como uma alternativa relevante para a pecuária em regiões tropicais (Zied et al., 2019b). Nesse contexto, os resíduos provenientes dessas duas culturas vegetais têm se destacado como matérias-primas amplamente utilizadas na formulação de substratos comerciais no cultivo de *P. ostreatus* var. Florida no Brasil, em função da ampla disponibilidade e do baixo custo (Iossi et al., 2018; Zied et al., 2019a, 2019b).

A utilização de biomassas para a produção do substrato está primeiramente condicionada à sua disponibilidade, a qual pode variar entre regiões. Assim, a escolha do material destinado ao cultivo de cogumelos deve considerar, principalmente, a acessibilidade e a disponibilidade de resíduos lignocelulósicos existentes na região (Aguiar et al., 2021; Lucas de Jesus et al., 2023; Desisa et al., 2024). Nesse cenário, as plantas da família *Poaceae* destacam-se como alternativa viável, devido ao rápido ciclo de desenvolvimento e da ampla distribuição geográfica (Albertia et al., 2021; Li et al., 2023; Claude et al., 2024).

2.4. Métodos de produção do substrato para *P. ostreatus* var. Florida

Pleurotus ostreatus var. Florida, apresenta de um aparato enzimático que possibilita seu desenvolvimento em uma ampla variedade de resíduos agrícolas, os quais podem ser submetidos a diferentes métodos de desinfecção e preparo do substrato (Bellettini et al., 2019; Doroški et al., 2022; Iossi et al., 2023; Caballero et al., 2025).

Nesse contexto, diversas técnicas têm sido empregadas na produção de substrato para o cultivo de *Pleurotus* spp. Dentre elas, a esterilização por autoclave destaca-se como uma das mais utilizadas na comunidade científica. Essa preferência pode estar

associada à praticidade do método, uma vez que esses equipamentos são comuns na maioria dos laboratórios das universidades, o que favorece sua aplicação (Melanouri; Dedousi; Diamantopoulou, 2022; Vieira Junior et al., 2023; Desisa et al., 2024; Silva et al., 2025).

No entanto, o método de produção de substrato mais amplamente adotado para o cultivo de cogumelo ostra consiste na realização de uma compostagem curta com as matérias-primas, variando de 5 a 10 dias (Zied et al., 2019b; Yang et al., 2022; Wang et al., 2024), seguida de tratamento térmico por meio da pasteurização a vapor (Zied et al., 2019a; De Mastro et al., 2023). A adoção dessas práticas pode contribuir para a redução da taxa de contaminação, do investimento em infraestrutura e do consumo de energia (Grimm; Sonntag; Rahmann, 2024; Wang et al., 2024).

De acordo com Vieira; De Andrade, (2016), o preparo do substrato por compostagem ocorre em duas etapas. A Fase I é conduzida em pilhas, em ambientes cobertos, ou em bunkers equipados com sistema de aeração forçada. Nessa etapa, ocorre uma intensa atividade microbiana responsável pelo autoaquecimento do material, que pode atingir temperaturas de até 80°C em poucos dias (Suwannarach et al., 2022). Durante esse processo, a sucessão de comunidades microbianas desempenha papel fundamental na compostagem, promovendo a degradação de componentes lignocelulósicos complexos em frações mais simples e assimiláveis, contribuindo para a adequação do substrato ao cultivo (Guo et al., 2021; Yang et al., 2022).

Segundo Yang et al. (2022), nessa fase ocorre a seletividade do substrato, associada ao estágio termofílico, o qual contribui para a redução dos índices de contaminação. Isso se deve ao fato de que, nas fases iniciais da compostagem, microrganismos mesófilos e, posteriormente termófilos, utilizam fontes de carbono de fácil degradação, como os açúcares solúveis, para seu metabolismo (Vieira; De Andrade, 2016; De Mastro et al., 2023; Wang et al., 2024).

Ademais, a Fase II ocorre em ambiente controlado, geralmente em túneis de pasteurização, e compreende duas etapas: pasteurização e condicionamento. Na pasteurização, realizada a cerca de 60°C, promove a eliminação de insetos, nematoides, fungos competidores e outros organismos indesejados. Já o condicionamento visa à redução da amônia livre gerada durante a Fase I e favore o estabelecimento de uma microbiota protetora no substrato, composta por microrganismos termofílicos, como as

actinobactérias. Essa etapa é geralmente conduzida na faixa de 48°C e 52°C (Vieira; De Andrade, 2016; Albertia et al., 2021; Suwannarach et al., 2022).

A metodologia utilizada na elaboração do substrato por meio da compostagem foi desenvolvida originalmente para o cultivo de *Agaricus bisporus*, um fungo decompositor secundário, sendo posteriormente estudada e adaptada para o cultivo do cogumelo ostra, que é um fungo decompositor primário, com características fisiológicas distintas do champignon (Vieira; De Andrade, 2016).

Segundo Dias (2010), a técnica mais adequada para pequenos produtores no Brasil é a utilização de uma compostagem curta, seguida da pasteurização com vapor. Esse método se destaca pela simplicidade de execução e pela possibilidade de adaptação ao volume de produção desejado, dispensando a necessidade de altos investimentos em infraestrutura. Além disso, a compostagem curta favorece a sucessão microbiana no substrato, contribuindo para reduzir o risco de predominância de contaminantes específicos, conforme vários trabalhos atuais mencionam (Llarena-Hernández et al., 2019; Guo et al., 2021; Yang et al., 2022; De Mastro et al., 2023; Wang et al., 2024).

Nesse contexto, diversos trabalhos mencionam o uso de uma compostagem breve para o preparo do substrato para o cultivo de *Pleurotus ostreatus*, onde o reviramento mecânico é um método tradicionalmente adotado (Zied et al., 2019a; Cardoso et al., 2020; Guo et al., 2021; Wang et al., 2024). Embora esse método seja viável para a produção de substrato, a necessidade por mão de obra em pequena ou larga escala pode ser um desafio limitante para fungicultura, pois contribui com aumento do custo de produção e nem sempre existe mão de obra disponível na localidade do cultivo (Sema et al., 2021; De Cianni; Pippinato; Mancuso, 2023; Zied et al., 2024).

Nesse cenário, como alternativa ao método convencional de preparo, destaca-se a adoção de sistemas em bunker com ventilação forçada, técnica já estudada no cultivo de *A. bisporus* e no gerenciamento de resíduos para a produção de adubo orgânico (Rasapoor et al., 2009; Pudelko, 2014; Morales-Vera et al., 2025). No entanto, informações sobre o uso dessa técnica na produção de substratos para *Pleurotus* spp. ainda são escassos.

2.5. Sistema de bunker com ventilação forçada

O sistema em bunker (Figura 2) consiste em estruturas delimitadas por paredes, geralmente construídas em concreto ou madeira, que promovem o confinamento parcial do material em compostagem, permitindo melhor aproveitamento do espaço. Nesse sistema, a ventilação forçada injeta ar na base do material por meio de ventiladores e dutos perfurados, promovendo oxigenação, remoção de calor e controle da umidade e gases (Michel et al., 2022; Morales-Vera et al., 2025).

Em comparação ao revolvimento mecânico ou manual, esse sistema apresenta vantagens operacionais, como melhor aproveitamento do espaço, uma vez que o material pode ser empilhado verticalmente no bunker, além de permitir o fornecimento de oxigênio e a remoção de calor de forma mais previsível, bem como a redução de odores (Michel et al., 2022), a minimização do risco de condições anaeróbicas e da produção de CH₄ (Ekinci et al., 2022), e a diminuição da demanda por mão de obra e dos custos operacionais (Sema et al., 2021; Aviñó-Calero et al., 2025).



Figura 2. Estrutura do bunker com piso de aeração forçada (A); Bunker com substrato em compostagem fase I (B).

Em contrapartida, o método de revirada mecânica ou manual (Figura 3) apresenta algumas vantagens na compostagem, como a melhora da homogeneidade do material e o menor investimento inicial (Cao et al., 2023). Entretanto, esse sistema demanda maior gasto com mão de obra e elevado consumo de diesel em operações de máquinas pesadas para o revolvimento (Sema et al., 2021; Kreidenweis et al., 2021; Aviñó-Calero

et al., 2025). Além disso, requer áreas maiores para a movimentação e o reviramento das pilhas, o que limita sua largura e altura para facilitar o acesso de equipamentos agrícolas como reviradores de leiras tracionados por tratores ou caçambas de carregamento frontal (Thomson et al., 2022).

Atualmente o sistema bunker com ventilação forçada tem sido aplicado na compostagem de diferentes tipos de resíduos orgânicos, como resíduos alimentares (Rasapoor et al., 2009; Michel et al., 2022) e agropecuários (Duan et al., 2023; Morales-Vera et al., 2025), além de ser utilizado na produção de substratos para o cultivo de *A. bisporus* (Pudelko, 2014). Entretanto, apesar dos avanços, ainda são limitadas as evidências científicas sobre a aplicação desse sistema na produção de substratos para *Pleurotus* spp.



Figura 3. Reviramento manual das pilhas de compostagem na fase I.

2.6. Suplementação na inoculação

A suplementação no cultivo de cogumelos consiste na adição direta de aditivos nutricionais ao substrato, podendo ser realizada em diferentes etapas do processo, como durante a compostagem, na mistura das matérias-primas, no momento da inoculação ou na etapa de revestimento com camada de cobertura (Carrasco et al., 2018). Além disso, cada espécie de cogumelo apresenta uma relação ideal de carbono e nitrogênio (C/N) no substrato de cultivo, a qual interfere no desenvolvimento do fungo e possibilita

alcançar maior produtividade em menor tempo de produção (Carrasco et al., 2018; Suwannarach et al., 2022; Caitano et al., 2024).

Historicamente, a aplicação da suplementação nas etapas de desova (inoculação com micélio) ou de revestimento (camada de cobertura) teve início na década de 1960 (Carrasco et al., 2018). Entretanto, a aplicação comercial teve início no começo dos anos 2000, quando empresas da América do Norte e da Europa passaram a disponibilizar suplementos específicos aos produtores. Esses produtos apresentavam a vantagem de poderem ser incorporados durante a desova ou o revestimento, o que reduzia perdas e desperdícios, embora não eliminasse a necessidade de suplementação na formulação inicial do substrato (Zied et al., 2019a).

Nesse contexto, a incorporação de suplementos orgânicos e inorgânicos aos substratos de cultivo é reconhecida por influenciar a produtividade de diversas espécies de cogumelos. Dessa forma, a adição de suplementos nutricionais ao substrato pode promover o aumento do rendimento e da eficiência biológica, podendo contribuir na melhoria da qualidade e do valor nutricional dos corpos de frutificação (Kumar; Chand; Patel, 2020; Desisa et al., 2024).

Especificamente, segundo Zied et al. (2019a), ao contrário da incorporação de materiais ricos em nitrogênio durante a preparação inicial do substrato, a suplementação realizada nas etapas de inoculação e de cobertura, permite ajustar o teor de nitrogênio e a relação C/N após a compostagem, favorecendo o desempenho produtivo. Em geral, essa prática pode elevar o rendimento entre 5% e 20%, ou até mesmo em níveis superiores.

Ademais, estudos indicam que é possível adicionar quantidades consideráveis de nutrientes ao substrato, resultando em aumentos de produtividade quase proporcionais até determinado limite, a partir do qual o rendimento tende a diminuir significativamente (Bellettini et al., 2019; Zied et al., 2019a).

Comercialmente há uma ampla gama de suplementos destinados à produção de cogumelos; entretanto, a maioria desses produtos possui custo elevado e enfrenta dificuldades logísticas, especialmente em regiões com baixa oferta e produção restritas (Caitano et al., 2024). Nesse contexto, pesquisadores têm buscado alternativas a partir de subprodutos regionais, capazes de proporcionar resultados equivalentes ou superiores em produtividade. Diversos materiais têm sido investigados, como farelo de algodão, farelo de soja, farelo de pistache, farelo de trigo, (Carrasco et al., 2018; Zied et al., 2019a; Mkhize et al., 2022; Caitano et al., 2024). Além disso, o reaproveitamento de

resíduos agrícolas como suplementos tem se mostrado uma estratégia promissora, contribuindo para o manejo sustentável desses materiais (Otieno et al., 2022).

O amendoim (*Arachis hypogaea*) é uma leguminosa de grande importância para a indústria alimentícia e amplamente cultivada em zonas tropicais e subtropicais (Putra et al., 2023). No entanto, seu cultivo resulta na geração de volumes expressivos de resíduos agrícolas (Kim et al., 2023; Putra et al., 2023). Entre esses resíduos, destacam-se os grãos que, quando acometidos por fungos, podem conter aflatoxinas – substâncias tóxicas para humanos e animais (Coppock; Christian, 2025), produzidas principalmente por *Aspergillus* spp. – o que os torna inadequados para o consumo em razão dos riscos à saúde (Zadravec et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Entretanto, os cogumelos possuem um aparato enzimático capaz de degradar uma grande variedade de compostos orgânicos (Yadav et al., 2022; Hanafiah et al., 2022; Torres-Farradá et al., 2024; Dinakarkumar et al., 2024). Dessa maneira, grãos de amendoim contaminados com aflatoxinas podem ser uma alternativa viável na suplementação durante a inoculação (Zied et al., 2019b). Nessa perspectiva, desde que os cogumelos produzidos não apresentem resquícios de aflatoxinas, eles podem ser destinados ao consumo humano (Noble; Thai; Kertesz, 2024; Hong; Kim; Yang, 2024; Caitano et al., 2024).

De acordo com a literatura, determinadas espécies do gênero *Pleurotus* têm demonstrado potencial na degradação de micotoxinas. Entre elas, *P. eryngii*, *P. pulmonarius* e *P. ostreatus* são citadas por sua capacidade de produzir enzimas ligninolíticas com potencial de degradar diferentes micotoxinas (Loi et al., 2018; Song et al., 2021; Zapašnik et al., 2025a). Entretanto, segundo (Zapašnik et al., 2025b), estudos adicionais com *Pleurotus* spp. seriam importantes para a avaliação dos aspectos toxicológicos e garantia da segurança do alimento.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Lorena Vieira Bentolila de et al. Substrate disinfection methods on the production and nutritional composition of a wild oyster mushroom from the Amazon. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, p. e010321, 2021.
- AHMED, Adel F. et al. Overview on the edible mushrooms in Egypt. **Journal of Future Foods**, v. 3, n. 1, p. 8–15, 2023.
- ALBERTIA, María Melisa et al. Technologic Development on *Pleurotus* Cultivation: Specific Practices Used in Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, p. e21200198, 2021.

AVIÑÓ-CALERO, Juan *et al.* Addition discarded tennis balls as an inert bulking agent to olive mill waste and pig slurry during composting reduces the energy consumption related to ventilation and the generation of anaerobic gases. **Journal of Environmental Management**, v. 395, p. 127905, 1 dez. 2025.

BELLETTINI, Marcelo Barba *et al.* Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 4, p. 633–646, 2019.

BIJLA, Shweta. Status of mushroom production: Global and national scenario. **Mushroom Research**, v. 32, n. 2, 2023.

BOONTAWON, Tatpong *et al.* Efficient genome editing with CRISPR/Cas9 in *Pleurotus ostreatus*. **AMB Express**, v. 11, n. 1, p. 30, 2021.

BOYDEN, Stephen. Evolution and health. **The Ecologist**, v. 3, n. 8, p. 304–309, 1973.

CABALLERO, Erik Nikol Muñoz *et al.* Evaluation of agronomic waste disinfection methods for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* Jacq. P. Kumm) cultivation. **Proceedings of the Indian National Science Academy**, v. 91, n. 1, p. 184–193, 1 mar. 2025.

CAITANO, Cinthia Elen Cardoso *et al.* Applicability Analysis of Peanut Addition to Button Mushroom Substrate Supplement Formulation. **Horticulturae**, v. 10, n. 10, p. 1088, out. 2024.

CALDAS, Lhaís Araújo; ZIED, Diego Cunha; SARTORELLI, Patrícia. Dereplication of extracts from nutraceutical mushrooms *Pleurotus* using molecular network approach. **Food Chemistry**, v. 370, p. 131019, 15 fev. 2022.

CAO, Xiaoxia *et al.* Municipal solid waste compost: Global trends and biogeochemical cycling. **Soil & Environmental Health**, v. 1, n. 4, p. 100038, 1 dez. 2023.

CARDOSO, Rossana V. C. *et al.* Influence of Calcium Silicate on the Chemical Properties of *Pleurotus ostreatus* var. florida (Jacq.) P. Kumm. **Journal of Fungi**, v. 6, n. 4, p. 299, dez. 2020.

CARRASCO, Jaime *et al.* Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. **AMB Express**, v. 8, n. 1, p. 146, 18 set. 2018.

CHANG, Shu-Ting. Overview of mushroom cultivation and utilization as functional foods. **Mushrooms as functional foods**, p. 1–33, 2008.

CHARISIS, Christos; WANG, Meiqing; ARGYROPOULOS, Dimitrios. Instance segmentation of oyster mushroom datasets: A novel data sampling methodology for training and evaluation of deep learning models. **Smart Agricultural Technology**, v. 12, p. 101146, 1 dez. 2025.

CLAUDE, Irambona *et al.* Evaluation of the Influence of Varied Juncao Grass Substrates on Physiological and Enzymatic Reactions of *Pleurotus ostreatus*. **Current Issues in Molecular Biology**, v. 46, n. 9, p. 9493–9502, 28 ago. 2024.

COPPOCK, Robert W.; CHRISTIAN, Ralph G. Aflatoxins. *In: Veterinary toxicology*. [S.l.]: Elsevier, 2025. p. 1009–1023.

CURSI, D. E. *et al.* History and Current Status of Sugarcane Breeding, Germplasm Development and Molecular Genetics in Brazil. **Sugar Tech**, v. 24, n. 1, p. 112–133, 1 fev. 2022.

DE ALBUQUERQUE, Vitória Tereza Negrão *et al.* Valorization of agro-industrial residues for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* var. florida: yield, nutritional quality, and physicochemical assessment. **Mycological Progress**, v. 25, n. 1, p. 13, 27 fev. 2026.

DE, Ayan *et al.* Substrate level optimization for better yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production, using different ratio of rice straw and sugarcane bagasse. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 10, p. 270, 2023.

DE BONIS, Marina *et al.* Effect of Different LED Light Wavelengths on Production and Quality of *Pleurotus ostreatus* Grown on Different Commercial Substrates. **Horticulturae**, v. 10, n. 4, p. 349, abr. 2024.

DE CIANNI, Rachele; PIPPINATO, Liam; MANCUSO, Teresina. A systematic review on drivers influencing consumption of edible mushrooms and innovative mushroom-containing products. **Appetite**, v. 182, p. 106454, 1 mar. 2023.

DE MASTRO, Francesco *et al.* Influence of Growing Substrate Preparation on the Biological Efficiency of *Pleurotus ostreatus*. **Horticulturae**, v. 9, n. 4, p. 439, abr. 2023.

DE MATTOS-SHIPLEY, Kate MJ *et al.* The good, the bad and the tasty: the many roles of mushrooms. **Studies in mycology**, v. 85, n. 1, p. 125–157, 2016.

DESISA, Buzayehu *et al.* Utilization of local agro-industrial by-products based substrates to enhance production and dietary value of mushroom (*P. ostreatus*) in Ethiopia. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 40, n. 9, p. 277, 22 jul. 2024.

DEVI, Phuritshabam Vivekanandini *et al.* Bioactive compounds, nutraceutical values and its application in food product development of oyster mushroom. **Journal of Future Foods**, v. 4, n. 4, p. 335–342, 2024.

DHAR, Behari Lal. Mushrooms and human civilization. **Edible and medicinal mushrooms: Technology and applications**, p. 1–4, 2017.

DIAS, Eustáquio Souza. Mushroom cultivation in Brazil: challenges and potential for growth. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 795–803, 2010.

DINAKARKUMAR, Yuvaraj *et al.* Fungal bioremediation: An overview of the mechanisms, applications and future perspectives. **Environmental Chemistry and Ecotoxicology**, v. 6, p. 293–302, 2024.

DOROŠKI, Ana *et al.* Food waste originated material as an alternative substrate used for the cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*): a review. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 12509, 2022.

DUAN, Yumin *et al.* Innovations in design and operation of aeration devices for composting and vermicomposting. *In: Current developments in biotechnology and bioengineering*. [S.l.]: Elsevier, 2023. p. 57–81.

EKINCI, Kamil *et al.* Evaluation of forced aerated and turned pile composting of rose oil processing wastes. **Environment Protection Engineering**, v. 48, n. 1, p. 99–115, 2022.

EL-RAMADY, Hassan *et al.* Edible Mushrooms for Sustainable and Healthy Human Food: Nutritional and Medicinal Attributes. **Sustainability**, v. 14, n. 9, 19 abr. 2022.

FERRARO, Valeria *et al.* Cultivated mushrooms: Importance of a multipurpose crop, with special focus on Italian fungiculture. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 156, n. 1, p. 130–142, 2022.

GARDELI, Chrysavgi *et al.* The Influence of Substrate and Strain on Protein Quality of *Pleurotus ostreatus*. **Applied Sciences**, v. 14, n. 10, p. 4040, jan. 2024.

GOGLIO, Pietro *et al.* An environmental assessment of *Agaricus bisporus* ((J.E.Lange) Imbach) mushroom production systems across Europe. **European Journal of Agronomy**, v. 155, p. 127108, 1 abr. 2024.

GRIMM, Daniel; KUENZ, Anja; RAHMANN, Gerold. Integration of mushroom production into circular food chains. **Organic Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 309–317, 2021.

GRIMM, Daniel; SONNTAG, Enno; RAHMANN, Gerold. EVALUATION OF DIFFERENT PASTEURIZATION AND STERILIZATION METHODS FOR OYSTER MUSHROOM SUBSTRATES. **Journal of microbiology, biotechnology and food sciences**, v. 13, n. 5, p. e10428–e10428, 5 fev. 2024.

GRIMM, Daniel; WÖSTEN, Han AB. Mushroom cultivation in the circular economy. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 102, n. 18, p. 7795–7803, 2018.

GUO, Yu-Xin *et al.* Succession of the microbial communities and function prediction during short-term peach sawdust-based composting. **Bioresource Technology**, v. 332, p. 125079, 1 jul. 2021.

HAN, Jiandong *et al.* Effects of different carbon and nitrogen ratios on yield, nutritional value, and amino acid contents of *Flammulina velutipes*. **Life**, v. 14, n. 5, p. 598, 2024.

HANAFIAH, Z. M. *et al.* Ability of *Ganoderma lucidum* mycelial pellets to remove ammonia and organic matter from domestic wastewater. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 19, n. 8, p. 7307–7320, 2022.

HARUN, M. Umar; PALMA, Miguel; SETYANINGSIH, Widiastuti. Development and validation of microwave-assisted extraction for phenolic compound profiling in diverse oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) sourced from various geographical regions. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 20, p. 101754, 1 abr. 2025.

HE, Mao-Qiang *et al.* Species diversity of Basidiomycota. **Fungal Diversity**, v. 114, n. 1, p. 281–325, 1 maio 2022.

HIBBETT, D. S. *et al.* 14 Agaricomycetes. In: MCLAUGHLIN, David J.; SPATAFORA, Joseph W. (Orgs.). **Systematics and Evolution: Part A**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. p. 373–429.

HIRANOBE, Carlos T. *et al.* Sugarcane Bagasse: Challenges and Opportunities for Waste Recycling. **Clean Technologies**, v. 6, n. 2, p. 662–699, jun. 2024.

HONG, Jee Yeon; KIM, Mi Kyung; YANG, Narae. Mushroom consumption and cardiometabolic health outcomes in the general population: a systematic review. **Nutrition Research and Practice**, v. 18, n. 2, p. 165–179, 2024.

HYDE, Kevin D. The numbers of fungi. **Fungal Diversity**, v. 114, n. 1, p. 1–1, 1 maio 2020.

IOSSI, Matheus R. *et al.* Macromineral consumption by *Pleurotus ostreatus* var. Florida in different straws. **Archives of Biological Sciences**, v. 75, n. 1, p. 19–25, 2023.

IOSSI, Matheus Rodrigo *et al.* *Pleurotus* spp. cultivation on *Brachiaria* sp. straw treatment with alkaline water. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, p. 64–67, 2018.

KAUR, Manmeet; SHARMA, Shivani; SODHI, H. S. An eco-friendly approach for the degradation of azo dyes and their effluents by *Pleurotus florida*. In: **Microbial consortium and biotransformation for pollution decontamination**. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 209–242.

KIM, Seunghee *et al.* Efficient Recovery Strategy of Luteolin from Agricultural Waste Peanut Shells and Activity Evaluation of Its Functional Biomolecules. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 15, p. 12366, jan. 2023.

KIRK, P. M. *et al.* **Dicionário dos fungos [Dictionary of the Fungi]**. [S.l.]: CABI, Wallingford, UK, 2008.

KREIDENWEIS, Ulrich *et al.* Greenhouse gas emissions from broiler manure treatment options are lowest in well-managed biogas production. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124969, 20 jan. 2021.

KUMAR, Santosh; CHAND, Gireesh; PATEL, Deepak Kumar. Evaluation of different substrate supplements on growth and yield of oyster mushroom (*Pleurotus florida*). **Indian Phytopathology**, v. 73, n. 4, p. 731–736, 1 dez. 2020.

LAI, Muhammad Dhia *et al.* Nutritional composition, efficacy and mechanisms of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) in preventing metabolic syndrome: Insights into perspectives and challenges. **Food Bioscience**, v. 61, p. 104768, 1 out. 2024.

LI, Xiaoyu *et al.* Three *Pleurotus* mushroom species cultivated in a mixed *Phragmites australis* substrate differ in nutrient utilization capacity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 115, p. 104924, 2023.

LLARENA-HERNÁNDEZ, Régulo Carlos *et al.* Aerobic fermentation prior to pasteurization produces a selective substrate for cultivation of the mushroom *Pleurotus pulmonarius*. **BASE**, 2019.

LOI, Martina *et al.* *In vitro* single and combined mycotoxins degradation by Ery4 laccase from *Pleurotus eryngii* and redox mediators. **Food Control**, v. 90, p. 401–406, 1 ago. 2018.

LUCAS DE JESUS, Gabriel *et al.* Nutrient uptake in supplemented substrate by oyster mushroom. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 7, p. 175, 2023.

MARTINEZ-BURGOS, Walter José *et al.* Bioactive compounds produced by macromycetes for application in the pharmaceutical sector: Patents and products. **Fermentation**, v. 10, n. 6, p. 275, 2024.

MELANOURI, Eirini-Maria; DEDOUSI, Marianna; DIAMANTOPOULOU, Panagiota. Cultivating *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part I: Screening for growth, endoglucanase, laccase and biomass production in the colonization phase. **Carbon Resources Conversion**, v. 5, n. 1, p. 61–70, 2022.

MENOLLI, Nelson *et al.* el Cogumelos comestíveis no Brasil: estado atual do conhecimento, avanços e perspectivas. **Lilloa**, p. 103–161, 30 maio 2025.

MICHEL, Frederick *et al.* Forced aeration composting, aerated static pile, and similar methods. In: **The composting handbook**. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 197–269.

MIHAI, Raluca A. *et al.* 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, mar. 2022.

MILES, Philip G.; CHANG, Shu-Ting. **Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact**. [S.l.]: CRC press, 2004.

MISHRA, Anuradha; SHANKAR, Shiv. Edible mushrooms for improved human health, food security and environmental sustainability: A critical review. **Science of The Total Environment**, v. 995, p. 180093, 15 set. 2025.

MKHIZE, Senzosenkosi Surprise *et al.* The Effect of Supplementing Mushroom Growing Substrates on the Bioactive Compounds, Antimicrobial Activity, and Antioxidant Activity of *Pleurotus ostreatus*. **Biochemistry Research International**, v. 2022, p. 9436614, 27 jun. 2022.

MLECZEK, Mirosław *et al.* Changes in mineral composition of six strains of *Pleurotus* after substrate modifications with different share of nitrogen forms. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 1, p. 245–257, 2021.

MORALES-VERA, Rodrigo *et al.* A Comparison of Static Aeration and Conventional Turning Windrow Techniques: Physicochemical and Microbial Dynamics in Wine Residue Composting. **Fermentation**, v. 11, n. 4, p. 197, abr. 2025.

NOBLE, Ralph; THAI, Meghann; KERTESZ, Michael A. Nitrogen balance and supply in Australasian mushroom composts. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 108, n. 1, p. 151, 2024.

OGURA, Allan Pretti *et al.* An overview of the sugarcane expansion in the state of São Paulo (Brazil) over the last two decades and its environmental impacts. **Sustainable Production and Consumption**, v. 32, p. 66–75, 1 jul. 2022.

OTIENO, Ojwang D. *et al.* Utilization of fruit waste substrates in mushroom production and manipulation of chemical composition. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 39, p. 102250, 2022.

PÉREZ-ÁLVAREZ, Sandra *et al.* Edible mushrooms—perspectives and considerations. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 15, n. 3, p. 11586–11586, 2023.

PUDEŁKO, Krzysztof. Effect of forced ventilation during composting on *Agaricus bisporus* substrate selectivity. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 93, p. 153–161, 1 set. 2014.

PUTRA, Nicky Rahmana *et al.* Valorization of peanut skin as agricultural waste using various extraction methods: A review. **Molecules**, v. 28, n. 11, p. 4325, 2023.

RAMAN, Jegadeesh *et al.* Cultivation and Nutritional Value of Prominent *Pleurotus* spp.: An Overview. **Mycobiology**, v. 49, n. 1, p. 1–14, 2 jan. 2021.

RASAPOOR, M. *et al.* The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 570–573, 1 fev. 2009.

REZAEIAN, Sharareh; POURIANFAR, Hamid R.; ATTARAN DOWOM, Samaneh. Quantitative changes in the biochemical and mineral composition of the substrate in solid-state cultivation of Enoki mushroom. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 8, p. 4463–4474, 2021.

ROSSETTO, Raffaella *et al.* Sustainability in Sugarcane Supply Chain in Brazil: Issues and Way Forward. **Sugar Tech**, v. 24, n. 3, p. 941–966, 1 jun. 2022.

SASSINE, Youssef N. *et al.* Nano urea effects on *Pleurotus ostreatus* nutritional value depending on the dose and timing of application. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 5588, 10 mar. 2021.

SAVOIE, Jean-Michel; SALMONES, Dulce; MATA, Gerardo. Hydrogen peroxide concentration measured in cultivation substrates during growth and fruiting of the mushrooms *Agaricus bisporus* and *Pleurotus* spp. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 7, p. 1337–1344, 2007.

SEMA, Alaki-Issi Massimapatom *et al.* Etude comparée de la ventilation naturelle et automatique à l'aide de tuyaux perforés et du procédé classique de retournements des andains en compostage. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 15, n. 1, p. 354–366, 21 abr. 2021.

SILVA, Sabrina Alves da *et al.* Assessment of the productive and biodegradative non-enzymatic performance of *Pleurotus* mushrooms grown on agricultural wastes of sugarcane bagasse and banana leaves. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 41, n. 5, p. 157, 29 abr. 2025.

SONG, Yanyi *et al.* Degradation of zearalenone and aflatoxin B1 by Lac2 from *Pleurotus pulmonarius* in the presence of mediators. **Toxicon**, v. 201, p. 1–8, 2021.

SUWANNARACH, Nakarin *et al.* Impact of Cultivation Substrate and Microbial Community on Improving Mushroom Productivity: A Review. **Biology**, v. 11, n. 4, p. 569, abr. 2022.

THAKUR, M. P. Advances in mushroom production: key to food, nutritional and employment security: A review. **Indian Phytopathology**, v. 73, n. 3, p. 377–395, 1 set. 2020.

THOMSON, A. *et al.* Review of the potential for recycling CO₂ from organic waste composting into plant production under controlled environment agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 333, p. 130051, 20 jan. 2022.

TORRES-FARRADÁ, Giselle *et al.* White Rot Fungi as Tools for the Bioremediation of Xenobiotics: A Review. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 3, p. 167, mar. 2024.

TSUJIYAMA, Sho-ichi; UENO, Hitomi. Performance of wood-rotting fungi-based enzymes on enzymic saccharification of rice straw. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 11, p. 2841–2848, 2013.

VIEIRA, Fabrício Rocha; DE ANDRADE, Meire Cristina Nogueira. Optimization of substrate preparation for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation by studying different raw materials and substrate preparation conditions (composting: phases I and II). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 32, n. 11, p. 190, 30 set. 2016.

VIEIRA JUNIOR, Wagner Gonçalves *et al.* The application of the scratching technique has the same effect on *Pleurotus* spp.? **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 66, p. e23220736, 2023.

WANG, Qiuying *et al.* Microbial Inoculation during the Short-Term Composting Process Enhances the Nutritional and Functional Properties of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). **Life**, v. 14, n. 2, p. 201, fev. 2024.

WOJEWODA, Władysław. **Checklist of Polish larger basidiomycetes**. [S.l.]: W. Szafer Institute of Botany-Polish Academy of Sciences, 2003.

YADAV, Ankush *et al.* Biodegradation of cyclophosphamide and etoposide by white rot fungi and their degradation kinetics. **Bioresource Technology**, v. 346, p. 126355, 2022.

YANG, Ya-Ru *et al.* Impacts of composting duration on physicochemical properties and microbial communities during short-term composting for the substrate for oyster mushrooms. **Science of The Total Environment**, v. 847, p. 157673, 15 nov. 2022.

ZADRAVEC, Manuela *et al.* Biocontrol Methods in Avoidance and Downsizing of Mycotoxin Contamination of Food Crops. **Processes**, v. 10, n. 4, p. 655, abr. 2022.

ZAPAŚNIK, Agnieszka *et al.* In Vivo Effectiveness of *Pleurotus ostreatus* in Degradation of Toxic Metabolites of Filamentous Fungi Such as Aflatoxin B1 and Zearalenone. **Metabolites**, v. 15, n. 1, p. 20, jan. 2025a.

ZAPAŚNIK, Agnieszka *et al.* *Pleurotus* spp.—an effective way in degradation mycotoxins? A comprehensive review. **Mycotoxin Research**, v. 41, n. 1, p. 1–13, 1 fev. 2025b.

ZAVADINACK, Matheus *et al.* An α -D-galactan and a β -D-glucan from the mushroom *Amanita muscaria*: Structural characterization and antitumor activity against melanoma. **Carbohydrate Polymers**, v. 274, p. 118647, 2021.

ZHANG, Chenchen *et al.* Contamination and Control of Mycotoxins in Grain and Oil Crops. **Microorganisms**, v. 12, n. 3, p. 567, mar. 2024.

ZIED, Diego Cunha *et al.* Study of Waste Products as Supplements in the Production and Quality of *Pleurotus ostreatus* var. Florida. **Indian Journal of Microbiology**, v. 59, n. 3, p. 328–335, 1 set. 2019a.

ZIED, Diego Cunha *et al.* Use of peanut waste for oyster mushroom substrate supplementation—oyster mushroom and peanut waste. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 4, p. 1021–1029, 1 out. 2019b.

ZIED, Diego Cunha *et al.* 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.

ZIED, Diego Cunha *et al.* Efficiency of mushrooms for food production - fundamental strategic decision-making. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 125, p. 105734, 1 jan. 2024.

Capítulo 2 - Estratégias de compostagem de curta duração para a produção de substrato de *Pleurotus ostreatus* var. Florida

RESUMO – A compostagem com aeração forçada pode reduzir a necessidade de revolvimento e melhorar o aproveitamento de resíduos agroindustriais na preparação de substratos para o cultivo de cogumelos; entretanto, seu desempenho na produção de substratos para o cultivo de *Pleurotus* tem sido pouco estudado. Dessa maneira, este estudo propôs avaliar um sistema de bunker com aeração forçada como alternativa para a produção de substratos destinados ao cultivo de *Pleurotus ostreatus* var. Florida, associado à suplementação com resíduo de amendoim. Duas linhagens foram cultivadas em substratos preparados pelo método tradicional de compostagem ou pelo sistema de bunker, em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$. Foram avaliadas as propriedades físico-químicas dos substratos, a composição lignocelulósica e as características estruturais por microscopia eletrônica de varredura (MEV). O método tradicional promoveu maior biodegradação da matéria orgânica, evidenciada por temperaturas de compostagem 41,7% superiores, menor teor de hemicelulose (51,1%), maior teor de nitrogênio, menores relações C/N e desagregação das fibras confirmada por MEV. Essas alterações resultaram em aumento de 11,4% na produtividade de cogumelos e de 24,8% na eficiência biológica, particularmente para a linhagem POF 23/02. Em contrapartida, a suplementação com resíduo de amendoim aumentou o rendimento obtido no sistema de bunker em 12,6%, reduzindo as diferenças entre os métodos de compostagem e resultando em rendimentos comparáveis nas condições suplementadas para a linhagem POF 23/02. A linhagem POF 23/01 apresentou produtividade semelhante para ambos os métodos de compostagem, demonstrando menor sensibilidade às condições da compostagem na fase I e maior estabilidade produtiva. De modo geral, a compostagem com aeração forçada se mostrou viável para a produção de substrato para *P. ostreatus* var. Florida e a escolha da linhagem se mostrou um fator importante para se obter bom resultado produtivo, considerando as respostas distintas aos substratos produzidos em cada método e ao uso da suplementação. No entanto, estudos futuros se fazem necessários para avaliar a viabilidade econômica e aprimorar o uso do bunker com aeração forçada na produção de substrato para o cultivo do cogumelo ostra.

Palavras-chave: Compostagem com aeração forçada, biodegradação lignocelulósica, resíduos agrícolas, cogumelo ostra, microscopia eletrônica de varredura.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a produção global de cogumelos tem apresentado crescimento expressivo, alcançando aproximadamente 44 milhões de toneladas (Bijla, 2023). Esse avanço está associado ao aumento da demanda por alimentos saudáveis, uma vez que os cogumelos são reconhecidos por seu elevado valor nutricional (Arshadi; Nouri; Moghimi, 2023; Devi et al., 2024). Atualmente, cinco gêneros concentram cerca de 85% da produção mundial, com destaque para *Lentinula*, *Pleurotus*, *Auricularia*, *Agaricus* e *Flammulina* (Bijla, 2023).

Nesse contexto, o gênero *Pleurotus* também tem se destacado no Brasil devido ao seu potencial gastronômico, à elevada capacidade de degradar substratos lignocelulósicos e à boa adaptação a condições tropicais (Ferraro et al., 2022; Iossi et al., 2023; De Bonis et al., 2024). Além disso, seu cultivo permite o aproveitamento de resíduos agrícolas e florestais (Lucas de Jesus et al., 2023; Desisa et al., 2024; Devi et al., 2024; Martinez-Burgos et al., 2024).

Apesar desse potencial, o consumo de cogumelos no Brasil ainda é inferior ao de outros países, principalmente devido aos elevados custos de produção e à limitada disponibilidade de tecnologias adaptadas a métodos ideais de produção de substrato (Rodrigues; Okura, 2022; De Cianni; Pippinato; Mancuso, 2023; Vieira Junior et al., 2025a).

Diante desse cenário, a compostagem curta destaca-se como uma abordagem promissora, na qual as matérias-primas são submetidas à compostagem por um período de 5 a 10 dias, seguida de tratamento térmico por pasteurização (Zied et al., 2019a; Yang et al., 2022; De Mastro et al., 2023). Esse método visa reduzir a taxa de contaminação, diminuir a demanda por equipamentos e permitir o aproveitamento de infraestruturas já existentes em fazendas de champignon (Vieira; De Andrade, 2016; De Mastro et al., 2023; Wang et al., 2024).

O método tradicional de produção do substrato requer revolvimento mecânico ou manual para a aeração do composto, o que implica em consumo de diesel e maior demanda por mão de obra (Sema et al., 2021; Kreidenweis et al., 2021; Aviñó-Calero et al., 2025). Como alternativa, destaca-se o uso de bunkers com ventilação forçada, técnica já estudada na produção de substrato para *Agaricus bisporus* (Pudelko, 2014), mais ainda pouco explorada para *Pleurotus* spp.

Uma importante técnica aplicada no processo de produção do substrato é a suplementação, a qual pode ser realizada durante a inoculação para aumentar o rendimento produtivo, ao fornecer nutrientes adicionais e favorecer o aproveitamento de resíduos agroindustriais (Zied et al., 2019b; Sassine et al., 2021; Caitano et al., 2024). Nesse contexto, resíduos de amendoim apresentam potencial como suplemento, por serem amplamente gerados em países tropicais e subtropicais. Além disso, quando contaminados com aflatoxinas, tornam-se inadequados para o consumo humano e animal (Putra et al., 2023; Caitano et al., 2024; Coppock; Christian, 2025). No entanto, estudos indicam que os cogumelos apresentam capacidade de degradar aflatoxinas, sugerindo o potencial uso desses resíduos contaminados para a produção de alimento (Loi et al., 2018; Song et al., 2021; Zapašnik et al., 2025).

Considerando esse cenário, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial do método de compostagem curta em sistema tradicional e bunker com ventilação forçada, na produção de substrato para duas linhagens comerciais de *Pleurotus ostreatus* var. Florida, associado ou não à suplementação com resíduos de amendoim.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Estudos em Cogumelos (CECOG), vinculado à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), câmpus de Dracena.

2.1. Linhagens

As linhagens de *Pleurotus ostreatus* var. Florida utilizadas neste estudo encontram-se depositadas na coleção pública de culturas do CECOG, sob os códigos POF 23/01 e POF 23/02. O inóculo foi produzido de acordo com metodologia adaptada de Moreaux (2017). As matrizes primárias e secundárias foram preparadas em placas de Petri contendo meio ágar dextrose de batata (BDA). Posteriormente, o micélio foi

transferido para grãos de sorgo previamente cozidos, suplementados com 2% de carbonato de cálcio e autoclavado a 121°C por 2h.

2.2. Formulação do substrato

A relação C/N do substrato foi de 68:1 para ambos os métodos de compostagem curta (tradicional e bunker). O substrato foi composto por 45% de palha de *Urochloa dictyoneura* (sin. *Brachiaria dictyoneura*), 45% de bagaço de cana-de-açúcar, 6% de farelo de arroz, 3% de farelo de soja e 1% de carbonato de cálcio (CaCO_3), para a correção do pH (Al-Jbouri; Alsaady; Abdulrazzaq, 2025).

2.3. Compostagem fase I

A fase I da compostagem foi conduzida nas instalações do CECOG, especificamente na central de compostagem, constituída por uma estufa agrícola coberta com lona, com tela de sombreamento nas laterais e piso concretado.

No primeiro dia, realizou-se o pré-umedecimento dos materiais volumosos (bagaço de cana e palha de *U. dictyoneura*) até atingir aproximadamente 75% de umidade (Bellettini et al., 2019). No segundo dia, procedeu-se à adição de água na parte externa da pilha, antes do revolvimento, bem como à correção da relação C/N e do pH por meio da adição dos farelos e carbonato de cálcio (CaCO_3). Em seguida, as pilhas destinadas aos métodos tradicional e bunker foram montadas diretamente sobre o piso cimentado, com dimensões de 1,5 × 1,0 × 0,75 m (comprimento × largura × altura).

Do terceiro ao quinto dia, o substrato do método tradicional foi submetido a revolvimentos sucessivos com auxílio de forcados agrícolas, afim de promover a aeração, com adição de água duas vezes ao dia, em quantidade suficiente para umedecer a camada externa da pilha, nos períodos da manhã e do final da tarde. No método bunker, a pilha foi transferida, no terceiro dia, para o piso equipado com sistema de aeração forçada, apresentando dimensões de 2,0 × 1,90 × 0,75 m. Nesse sistema, os revolvimentos foram dispensados, sendo adotada ventilação forçada intermitente, com ciclos de 15 minutos de aeração seguidos por 1 h e 30 min sem ventilação, do terceiro ao quinto dia, com vazão de ar de 120 m³ t⁻¹ h⁻¹. A aeração foi

realizada por meio de dutos de ventilação instalados na base da pilha e conectados a um motor soprador de 0,16 CV. Para manutenção da umidade, realizou-se a adição de água na superfície externa da pilha duas vezes ao dia, nos períodos da manhã e do final da tarde.

Ao final da fase I, no quinto dia, ambos os métodos foram retirados com auxílio de forcados agrícolas e o substrato foi acondicionado em caixas treliçadas (56,5 × 46,5 × 28,5 cm; comprimento × largura × altura) sendo posteriormente transferido para o túnel de pasteurização.

2.4. Compostagem fase II

O processo de pasteurização foi realizado em um túnel de pasteurização de duas portas, com dimensões de 3,00 × 2,00 × 2,45 m (comprimento × largura × altura), localizado na central de compostagem. O sistema de pasteurização era composto por um gerador elétrico de vapor de 27 kW e 220 V (Impercap), acoplado a um sistema de dutos conectado a um motor soprador de 0,25 CV e um inversor de frequência Sinamics V20 (0,5 HP). A pasteurização foi realizada a 59 ± 1 °C durante 16 h, seguida do condicionamento a 50 ± 1 °C durante 56 h.

2.5. Preparo do suplemento, suplementação e inoculação do substrato

Na preparação do suplemento, os grãos de amendoim foram inicialmente triturados e, posteriormente, submetidos ao peneiramento, visando à obtenção de partículas com tamanho inferior a 3 mm. Em seguida, realizou-se a desinfecção do suplemento com formaldeído (CH₂O) na concentração de 6000 ppm. Para o tratamento, o suplemento foi acondicionado em saco de polipropileno hermeticamente fechado, juntamente com a solução de formaldeído, permanecendo em contato com o produto por 24 h. Após esse período, o saco foi aberto e mantido nessa condição para permitir a volatilização do formaldeído, conforme metodologia descrita por Zied et al. (2019a) e Caitano et al. (2024).

Após a conclusão da fase II, o substrato foi resfriado naturalmente no interior do túnel de pasteurização até atingir 27 °C. Em seguida, procedeu-se à inoculação do substrato com inóculo na proporção de 2% e à suplementação com resíduo de

amendoim na proporção de 1%, ambas calculadas com base no peso úmido do substrato.

Após a inoculação e a suplementação, os blocos foram fechados e transferidos para a câmara de incubação, mantida à temperatura de 26 ± 2 °C e umidade relativa de $75 \pm 5\%$.

2.6. Cultivo e colheita de cogumelos

Durante a fase de frutificação, a temperatura e a umidade relativa foram mantidas em 26 ± 2 °C e $80 \pm 5\%$, respectivamente. A primeira colheita foi realizada após 15 dias a inoculação estendendo-se por 45 dias, totalizando 60 dias de cultivo. Os cogumelos foram colhidos duas vezes ao dia e, posteriormente, pesados e contabilizados para a avaliação dos parâmetros produtivos.

2.7. Variáveis analisadas

O acompanhamento da temperatura durante a compostagem foi realizado diariamente, utilizando-se termômetro digital, com registros efetuados em 10 pontos distintos da pilha, conforme adaptação da metodologia proposta por Yang et al. (2022). Para a determinação do teor de umidade, seis amostras ($n = 6$) foram submetidas à secagem em estufa a 105 °C até a obtenção de massa constante, sendo posteriormente calculado o desvio-padrão dos valores obtidos, de acordo com Guo et al. (2021).

As características químicas do substrato foram determinadas em três amostras ($n = 3$) coletadas após a fase II e suplementação. As análises incluíram pH, a condutividade elétrica, relação C/N e os teores de celulose, hemicelulose, lignina e cinzas. As análises foram conduzidas conforme os procedimentos estabelecidos no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (MAPA, 2007, 2017), bem como nas metodologias descritas por Van Soest e Wine (1967), Gouveia et al. (2009) e Tappi (1999).

A caracterização estrutural do substrato também foi realizada em três amostras ($n = 3$) coletadas após a fase II, por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando-se um microscópio ZEISS EVO LS 15 (Carl Zeiss). As amostras foram previamente recobertas com uma camada de ouro de aproximadamente 40–50

nm e analisadas sob tensão de aceleração de 30 kV, seguindo o procedimento metodológico descrito por Cazaux (2005).

Para a avaliação do desempenho produtivo, foram utilizadas 12 unidades experimentais ($n = 12$). A produtividade (%) foi obtida pela relação entre a massa total de cogumelos frescos produzidos e a massa úmida inicial do substrato, multiplicada por 100. Também foram determinados o número de cogumelos e de cachos, além da massa média dos cogumelos, calculada pela divisão da massa total de cogumelos frescos pelo número total de cogumelos colhidos. A eficiência biológica (%) foi calculada pela relação entre a massa total de cogumelos frescos e a massa seca inicial do substrato, multiplicada por 100.

2.8. Delineamento experimental e análise dos resultados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em fatorial $2 \times 2 \times 2$, envolvendo dois métodos de preparo do substrato, duas linhagens comerciais e a presença ou ausência de suplementação, totalizando oito tratamentos. Cada tratamento contou com 12 unidades experimentais, compostas por blocos contendo 6 kg de substrato.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para os parâmetros químicos e variáveis produtivas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar[®], versão 5.6 (Ferreira, 2008), enquanto os gráficos foram elaborados com o software R (R Core Team, 2016).

3. RESULTADOS

3.1. Parâmetros de compostagem

O teor de umidade das pilhas manteve-se elevado e relativamente estável ao longo da fase I da compostagem, bem como após a fase II, para ambos os métodos de preparo do substrato (Tabela 1).

Nos dias 2 e 3 da fase I, o método tradicional apresentou teor médio de umidade 75,20%, enquanto o método bunker apresentou 74,96%, não sendo observadas diferenças expressivas entre os métodos nesse período. Em contrapartida, nos dias 4 e 5 da fase I, verificou-se leve redução da umidade em ambos os métodos, com valores médios de 73,55% para o método tradicional e 72,92% para o método bunker.

Após a fase II, os teores de umidade permaneceram próximos aos observados durante a fase I, com média de 75,34% no método tradicional e 73,25% no método bunker, indicando estabilidade do teor de umidade ao longo do processo.

Tabela 1. Teor de umidade das pilhas de compostagem durante a fase I e a fase II

	2° e 3° dia (Fase I)	4° e 5° dia (fase I)	Após fase II
	(%)		
Método tradicional	75,20 ± 0,88	73,55 ± 0,59	75,34 ± 0,38
Método bunker	74,96 ± 1,25	72,92 ± 0,60	73,25 ± 0,30

Na fase I, os valores correspondem à média de dois dias de avaliação, com três repetições por dia (DP, n=6). Após a fase II, os valores correspondem à média de três repetições por método (DP, n=3).

A temperatura das pilhas foi semelhante entre os métodos no 3º dia, com valor de 52°C (Figura 1). No 4º dia, o método tradicional apresentou temperatura média superior (56 °C) em comparação ao método bunker (45 °C). No 5º dia, o método tradicional atingiu 68 °C, enquanto o método bunker rápido apresentou 48 °C.

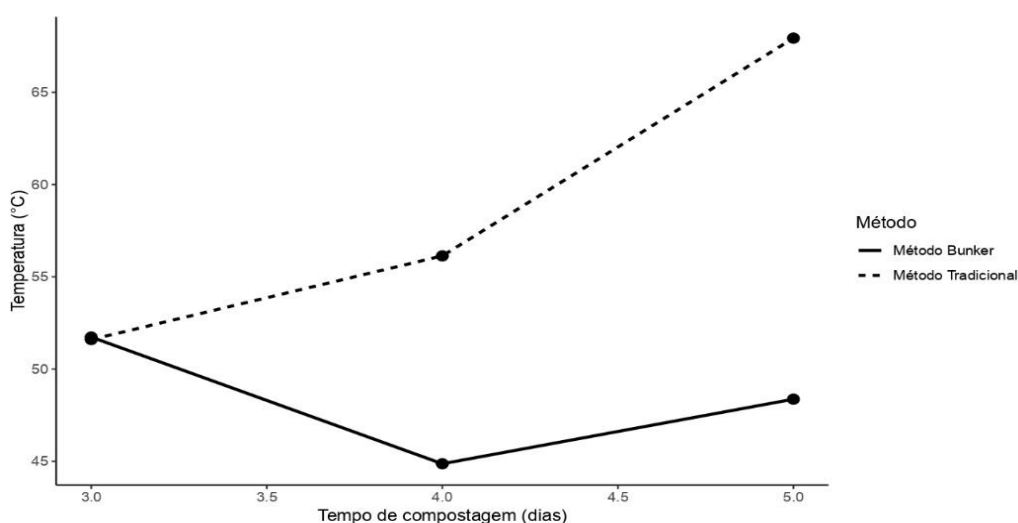


Figura 1. Temperatura das pilhas de compostagem ao longo dos dias

3.2. Parâmetros químicos do substrato

Os métodos de preparo do substrato, associados ou não à suplementação, influenciaram os parâmetros físico-químicos avaliados (Tabela 2). O teor de carbono total manteve-se relativamente constante entre os tratamentos, variando de 48,22 a 51,09%, indicando composição orgânica semelhante entre os substratos.

Em contrapartida, o teor de nitrogênio foi inferior no método bunker sem suplementação, enquanto o tratamento tradicional, bunker com suplemento e tradicional com suplemento apresentaram valores mais elevados. De modo geral, os tratamentos suplementados mostraram uma tendência de aumentar o teor de nitrogênio e reduzir a relação C/N.

A condutividade elétrica variou de 1,21 a 1,46 mS cm⁻¹, com maiores valores observados no método tradicional, especialmente quando associado à suplementação. O pH apresentou variação moderada entre os tratamentos, situando-se entre 6,84 e 7,43, permanecendo dentro da faixa adequada para a atividade microbiana e o desenvolvimento micelial de *Pleurotus*.

Tabela 2. Propriedades químicas do substrato em função do método de preparo e da suplementação

Tratamento	Carbono total	N total	Relação C/N	Condutividade elétrica (mS/cm ⁻¹)	pH
	(% MS)				
Bunker	51,09 ± 0,53	0,66 ± 0,04	77,58 ± 4,93	1,22 ± 0,03 b	7,36 ± 0,11 a
Tradicional	48,22 ± 0,68	0,89 ± 0,04	53,74 ± 2,23	1,40 ± 0,06 a	7,43 ± 0,02 a
Bunker + S*	49,94 ± 0,35	0,78 ± 0,07	63,62 ± 5,42	1,21 ± 0,03 b	6,84 ± 0,04 b
Tradicional + S	48,80 ± 0,35	1,18 0 ± 0,08	41,35 ± 4,31	1,46 ± 0,02 a	6,93 ± 0,08 b

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), após análise de variância (ANOVA). A ausência de letra representa a não significância dos métodos. Todos os dados foram expressos como média ± desvio padrão (DP, n=3). S*: suplementação.

Em relação às frações estruturais do substrato (Tabela 3), foram observadas diferenças entre os métodos de preparo. O método tradicional apresentou menor teor de hemicelulose e maior teor de celulose em comparação ao método bunker.

Para a lignina, não foram observadas diferenças entre os métodos. Por outro lado, o teor de cinzas foi superior no método tradicional.

De modo geral, os resultados mostram que o método de preparo do substrato influenciou a distribuição das frações lignocelulósicas, refletindo diferenças na composição estrutural do material.

Tabela 3. Composição lignocelulósica e teor de cinzas do substrato

Método	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)
Bunker	33,6 ± 1,1 b	23,7 ± 1,5 a	23,2 ± 1,0 a	8,0 ± 0,4 b
Tradicional	39,4 ± 2,3 a	11,6 ± 0,5 b	24,2 ± 2,2 a	11,9 ± 0,8 a

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os dados são expressos como média ± desvio padrão (DP, $n = 3$).

3.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos diferentes tratamentos estão apresentadas na Figura 2. De modo geral, foram observadas diferenças na organização estrutural do substrato entre os tratamentos, tanto no aumento de 500x quanto de 1000x.

No método tradicional, verificou-se menor tamanho da partícula e maior desagregação das fibras, o que pode estar relacionado com o revolvimento mecânico e as maiores temperaturas registradas. Por outro lado, o método bunker apresentou uma estrutura mais compacta e com partículas mais agregadas, sugerindo uma intensidade menor na degradação da estrutura lignocelulósica.

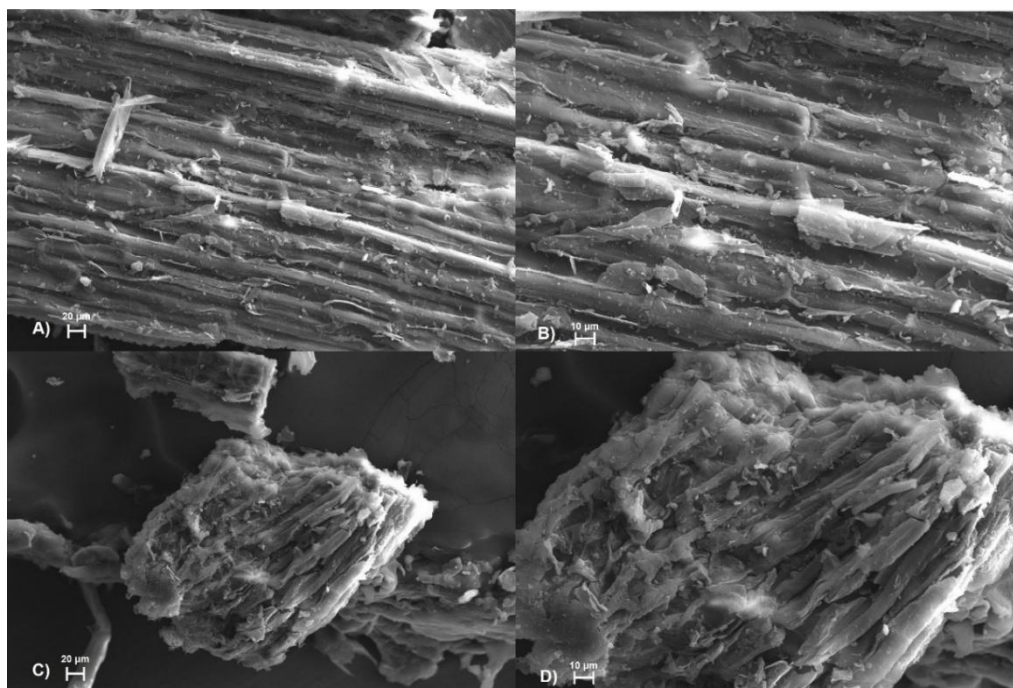


Figura 2. Micrografias obtidas por MEV do substrato: método bunker (A, B); método tradicional (C, D) nos aumentos de 500x (A, C) e 1000x (B, D).

3.4. Parâmetros produtivos

Não foram observadas interações triplas entre os fatores método de preparo, linhagem e suplementação. No entanto, foram identificadas interações duplas significativas para algumas variáveis produtivas (Tabela 4).

O método de preparo do substrato influenciou significativamente a massa total de cogumelos, a massa de cogumelos, a produtividade e a eficiência biológica, com valores superiores observados no método tradicional em comparação ao sistema em bunker (Tabela 4). Para o número de cogumelos e o número de pencas, não foram observadas diferenças significativas entre os métodos avaliados.

Em relação às linhagens, foi observado efeito significativo apenas para a massa de cogumelos, enquanto as demais variáveis produtivas não apresentaram diferenças estatísticas (Tabela 4).

Quanto à suplementação, verificou-se efeito significativo apenas para o número de cogumelos, aproximadamente 10% maior nos tratamentos suplementados. As demais variáveis produtivas não foram influenciadas pela adição de suplemento no momento da inoculação (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros produtivos nas diferentes fontes de variação

Fonte de variações	MT	NC	NP	MM	Produtividade	Eficiência biológica
	(g)	(unid.)	(unid.)	(g)	(%)	(%)
Método (A)						
Bunker	2110,29 b	1154,64	47,45	1,85 b	35,17 b	125,61 b
Tradicional	2351,14 a	1218,93	47,68	1,96 a	39,18 a	156,74 a
<i>pvalor</i>	*	ns	ns	*	*	*
Linhagem (B)						
POF 23/01	2224,52	1143,45	49,06	1,97 a	37,07	140,57
POF 23/02	2236,91	1230,12	46,08	1,84 b	37,28	141,77
<i>pvalor</i>	ns	ns	ns	*	ns	ns
Suplemento (C)						
Não suplementado	2171,66	1127,39 b	48,16	1,95	36,19	137,68
Suplementado	2289,77	1246,18 a	46,97	1,87	38,16	144,66
<i>pvalor</i>	ns	*	ns	ns	ns	ns
Interação (A x B)	*	ns	ns	*	*	*
Interação (B X C)	ns	*	ns	*	ns	ns
Interação (A x C)	*	ns	ns	ns	*	*
Interação (A x B x C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	16,36	20,05	22,44	14,36	16,36	16,43

* Diferença significativa entre os tratamentos com valor de $p < 0,05$. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). MT: massa total de cogumelos; NC: número de cogumelos; NP: número de cogumelos; MM: massa de cogumelo; CV: coeficiente de variação; ns: não significativo a 5%.

3.4.1. Interação método x linhagem

Na interação entre método de preparo do substrato e linhagem, foi observado efeito significativo sobre a massa total de cogumelos, a massa de cogumelos, a produtividade e a eficiência biológica (Tabela 5).

Para a massa total de cogumelos, a POF 23/01 não apresentou diferença significativa entre os métodos, enquanto a linhagem POF 23/02 apresentou maior produção no método tradicional. Comportamento semelhante foi observado para a massa de cogumelos, na qual não houve diferença entre os métodos para a POF 23/01, ao passo que a POF 23/02 apresentou valores superiores de aproximadamente 9% no método tradicional.

A produtividade não diferiu estatisticamente entre os métodos para a POF 23/01; entretanto, a POF 23/02 apresentou um acréscimo produtivo de aproximadamente 6% no método tradicional quando comparado com o método

bunker. Em relação à eficiência biológica, ambas as linhagens apresentaram valores significativamente superiores quando cultivadas pelo método tradicional.

Tabela 5. Parâmetros produtivos na interação (método x linhagem)

Massa total de cogumelos (g)		
Método	Linhagem	
	POF 23/01	POF 23/02
Bunker	2162,83	2057,75 b
Tradicional	2286,20	2416,08 a
CV (%) = 16,36		
Massa de cogumelos (g)		
Método	Linhagem	
	POF 23/01	POF 23/02
Bunker	1,95	1,75 b
Tradicional	1,99	1,93 a
CV (%) = 14, 36		
Produtividade (%)		
Método	Linhagem	
	POF 23/01	POF 23/02
Bunker	36,04	34,29 b
Tradicional	38,10	40,26 a
CV (%) = 16,36		
Eficiência biológica (%)		
Método	Linhagem	
	POF 23/01	POF 23/02
Bunker	128,74 b	122,48 b
Tradicional	152,41 a	161,07 a
CV (%) = 16,43		

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).
CV (%): coeficiente de variação.

3.4.2. Interação linhagem x suplemento

Na interação entre linhagem e suplemento, observou-se efeito significativo sobre o número e a massa de cogumelos (Tabela 6).

No tratamento não suplementado, não foram observadas diferenças significativas entre as linhagens para nenhuma das variáveis avaliadas. Em contrapartida, sob suplementação, a linhagem POF 23/02 apresentou maior número de cogumelos em relação à POF 23/01. Quanto à massa de cogumelos, não houve

diferença entre as linhagens na ausência de suplementação; entretanto, na condição suplementada, a linhagem POF 23/02 apresentou uma redução de aproximadamente 12% na massa de cogumelos quando comparada à POF 23/01.

Tabela 6. Parâmetros produtivos na interação (Linhagem x Suplemento)

Número de cogumelos		
Linhagem	Não suplementado	Suplementado
POF 23/01	1113,00	1173,93 b
POF 23/02	1141,79	1318,45 a
CV (%) = 20,05		
Massa de cogumelos (g)		
Linhagem	Não suplementado	Suplementado
POF 23/01	1,95	1,99 a
POF 23/02	1,94	1,75 b
CV (%) = 14,36		

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV (%): coeficiente de variação.

3.4.3. Interação método x suplemento

Na interação entre método de preparo do substrato e suplemento, foi observado efeito significativo sobre a massa total de cogumelos colhidos, a produtividade e a eficiência biológica (Tabela 7). Na ausência de suplementação, o método tradicional apresentou valores superiores para essas variáveis em comparação ao método bunker, com diferença de 6% na produtividade entre os métodos.

Entretanto, na presença de suplementação, não foram observadas diferenças estatísticas entre os métodos para massa total de cogumelos e produtividade, indicando que a adição de suplemento reduziu as diferenças de desempenho produtivo entre os sistemas. Nesse contexto, observou-se um aumento de 4% na produtividade do método bunker quando comparado o tratamento sem suplementação ao suplementado. Para a eficiência biológica, contudo, o método tradicional manteve valores superiores, mesmo sob suplementação.

Tabela 7. Parâmetros produtivos na interação (Método x Suplemento)

Massa total de cogumelos (g)		
Método	Não Suplementado	Suplementado
Bunker	1984,04 b	2235,54
Tradicional	2358,29 a	2344,00
CV (%) = 16,36		
Produtividade (%)		
Método	Não Suplementado	Suplementado
Bunker	33,08 b	37,25
Tradicional	39,30 a	39,06
CV (%) = 16,36		
Eficiência biológica (%)		
Método	Não Suplementado	Suplementado
Bunker	118,15 b	133,06 b
Tradicional	157,21 a	156,26 a
CV (%) = 16,43		

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).
CV (%): coeficiente de variação.

4. DISCUSSÃO

Estudos sobre a produção de composto em sistemas com ventilação forçada já foram conduzidos, sobretudo no cultivo de *Agaricus bisporus* ou no gerenciamento de resíduos para produção de adubo orgânico (Rasapoor et al., 2009; Pudelko, 2014; Morales-Vera et al., 2025). Entretanto, ainda são escassas as informações sobre a aplicação dessa técnica na produção de substratos para *Pleurotus* spp. Em contraste, o reviramento mecânico das pilhas constitui o método tradicionalmente empregado no preparo do substrato, amplamente descrito na literatura (Zied et al., 2019a; Cardoso et al., 2020; Guo et al., 2021; Wang et al., 2024).

No presente estudo, o método tradicional apresentou rendimento produtivo superior ao método em bunker, em função de condições mais favoráveis à degradação da matéria orgânica durante a compostagem curta. Estudos indicam que esse processo é marcado por intensa atividade microbiana, responsável pela conversão de compostos lignocelulósicos em frações mais assimiláveis pelo micélio, o que se reflete em maior produtividade (Hernández; Sánchez; Yamasaki, 2003; Guo et al., 2021; Yang et al., 2022; Wang et al., 2024).

A dinâmica térmica das pilhas reforça essa interpretação, uma vez que o método tradicional atingiu temperaturas mais elevadas ao longo do processo, especialmente nos dias finais da compostagem, padrão também observado em estudos anteriores (Guo et al., 2021; Yang et al., 2022). Temperaturas superiores a 50°C favorecem o estabelecimento de comunidade termofílica, promovendo a degradação e transformação da lignocelulose, além de aumentar a seletividade do substrato e reduzir as taxas de contaminação, em função da ação protetora de microrganismos termofílicos, como actinobactérias (Guo et al., 2021; Li et al., 2023; Liu et al., 2024).

Em contraste, o método em bunker apresentou temperaturas mais baixas, com pico registrado no primeiro dia após a adição de farelos, não ultrapassando 53°C, o que pode ter limitado a eficiência da biodegradação e, consequentemente, o desempenho produtivo. Esse comportamento provavelmente está associado à taxa de ventilação adotada no estudo ($120 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1} \text{ h}^{-1}$), uma vez que a intensidade da ventilação influencia na remoção do calor, bem como o controle de umidade e dos gases, afetando diretamente a atividade microbiana (Michel et al., 2022; Morales-Vera et al., 2025). Fatores como tamanho das partículas, microbiota nativa das matérias primas, idade dos materiais volumosos, ventilação e o teor de umidade modulam a atividade microbiana e, consequentemente, a geração e a manutenção da temperatura durante o processo (Yang et al., 2022; Mishra; Yadav, 2022; De Mastro et al., 2023; Liu et al., 2024; Morales-Vera et al., 2025).

Nesse contexto, taxas de aeração moderadas estão associadas a reduções mais acentuadas da relação C/N, enquanto sistemas com maior aeração tendem a apresentar diminuições menos expressivas (Rasapoor et al., 2009; Then; Lai; Then, 2021). Esse padrão indica que o comportamento observado no método bunker pode refletir um balanço inadequado entre fornecimento de oxigênio e retenção de calor, comprometendo a manutenção de temperaturas termofílicas e, possivelmente, a eficiência da degradação do substrato. Pudielko (2014) relatou que taxas de ventilação entre $4\text{-}12 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1} \text{ h}^{-1}$ foram eficazes para a produção de substrato de boa qualidade em sistema de bunker, enquanto valores de até $200 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1} \text{ h}^{-1}$ são tipicamente empregados em sistemas de compostagem fechados.

Para a produção de *Pleurotus* spp., não é necessariamente requerida uma etapa de biodegradação do substrato, sendo possível realizar o preparo do material e, posteriormente, submetê-lo diretamente ao tratamento térmico, como esterilização ou pasteurização. Esse processo difere daquele empregado na produção de *Agaricus bisporus*, em que a compostagem constitui uma etapa fundamental do preparo do substrato (Zied et al., 2024). No entanto, os resultados obtidos no presente estudo sugerem que a ocorrência de uma degradação moderada do substrato pode ser benéfica para o cultivo de *P. ostreatus* var. Florida. A maior desagregação das fibras observada por MEV no método tradicional esteve associada à maior produtividade da linhagem POF 23/02. Esse resultado sugere que os revolvimentos e as maiores temperaturas alcançadas durante a Fase I podem ter contribuído para a fragmentação e desestruturação do material lignocelulósico, aumentando a superfície de contato disponível e, conseqüentemente, favorecendo o acesso e a colonização do substrato pelo micélio.

Essa maior intensidade de degradação também foi corroborada pelas alterações na composição lignocelulósica dos substratos. O método tradicional apresentou menor teor de hemicelulose, enquanto o aumento relativo do teor de celulose pode estar relacionado à maior degradação da fração hemicelulósica durante a compostagem, conforme descrito na literatura (Mishra; Yadav, 2021, 2022; Li et al., 2023; Yang et al., 2024; Assini et al., 2025; He et al., 2026). As maiores temperaturas observadas nesse método podem ter intensificado a atividade microbiana durante a fase termofílica, favorecendo a degradação de componentes mais facilmente acessíveis, especialmente a hemicelulose. Adicionalmente, a maior concentração de cinzas observada no método tradicional pode estar associada à maior mineralização da matéria orgânica e à conseqüente concentração relativa dos componentes minerais (Jain; Daga; Kalamdhad, 2018; Waqas et al., 2026).

Além da aeração, o teor de umidade do substrato também desempenha papel fundamental na dinâmica da compostagem. Durante a fase I da compostagem, a umidade permaneceu elevada, situando-se acima da faixa recomendada entre 55 e 65%, conforme relatado em estudos anteriores (Cocozza et al., 2011; Guo et al., 2021; Yang et al., 2022; Wang et al., 2024). Esse comportamento era esperado, em função

do umedecimento inicial do material volumoso e das reaplicações de água realizadas antes de cada revolvimento.

A leve redução de umidade observada nos dias 4 e 5 da fase I pode estar relacionada à intensificação da atividade microbiana, associada ao metabolismo dos microrganismos, além das perdas de água ocorridas durante o processo (Guo et al., 2021; Yang et al., 2022; Li et al., 2023). Após a fase II, os níveis de umidade permaneceram estáveis e dentro da faixa considerada ideal para o desenvolvimento de *Pleurotus* spp. (50–75%) (Bellettini et al., 2019), em concordância com os resultados de De Mastro et al. (2023), que relataram valores superiores a 75% nos estágios finais da compostagem.

Em continuidade aos aspectos físicos discutidos, as propriedades químicas do substrato também desempenham papel determinante no cultivo, influenciando diretamente o rendimento e o valor nutricional dos cogumelos (Lucas de Jesus et al., 2023). De acordo com Wang et al. (2024), uma relação C/N ligeiramente reduzida favorece o crescimento do micélio em cogumelos ostra. Nesse contexto, o menor teor de nitrogênio e a maior relação C/N observados no método bunker sem suplementação podem estar associados ao menor rendimento obtido nesse sistema.

A disponibilidade de nitrogênio desempenha um papel importante na síntese de enzimas lignocelulolíticas envolvidas na degradação de celulose, hemicelulose e lignina (Lucas de Jesus et al., 2023). Assim, uma relação C/N elevada pode estar associada à menor disponibilidade de nitrogênio para a síntese dessas enzimas, dificultando a degradação do substrato e o acesso do micélio a carboidratos mais facilmente assimiláveis, o que pode ter limitado o crescimento micelial e a formação de corpos de frutificação.

Os valores de pH do substrato permaneceram entre 7,43 e 6,84, faixa considerada adequada para o cultivo de *Pleurotus* spp. (Vieira Junior et al., 2025b). Embora não tenham sido observadas diferenças significativas entre os métodos de produção, os tratamentos suplementados apresentaram pH inferior aos os não suplementados. Essa redução pode estar relacionada às características químicas do suplemento e ao tratamento empregado para sua desinfecção (Azevedo et al., 2005; Gonçalves; De Brito-Gitirana, 2008; Zongo et al., 2025).

Outro fator relevante é a condutividade elétrica, que atua como indicador da decomposição da matéria orgânica, em função da liberação de sais solúveis ao longo do processo de compostagem (Pudelko, 2014). No presente estudo, os substratos preparados com o método tradicional apresentaram os maiores valores, esse comportamento pode corroborar os demais indicadores de maior intensidade de degradação observados no método tradicional.

Adicionalmente, a maior concentração de cinzas observada no método tradicional pode estar associada à menor relação C/N, indicando maior grau de mineralização durante o processo (Jain; Daga; Kalamdhad, 2018; Waqas et al., 2026). Embora, a suplementação não tenha promovido aumentos expressivos na maioria das variáveis avaliadas, apresentou interação com o método de preparo do substrato, indicando um efeito compensatório, especialmente no método bunker. Esse resultado sugere que a suplementação pode ter atenuado limitações associadas à menor intensidade de degradação observada nesse método. De acordo com a literatura, suplementos fornecem compostos nutricionais essenciais, como fontes de nitrogênio, lipídios e minerais, que desempenham papel importante no crescimento micelial e na produção de cogumelos (Lucas de Jesus et al., 2023; Caitano et al., 2024). Nesse sentido, a suplementação na inoculação é amplamente utilizada como estratégia para aumentar o rendimento produtivo e viabilizar o aproveitamento de resíduos agroindustriais (Carrasco et al., 2018; Zied et al., 2019a, 2019b; Caitano et al., 2024).

A linhagem POF 23/02 apresentou maior sensibilidade às variações no método de preparo, com melhor desempenho no sistema tradicional, enquanto a POF 23/01 demonstrou maior estabilidade produtiva, independentemente do método utilizado. Destaca-se, ainda, que a linhagem POF 23/02 respondeu positivamente à suplementação quando associada ao método bunker, enquanto a POF 23/01 não apresentou diferença significativa em resposta à suplementação. Esses achados corroboram estudos que indicam que diferenças genéticas entre linhagens, associadas à composição do substrato, podem resultar em respostas produtivas distintas (Dias et al., 2014; Zied et al., 2019a; Lucas de Jesus et al., 2023; Caitano et al., 2024).

Esses achados indicam o potencial do sistema bunker com ventilação forçada para a produção de substratos destinados ao cultivo de *Pleurotus*, com menor

necessidade de revolvimentos e, conseqüentemente reduzindo a demanda por mão de obra, um fator relevante no cultivo de cogumelos, considerando que sua disponibilidade é escassa e cara (De Cianni; Pippinato; Mancuso, 2023; Zied et al., 2024).

5. CONCLUSÃO

A produção de substrato por meio da compostagem curta em sistema bunker com aeração forçada apresentou potencial para o cultivo de *Pleurotus ostreatus* var. Florida. A resposta produtiva foi influenciada pela linhagem e pelas condições de preparo do substrato. Embora o método tradicional tenha proporcionado maior produtividade para a linhagem POF 23/02, a suplementação com resíduo de amendoim reduziu as diferenças entre os métodos, enquanto a linhagem POF 23/01 apresentou maior estabilidade produtiva, com desempenho semelhante em ambos os sistemas de compostagem. Esses resultados indicam que a escolha da linhagem constitui um fator importante para o desempenho produtivo e para a resposta às condições de compostagem e suplementação.

Entretanto, novas investigações são necessárias para avaliar a viabilidade econômica e otimizar as condições de operação do sistema, visando sua aplicação em escala comercial na produção de substratos para o cultivo de *Pleurotus*.

REFERÊNCIAS

- AL-JBOURI, Zeena Salah; ALSAADY, Majida Hadi; ABDULRAZZAQ, Ahmed Kareem. Evaluation of substrate efficacy and supplementation on the growth and productivity of three species of oyster mushrooms. **Journal of Ecological Engineering**, v. 26, n. 5, 2025.
- ARSHADI, Nooshin; NOURI, Hoda; MOGHIMI, Hamid. Increasing the production of the bioactive compounds in medicinal mushrooms: an omics perspective. **Microbial Cell Factories**, v. 22, n. 1, p. 11, 16 jan. 2023.
- ASSINI, Pedro *et al.* Intensification of delignification using steam explosion combined with enzymatic hydrolysis for enhanced fermentable sugar production. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 209, p. 110177, 1 mar. 2025.
- AVIÑÓ-CALERO, Juan *et al.* Addition discarded tennis balls as an inert bulking agent to olive mill waste and pig slurry during composting reduces the energy consumption related to ventilation and the generation of anaerobic gases. **Journal of Environmental Management**, v. 395, p. 127905, 1 dez. 2025.
- AZEVEDO, Rodrigo Alves *et al.* Structural aspects of the Eberth-Katschenko layer of *Bufo ictericus* integument: histochemical characterization and biochemical analysis of the cutaneous calcium (Amphibian, Bufonidae). **Micron**, v. 36, n. 1, p. 61–65, 1 jan. 2005.
- BELLETTINI, Marcelo Barba *et al.* Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 4, p. 633–646, 2019.
- BIJLA, Shweta. Status of mushroom production: Global and national scenario. **Mushroom Research**, v. 32, n. 2, 2023.
- CAITANO, Cinthia Elen Cardoso *et al.* Applicability Analysis of Peanut Addition to Button Mushroom Substrate Supplement Formulation. **Horticulturae**, v. 10, n. 10, p. 1088, out. 2024.
- CARDOSO, Rossana V. C. *et al.* Influence of Calcium Silicate on the Chemical Properties of *Pleurotus ostreatus* var. florida (Jacq.) P. Kumm. **Journal of Fungi**, v. 6, n. 4, p. 299, dez. 2020.
- CARRASCO, Jaime *et al.* Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. **AMB Express**, v. 8, n. 1, p. 146, 18 set. 2018.
- COCOZZA, Claudio *et al.* Comparative management of offshore posidonia residues: Composting vs. energy recovery. **Waste Management**, v. 31, n. 1, p. 78–84, 1 jan. 2011.
- COPPOCK, Robert W.; CHRISTIAN, Ralph G. Aflatoxins. In: **Veterinary toxicology**. [S.l.]: Elsevier, 2025. p. 1009–1023.
- DE BONIS, Marina *et al.* Effect of Different LED Light Wavelengths on Production and Quality of *Pleurotus ostreatus* Grown on Different Commercial Substrates. **Horticulturae**, v. 10, n. 4, p. 349, abr. 2024.

DE CIANNI, Rachele; PIPPINATO, Liam; MANCUSO, Teresina. A systematic review on drivers influencing consumption of edible mushrooms and innovative mushroom-containing products. **Appetite**, v. 182, p. 106454, 1 mar. 2023.

DE MASTRO, Francesco *et al.* Influence of Growing Substrate Preparation on the Biological Efficiency of *Pleurotus ostreatus*. **Horticulturae**, v. 9, n. 4, p. 439, abr. 2023.

DE SISA, Buzayehu *et al.* Utilization of local agro-industrial by-products based substrates to enhance production and dietary value of mushroom (*P. ostreatus*) in Ethiopia. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 40, n. 9, p. 277, 22 jul. 2024.

DEVI, Phuritshabam Vivekanandini *et al.* Bioactive compounds, nutraceutical values and its application in food product development of oyster mushroom. **Journal of Future Foods**, v. 4, n. 4, p. 335–342, 2024.

DIAS, Eustaquio Souza *et al.* Supplementation of compost for *Agaricus subrufescens* cultivation. **Industrial Biotechnology**, v. 10, n. 2, p. 130–132, 2014.

FERRARO, Valeria *et al.* Cultivated mushrooms: Importance of a multipurpose crop, with special focus on Italian fungiculture. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 156, n. 1, p. 130–142, 2022.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *In*: Lavras, 2008.

GONÇALVES, Vanessa Figueira; DE BRITO-GITIRANA, Lycia. Structure of the sexually dimorphic gland of *Cycloramphus fuliginosus* (Amphibia, Anura, Cycloramphidae). **Micron**, v. 39, n. 1, p. 32–39, 1 jan. 2008.

GOUVEIA, Ester Ribeiro *et al.* Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, p. 1500–1503, 2009.

GUO, Yu-Xin *et al.* Succession of the microbial communities and function prediction during short-term peach sawdust-based composting. **Bioresource Technology**, v. 332, p. 125079, 1 jul. 2021.

HE, Haoxing *et al.* Innovative valorization of biogas digestate: deep eutectic solvent treatment for high-purity lignin recovery and methane production enhancement. **Chemical Engineering Journal**, v. 527, p. 171843, 1 jan. 2026.

HERNÁNDEZ, Daniel; SÁNCHEZ, José E.; YAMASAKI, Keiko. A simple procedure for preparing substrate for *Pleurotus ostreatus* cultivation. **Bioresource Technology**, v. 90, n. 2, p. 145–150, 2003.

IOSSI, Matheus R. *et al.* Macromineral consumption by *Pleurotus ostreatus* var. Florida in different straws. **Archives of Biological Sciences**, v. 75, n. 1, p. 19–25, 2023.

JAIN, Mayur Shirish; DAGA, Mohit; KALAMDHAD, Ajay S. Composting physics: A science behind bio-degradation of lignocellulose aquatic waste amended with inoculum and bulking agent. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 116, p. 424–432, 1 maio 2018.

KREIDENWEIS, Ulrich *et al.* Greenhouse gas emissions from broiler manure treatment options are lowest in well-managed biogas production. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124969, 20 jan. 2021.

LI, Xiaolan *et al.* Diversity of lignocellulolytic functional genes and heterogeneity of thermophilic microbes during different wastes composting. **Bioresource Technology**, v. 372, p. 128697, 2023.

LIU, Qin *et al.* Effects of initial corncob particle size on the short-term composting for preparation of cultivation substrates for *Pleurotus ostreatus*. **Environmental Research**, v. 248, p. 118333, 1 maio 2024.

LOI, Martina *et al.* *In vitro* single and combined mycotoxins degradation by Ery4 laccase from *Pleurotus eryngii* and redox mediators. **Food Control**, v. 90, p. 401–406, 1 ago. 2018.

LUCAS DE JESUS, Gabriel *et al.* Nutrient uptake in supplemented substrate by oyster mushroom. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 7, p. 175, 2023.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasil. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. **Instrução Normativa SDA Nº 17.**, v. 1, n. 99, 2007.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasil. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. 2017.

MARTINEZ-BURGOS, Walter José *et al.* Bioactive compounds produced by macromycetes for application in the pharmaceutical sector: Patents and products. **Fermentation**, v. 10, n. 6, p. 275, 2024.

MICHEL, Frederick *et al.* Forced aeration composting, aerated static pile, and similar methods. *In: The composting handbook*. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 197–269.

MISHRA, Sandeep Kumar; YADAV, Kunwar D. Disposal of garden waste using food waste inoculant in rotary drums and their ranking using analytical hierarchy process. **Bioresource Technology Reports**, v. 15, p. 100710, 1 set. 2021.

MISHRA, Sandeep Kumar; YADAV, Kunwar D. Assessment of the effect of particle size and selected physico-chemical and biological parameters on the efficiency and quality of composting of garden waste. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 3, p. 107925, 1 jun. 2022.

MORALES-VERA, Rodrigo *et al.* A Comparison of Static Aeration and Conventional Turning Windrow Techniques: Physicochemical and Microbial Dynamics in Wine Residue Composting. **Fermentation**, v. 11, n. 4, p. 197, abr. 2025.

MOREAUX, Kasper. Spawn Production. *In: Edible and Medicinal Mushrooms*. [S.l.]: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. p. 89–128.

PUDEŁKO, Krzysztof. Effect of forced ventilation during composting on *Agaricus bisporus* substrate selectivity. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 93, p. 153–161, 1 set. 2014.

PUTRA, Nicky Rahmana *et al.* Valorization of peanut skin as agricultural waste using various extraction methods: A review. **Molecules**, v. 28, n. 11, p. 4325, 2023.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>, 2016.

RASAPOOR, M. *et al.* The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 570–573, 1 fev. 2009.

RODRIGUES, Gabriela de Moura; OKURA, Mônica Hitomi. Cogumelos comestíveis no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e24711830830–e24711830830, 17 jun. 2022.

SASSINE, Youssef N. *et al.* Nano urea effects on *Pleurotus ostreatus* nutritional value depending on the dose and timing of application. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 5588, 10 mar. 2021.

SEMA, Alaki-Issi Massimapatom *et al.* Etude comparée de la ventilation naturelle et automatique à l'aide de tuyaux perforés et du procédé classique de retournements des andains en compostage. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 15, n. 1, p. 354–366, 21 abr. 2021.

SONG, Yanyi *et al.* Degradation of zearalenone and aflatoxin B1 by Lac2 from *Pleurotus pulmonarius* in the presence of mediators. **Toxicon**, v. 201, p. 1–8, 2021.

TAPPI, T. **TEST METHOD T 222 om-88, Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp**. [S.l.]: Tappi Press Atlanta, 1999.

THEN, Y. H.; LAI, J. C.; THEN, Y. L. Study of forced aeration system for fruit and vegetable waste composting. *In*: IOP Publishing, 2021.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. IV. Determination of Plant Cell-Wall Constituents. **Journal of Association of Official Analytical Chemists**, v. 50, n. 1, p. 50–55, 1 fev. 1967.

VIEIRA, Fabrício Rocha; DE ANDRADE, Meire Cristina Nogueira. Optimization of substrate preparation for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation by studying different raw materials and substrate preparation conditions (composting: phases I and II). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 32, n. 11, p. 190, 30 set. 2016.

VIEIRA JUNIOR, Wagner Gonçalves *et al.* From waste to resource: Sustainable reuse of spent shiitake mushroom substrate in subsequent production cycles. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 200, p. 106034, 1 abr. 2025a.

VIEIRA JUNIOR, Wagner Gonçalves *et al.* Evaluation of Reuse of Spent Mushroom Substrate for New *Pleurotus ostreatus* Crop Cycle. **AgriEngineering**, v. 7, n. 10, p. 342, out. 2025b.

WANG, Qiuying *et al.* Microbial Inoculation during the Short-Term Composting Process Enhances the Nutritional and Functional Properties of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). **Life**, v. 14, n. 2, p. 201, fev. 2024.

WAQAS, Muhammad *et al.* The implication of continuous thermophilic composting for the resource recovery from slaughterhouse waste. **Biomass and Bioenergy**, v. 211, p. 109213, 1 ago. 2026.

WU, Shihang *et al.* Montmorillonite promotes the transformation of lignocellulose to microbial necromass in co-composting of chicken manure and corn straw. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 14, n. 2, p. 121601, 1 abr. 2026.

YANG, Xinya *et al.* Soil accelerates the humification involved in co-composting of wheat straw and cattle manure by promoting humus formation. **Chemical Engineering Journal**, v. 479, p. 147583, 1 jan. 2024.

YANG, Ya-Ru *et al.* Impacts of composting duration on physicochemical properties and microbial communities during short-term composting for the substrate for oyster mushrooms. **Science of The Total Environment**, v. 847, p. 157673, 15 nov. 2022.

ZAPAŚNIK, Agnieszka *et al.* *Pleurotus* spp.—an effective way in degradation mycotoxins? A comprehensive review. **Mycotoxin Research**, v. 41, n. 1, p. 1–13, 1 fev. 2025.

ZIED, Diego Cunha *et al.* Study of Waste Products as Supplements in the Production and Quality of *Pleurotus ostreatus* var. Florida. **Indian Journal of Microbiology**, v. 59, n. 3, p. 328–335, 1 set. 2019a.

ZIED, Diego Cunha *et al.* Use of peanut waste for oyster mushroom substrate supplementation—oyster mushroom and peanut waste. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 4, p. 1021–1029, 1 out. 2019b.

ZIED, Diego Cunha *et al.* Efficiency of mushrooms for food production - fundamental strategic decision-making. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 125, p. 105734, 1 jan. 2024.

ZONGO, Sandrine *et al.* Phenolic compounds and safety of improved and local peanut varieties grown in Burkina Faso. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 8702, 13 mar. 2025.

CAPÍTULO 3 – Produção de substrato para *Pleurotus ostreatus* var. Florida em compostagem de 9 dias nos sistemas tradicional e bunker com ventilação forçada

RESUMO – A produção de substratos para o cultivo de cogumelos do gênero *Pleurotus*, especialmente para o shimeji branco, emprega frequentemente sistemas de compostagem curta, nos quais são realizados revolvimentos periódicos para favorecer a aeração e o desenvolvimento do processo. Embora essa prática seja amplamente utilizada, o revolvimento do substrato pode representar uma demanda significativa de mão de obra e combustível, especialmente quando realizado de forma mecanizada. Nesse contexto, sistemas de compostagem com aeração forçada surgem como uma alternativa para reduzir a necessidade de revolvimento e otimizar o aproveitamento de resíduos agroindustriais na preparação de substratos. Contudo, ainda são necessários estudos voltados à avaliação de sua eficiência na produção de substratos para o cultivo do cogumelo ostra, buscando obter substratos com características adequadas ao cultivo e, simultaneamente, reduzir os custos e a demanda operacional do processo. Nesse sentido, este estudo investigou o potencial da compostagem com nove dias de Fase I, conduzida nos sistemas tradicional e em bunker com ventilação forçada, para a produção de substrato de *Pleurotus ostreatus* var. Florida, associada ou não à suplementação com resíduos de amendoim. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, avaliando dois métodos de preparo, duas linhagens (POF 23/01 e POF 23/02) e dois níveis de suplementação, utilizando um substrato formulado com palha de *Urochloa dictyoneura* e bagaço de cana-de-açúcar. Durante a Fase I, o método tradicional apresentou temperaturas médias superiores (55 °C), enquanto o sistema bunker manteve valores inferiores (41 °C), possivelmente associado à elevada taxa de ventilação empregada. Quanto à composição lignocelulósica e teor de cinzas, o método bunker resultou em maiores teores de celulose (33,1%) e cinzas (11,3%), ao passo que o método tradicional apresentou maior teor de hemicelulose (14,9%). As análises de microscopia eletrônica de varredura evidenciaram estrutura mais compacta no bunker e maior desagregação das fibras no sistema tradicional, possivelmente em razão do revolvimento mecânico e das maiores temperaturas ao longo da fase I de compostagem. Apesar das variações físico-químicas e térmicas observadas, não houve diferença significativa na produtividade total e na eficiência biológica entre os métodos de preparo e as linhagens. Contudo, a suplementação com resíduos de amendoim promoveu aumento de 2% na produtividade do primeiro fluxo de colheita. O sistema bunker com ventilação forçada é uma alternativa viável para produzir substrato com qualidade para *P. ostreatus* var. Florida, produzindo substratos de qualidade equivalente e com potencial para reduzir a demanda operacional. No entanto, estudos avaliando a viabilidade econômica do processo seriam importantes para analisar a aplicação em cultivos comerciais.

Palavras-chave: Cultivo de cogumelos, ventilação forçada, resíduos de amendoim, produtividade, compostagem.

1. INTRODUÇÃO

A produção de cogumelos do gênero *Pleurotus* constitui uma alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos lignocelulósicos, convertendo subprodutos agroindustriais em alimentos de elevado valor nutricional e potencial econômico (Arshadi; Nouri; Moghimi, 2023; Lucas de Jesus et al., 2023; Devi et al., 2024; Desisa et al., 2024). Dentre as espécies cultivadas, *Pleurotus ostreatus* var. Florida destaca-se por estar entre as espécies mais produzidas no Brasil e no mundo (Menolli et al., 2025; De Albuquerque et al., 2026).

Nesse contexto, diversos métodos de preparo têm sido aplicados na produção de substrato para *Pleurotus* spp., entre os quais se destacam a esterilização e pasteurização (Zied et al., 2024). No cultivo de *P. ostreatus* var. Florida, o sistema de produção mais empregado tem sido a compostagem curta das matérias-primas por um período de 5 a 10 dias, seguido por pasteurização a vapor (Zied et al., 2019a; Yang et al., 2022; De Mastro et al., 2023). A adoção desse método pode diminuir o investimento em equipamentos e infraestrutura, além de contribuir com a redução da taxa de contaminação (Vieira; De Andrade, 2016; Yang et al., 2022; Wang et al., 2024b).

Entretanto, esse sistema exige maior investimento em mão de obra e consumo de diesel devido ao uso de máquinas para o revolvimento durante a compostagem, além de necessitar de áreas mais amplas para a movimentação e revolvimento das pilhas (Sema et al., 2021; Kreidenweis et al., 2021; Thomson et al., 2022; Aviñó-Calero et al., 2025). Nesse contexto, o uso de bunker com ventilação forçada surge como uma alternativa, técnica já investigada na produção de substrato para *Agaricus bisporus* e no gerenciamento de resíduos (Pudelko, 2014; Tong et al., 2019; Morales-Vera et al., 2025).

Além das estratégias relacionadas ao preparo do substrato, o uso da suplementação constitui uma técnica importante na produção do substrato, podendo ser realizada durante a inoculação com o objetivo de fornecer nutrientes adicionais, aumentar o rendimento e a precocidade e viabilizar o aproveitamento de resíduos agroindustriais (Zied et al., 2019b; Caitano et al., 2024; Riya; Sud, 2026). Entre os materiais com potencial de uso, destacam-se os resíduos de amendoim, que são gerados em grande quantidade em regiões tropicais e subtropicais (Putra et al., 2023).

Quando contaminados por aflatoxinas, esses resíduos deixam de ser adequados para a alimentação humana e animal. (Caitano et al., 2024; Coppock; Christian, 2025). Entretanto, estudos demonstram que determinadas espécies fúngicas são capazes de promover a redução dos teores de aflatoxinas em materiais contaminados, evidenciando seu potencial para processos de biotransformação e descontaminação, o que pode sugerir o aproveitamento de resíduos de amendoim contaminados na suplementação de *Pleurotus* spp. (Loi et al., 2018; Song et al., 2021; Zapašník et al., 2025).

Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo investigar o potencial da compostagem com 9 dias de fase I, conduzida no sistema tradicional e em bunker com ventilação forçada, para a produção de substrato de *Pleurotus ostreatus* var. Florida, associada ou não à suplementação com resíduos de amendoim.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nas instalações do Centro de Estudos em Cogumelos (CECOG), vinculado à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Dracena.

2.1. Linhagens

A produção do inóculo das linhagens POF 23/01 e POF 23/02 seguiu a metodologia adaptada de Moreaux (2017), conforme descrito na seção 2.1 no Capítulo 2 (p.31).

2.2. Composição do substrato

A composição do substrato foi estabelecida com o objetivo de atingir uma relação carbono/nitrogênio (C/N) de 60:1, para ambos os métodos de compostagem (tradicional e bunker). As proporções dos componentes foram calculadas com base na matéria seca dos materiais. O substrato foi formulado utilizando 42,5% de palha de *Urochloa dictyoneura* (sinônimo: *Brachiaria dictyoneura*) e 42,5% de bagaço de cana-de-açúcar. Adicionalmente, foram incorporados 7% de farelo de arroz, 7% de farelo

de soja e 1% de carbonato de cálcio (CaCO_3) com a finalidade de ajustar o pH (Al-Jbouri; Alsaady; Abdulrazzaq, 2025).

2.2.1. Preparação do substrato (fase I e fase II da compostagem)

A fase I de compostagem foi realizada em estufa agrícola, equipada com laterais revestidas por tela de sombreamento e piso concretado. As pilhas foram formadas por camadas alternadas de bagaço de cana-de-açúcar e palha de *U. dictyoneura* pré-umedecidas até a faixa recomendada entre 55 – 65% de umidade para o processo de compostagem (Cocozza et al., 2011; Guo et al., 2021; Yang et al., 2022; Wang et al., 2024), posteriormente realizou-se a incorporação dos farelos e do carbonato de cálcio durante a montagem.

No primeiro dia, os materiais volumosos foram pré-umedecidos até atingir aproximadamente 60% de umidade (Bellettini et al., 2019). No segundo dia, realizou-se à adição de água externamente na pilha e o ajuste da relação C/N e do pH por meio da incorporação dos farelos e do carbonato de cálcio. Posteriormente, as pilhas referentes aos métodos tradicional e bunker foram estruturadas diretamente sobre o piso concretado, com dimensões de $1,5 \times 1,0 \times 0,75$ m (comprimento $\times$ largura $\times$ altura).

No terceiro dia, o substrato destinado ao método bunker foi transferido para o piso equipado com sistema de aeração forçada, com dimensões de $2,0 \times 1,90 \times 0,75$ m.

Entre o terceiro e o nono dia, o substrato do método tradicional recebeu adição de água duas vezes ao dia (parte da manhã e final da tarde) na parte externa da pilha, sendo submetido a reviramentos em dias alternados com a ajuda de forcados agrícolas para promover a aeração. No método bunker, os reviramentos foram dispensados nesse período, sendo adotada ventilação forçada intermitente, com ciclos de 15 minutos de aeração seguidos por 1 h e 30 min sem ventilação, do terceiro ao nono dia, com vazão de ar de $120 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1} \text{ h}^{-1}$, aplicada por meio de um sistema de dutos de ventilação instalados na base da pilha e conectados a um motor soprador de 0,16 CV. Paralelamente, o controle da umidade foi realizado mediante a aplicação de água sobre a superfície externa da pilha, duas vezes ao dia, pela manhã e no final da tarde.

Ao término da fase I no nono dia, o substrato foi transferido com o auxílio de forcados agrícolas, para caixas plásticas treliçadas termorresistentes, nas quais foram acondicionados aproximadamente 8 kg por unidade. Posteriormente, as caixas foram distribuídas no interior do pasteurizador para a execução da fase II. O processo compreendeu a pasteurização a 59 ± 1 °C durante 16 h, seguida do condicionamento a 50 ± 1 °C durante 56 h, realizados no túnel de pasteurização conforme descrito na seção 2.4 no Capítulo 2 (p.33).

2.3. Preparação do suplemento, suplementação e inoculação

Os procedimentos referentes ao preparo do suplemento, suplementação, inoculação e incubação foram conduzidos conforme descrito na seção 2.5 no Capítulo 2 (p.33).

2.4. Condições de cultivo e colheita dos cogumelos

Durante a fase de frutificação, as condições ambientais foram mantidas a 26 ± 2 °C de temperatura e $80 \pm 5\%$ de umidade relativa. A primeira colheita ocorreu após 16 dias de incubação, sendo o período de colheita prolongado por 44 dias, totalizando um ciclo de cultivo de 60 dias. Os cogumelos foram colhidos duas vezes ao dia e, posteriormente, submetidos à pesagem e contagem, para determinação dos parâmetros produtivos.

2.5. Monitoramento da temperatura e umidade durante a compostagem

Durante a compostagem fase I, foram realizadas medições diárias da temperatura das pilhas com auxílio de termômetro digital, considerando-se 10 pontos de avaliação distribuídos ao longo da pilha, conforme adaptação do procedimento proposto por Yang et al. (2022).

O teor de umidade do substrato foi determinado a partir de três amostras, coletadas após homogeneização na compostagem inicial, ao final da fase I e ao final da fase II. Posteriormente, as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 105°C até obtenção de peso constante, conforme descrito por Guo et al. (2021).

2.6. Caracterização química

Após a conclusão da fase II e suplementação, foram coletadas três amostras do substrato ($n = 3$) para a caracterização de suas propriedades químicas. Foram determinados o pH, a condutividade elétrica, a relação C/N, conforme os procedimentos descritos no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (MAPA, 2007, 2017). Adicionalmente, foram quantificadas as frações de celulose, hemicelulose, lignina e cinzas. Os teores de celulose e hemicelulose foram determinados pelo método de (Van Soest; Wine, 1967), enquanto a lignina foi quantificada de acordo com o método padrão TAPPI T222 om-88 da Associação Técnica da Indústria de Celulose e Papel (Tappi, 1999). O teor de cinzas foi determinado com base no método adaptado de Gouveia et al. (2009).

2.7. Microscopia eletrônica de varredura

A microestrutura do substrato foi caracterizada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando-se três amostras ($n = 3$) coletadas após a fase II, conforme metodologia descrita na seção 2.7 no Capítulo 2 (p.34).

2.8. Parâmetros produtivos

O desempenho produtivo foi determinado a partir de 9 unidades experimentais ($n = 9$). Os parâmetros produtivos avaliados incluíram: (i) produtividade (%), determinado pela razão entre a massa fresca dos cogumelos colhidos e a massa fresca do substrato, multiplicada por 100, considerando-se individualmente o 1°, 2°, 3° e 4° fluxos de colheita, bem como a produtividade total; (ii) massa média dos cogumelos (g), calculada pela divisão entre a massa fresca total dos cogumelos colhidos e o número total de cogumelos; (iii) eficiência biológica (%), determinada pela relação entre a massa dos cogumelos colhidos e a massa seca do substrato, multiplicado por 100; (iv) dias para a primeira colheita (DPC), definido como o número de dias entre a inoculação e a primeira colheita; e (v) colheita da primeira parte (CPP), correspondente a produtividade obtida até a metade do ciclo total de dias de colheita.

2.9. Delineamento experimental e análises estatísticas

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, composto por dois métodos de preparo do substrato, duas linhagens e dois níveis de suplementação (com e sem), totalizando oito tratamentos. Cada tratamento foi constituído por 9 unidades experimentais, contendo 6 Kg de substrato úmido por bloco.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias das variáveis de caracterização química e produtivas foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

As análises estatísticas foram efetuadas no software Sisvar® (versão 5.6) (Ferreira, 2008), e o gráfico foi gerado com o software R (R Core Team, 2016).

3. RESULTADOS

3.1. Temperatura e umidade durante a compostagem

No 3º dia de compostagem, as temperaturas médias foram semelhantes entre os métodos, em torno de 51 °C (Figura 1). A partir do 4º dia, o método tradicional passou a apresentar temperaturas mais elevadas (50 °C) em relação ao método bunker (40 °C), com diferença mais acentuada no 5º dia, quando foi observado o pico térmico no sistema tradicional (62 °C). Nos dias subsequentes (6º ao 9º dia), o método tradicional manteve temperaturas superiores a 50 °C, enquanto o método bunker apresentou valores inferiores, variando entre 45 °C e 32 °C ao longo desse período.

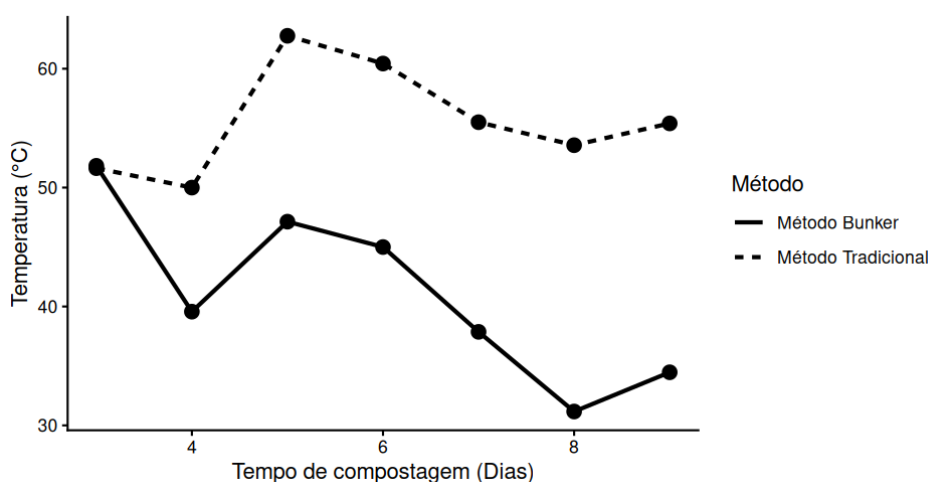


Figura 1. Temperatura das pilhas durante a compostagem fase I

Os teores de umidade do substrato apresentaram valores semelhantes entre os métodos avaliados ao longo do processo de compostagem, situando-se próximo a 59% (Tabela 1). No método tradicional, a umidade manteve-se praticamente constante entre o final da fase I (59,28%) e o final da fase II (59,25%). De forma semelhante, o método bunker não apresentou variações expressivas, com valores de 59,82% na fase I e 58,47% na fase II.

Tabela 1. Teor de umidade do substrato durante a compostagem.

Método	CI (%)	FI (%)	FII (%)
Tradicional	60	59,28	59,25
Bunker	60	59,82	58,47

CI (compostagem inicial), FI (Final da fase I) e FII (final da fase II).

3.2. Caracterização química

Os parâmetros de caracterização química do substrato variaram entre os tratamentos avaliados (Tabela 2). Os substratos suplementados apresentaram maiores teores de nitrogênio, refletindo na redução da relação C/N, com valores entre 35,73 a 36,53. Em contraste, os tratamentos não suplementados apresentaram valores maiores de relação C/N, com valores de 39,78 para o método bunker e 46,79 para método tradicional.

O pH manteve-se próximo da neutralidade em todos os tratamentos, variando entre 6,71 e 7,09; no entanto, observou-se uma leve redução nos substratos suplementados em comparação aos não suplementados. Em relação à condutividade elétrica, os maiores valores foram observados no método bunker, independentemente da suplementação, enquanto o método tradicional apresentou valores inferiores.

Tabela 2. Caracterização química do substrato nos diferentes tratamentos.

Método	Carbono total (% MS)	N Total	Relação C/N	pH	Condutividade elétrica (mS/cm ⁻¹)
Bunker	43,76 ± 0,90	1,10 ± 0,02	39,78 ± 3,20	7.01 ± 0,02 ab	1,69 ± 0,03 a
Trad.	47,26 ± 0,85	1,01 ± 0,03	46,79 ± 4,06	7.09 ± 0,03 a	1,38 ± 0,01 c
Bunker + S*	49,69 ± 0,80	1,36 ± 0,04	36,53 ± 3,96	6.71 ± 0,05 c	1,60 ± 0,05 b
Trad. + S	48,96 ± 0,88	1,37 ± 0,03	35,73 ± 4,06	6.96 ± 0,05 b	1,38 ± 0,02 c

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os dados foram expressos como média ± desvio padrão (DP, $n = 3$). Trad.: método tradicional; S*: uso da suplementação.

No mesmo sentido, ao analisar as frações estruturais do substrato (Tabela 3). Observou-se que os teores de celulose, hemicelulose, lignina e cinzas variaram entre os métodos de preparo. O método bunker apresentou maior teor de celulose (33,1%) em comparação ao método tradicional (27,4%). Em contraste, o método tradicional apresentou maior teor de hemicelulose (14,9%), enquanto o método bunker apresentou valores inferiores (7,0%).

Em relação ao teor de lignina, não foram verificadas diferenças significativas entre os métodos. Em contrapartida, o método bunker apresentou maior teor de cinzas (11,3%) quando comparado ao método tradicional (9,5%).

Tabela 3. Composição estrutural do substrato em função do método de preparo.

Método	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)
Bunker	33,1 ± 2,0 a	7,0 ± 2,5 b	32,5 ± 1,6 a	11,3 ± 0,3 a
Tradicional	27,4 ± 3,9 b	14,9 ± 0,6 a	34,5 ± 3,8 a	9,5 ± 0,1 b

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.3. Microscopia eletrônica de varredura

As micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos tratamentos estão ilustradas na Figura 2. De forma geral, verificaram-se variações na organização estrutural do substrato entre os sistemas avaliados, tanto nas ampliações de 500× quanto de 1000×.

No método bunker, observou-se uma estrutura mais compacta, com maior agregação das partículas e menor desagregação das fibras. Em contraste, o sistema

tradicional apresentou partículas de menor dimensão, associadas a maior porosidade e desagregação das fibras.

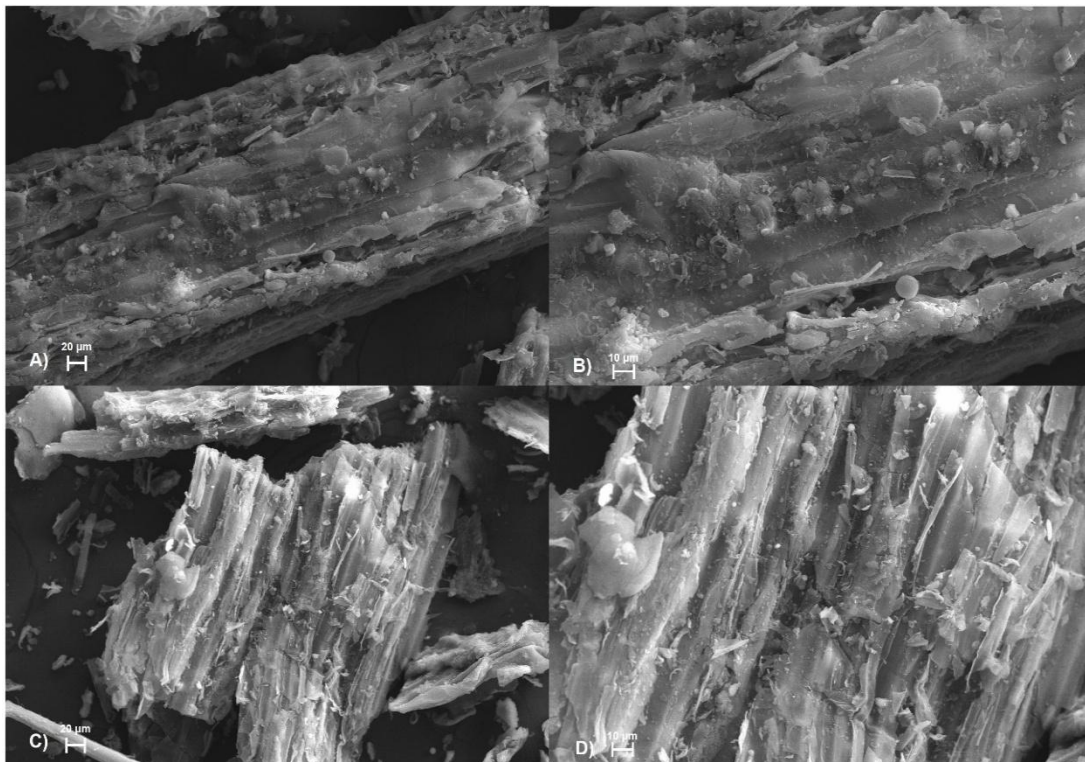


Figura 2. Micrografias obtidas por MEV do substrato ao final da fase II: método bunker (A, B); método tradicional (C, D) nos aumentos de 500× (A, C) e 1000× (B, D).

3.4. Parâmetros produtivos

Não foram observadas diferenças significativas entre os métodos de preparo do substrato, linhagens ou suplementação para a produtividade e eficiência biológica. A suplementação, no entanto, promoveu aumento de aproximadamente 2% no rendimento do primeiro fluxo, reduziu o tempo para a primeira colheita (DPC) em cerca de 1 dia e elevou em torno de 2% o rendimento na colheita da primeira parte (CPP) (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros produtivos de *Pleurotus ostreatus* var. Florida em função do método de preparo do substrato, linhagem e suplementação.

Fonte de variações	MM	1° Fluxo	2° Fluxo	3° Fluxo	4° Fluxo	Prod.	EB.	DPC	CPP
	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(dias)	(%)
Método (A)									
Bunker	1,86	10,15	9,04	3,16	2,35	24,71	58,83	18,22	19,53
Tradicional	1,93	10,29	8,93	3,54	2,25	25,03	61,05	18,22	19,46
<i>p</i> valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Linhagem (B)									
POF 23/01	1,95	9,73	9,08	3,41	2,30	24,53	59,13	18,36	19,06
POF 23/02	1,85	10,71	8,90	3,28	2,30	25,2	60,75	18,08	19,92
<i>p</i> valor	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Suplemento (C)									
Não Suplementado	1,93	9,04 b	9,08	3,54	2,09	24,18	58,29	18,61 b	18,38 b
Suplementado	1,86	11,40 a	8,89	3,16	2,22	25,56	61,59	17,83 a	20,60 a
<i>p</i> valor	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
Interação (A x B)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interação (B x C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interação (A x C)	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interação (A x B x C)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	11,98	31,03	25,89	38,7	38,13	13,71	13,75	4,96	16,43

* Diferença significativa entre os tratamentos com valor de $p < 0,05$. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). MM: massa de cogumelos; Prod: produtividade; EB: eficiência biológica; DPC: dias primeira colheita; CPP: colheita primeira parte CV: coeficiente de variação; ns: não significativo a 5%.

As interações entre os fatores foram, em sua maioria, não significativas. No entanto, foi observada interação significativa entre método de preparo e suplementação (A x C) para a variável massa de cogumelos (Tabela 5), indicando que o efeito da suplementação depende do método utilizado. Na ausência de suplementação, o método tradicional apresentou maior massa de cogumelos em comparação ao sistema bunker. Entretanto, com a adição do suplemento, não foram observadas diferenças significativas entre os métodos.

Tabela 5. Interação método x suplemento para massa de cogumelo.

Método	Massa de cogumelos (g)	
	Suplementação	
	Não suplementado	Suplementado
Bunker	1.84 b	1.89
Tradicional	2.03 a	1.84

CV (%) = 11,98

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CV: coeficiente de variação.

4. DISCUSSÃO

Embora a compostagem com 9 dias de fase I tenha mantido diferenças térmicas entre os métodos de compostagem, essas variações não se refletiram em diferenças no desempenho produtivo ao final do cultivo. O prolongamento da fase I parece ter favorecido para que ambos os métodos produzissem substratos com qualidade semelhante para o cultivo de *Pleurotus ostreatus* var. Florida.

O método tradicional apresentou temperaturas mais elevadas ao longo da fase I (média de 55 °C), comportamento associado à atividade microbiana e à degradação da matéria orgânica (Vauris et al., 2022; Xiong; Liu; Huang, 2026). De acordo com a literatura, condições de temperaturas superiores a 50°C favorecem microrganismos termofílicos, contribuindo para a degradação de componentes lignocelulósicos e para a seletividade do substrato por meio da formação de uma microbiota protetora, como actinobactérias (Guo et al., 2021; Yang et al., 2022; Li et al., 2023). Em contraste, o sistema bunker manteve temperaturas inferiores (41°C), em concordância com o estudo de Díaz et al. (2002), no qual as pilhas com aeração forçada atingiram temperatura máxima de 45 °C, enquanto sistemas com revolvimento mecânico alcançaram 54 °C. Entretanto, estudos indicam que sob condições de ventilação entre 0,2 e 0,6 L min⁻¹ kg⁻¹ (12-36 m³ t⁻¹ h⁻¹), é possível atingir temperaturas iguais ou superiores às de sistemas revolvidos (Li; Zhang; Pang, 2008; Cesaro et al., 2019; Wang et al., 2024c). Nesse contexto, o padrão observado neste estudo pode estar relacionado à taxa de ventilação empregada (120 m³ t⁻¹ h⁻¹), uma vez que a intensidade da aeração influencia na oxigenação, na remoção de calor e dos gases

gerados durante a atividade microbiana (Michel et al., 2022; Morales-Vera et al., 2025).

A umidade permaneceu estável durante a fase I, dentro da faixa recomendada para o processo de compostagem (55-65%) (Cocozza et al., 2011; Guo et al., 2021; Yang et al., 2022; Wang et al., 2024b). Esse padrão pode ser atribuído ao umedecimento inicial dos materiais, aliado às reaplicações de água realizadas ao longo dos revolvimentos. Ao final da fase II, os teores de umidade permaneceram adequados ao desenvolvimento micelial (50-75%) (Timm et al., 2025).

Do ponto de vista químico, observou-se redução da relação C/N ao final da compostagem, resultado atribuído à maior decomposição do carbono em relação ao nitrogênio, permanecendo na faixa considerada adequada para a frutificação de cogumelo ostra (Bellettini et al., 2019; Kong et al., 2020; Wang et al., 2024b). O pH variou entre 7,09 e 6,71, intervalo considerado adequado para o cultivo de *Pleurotus* spp. (Vieira Junior et al., 2025); entretanto, os tratamentos suplementados apresentaram redução de pH, possivelmente associada ao resíduo de amendoim e ao tratamento com formaldeído (Azevedo et al., 2005; Gonçalves; De Brito-Gitirana, 2008; Zongo et al., 2025). A condutividade elétrica foi maior no sistema bunker, sugerindo diferenças na liberação de compostos solúveis durante a compostagem, possivelmente relacionado com a maior disponibilidade de oxigênio promovida pela ventilação forçada, fator que pode favorecer a atividade microbiana e a mineralização da matéria orgânica (Ezeah; Osuagwu; Adesiyun, 2023; Ye et al., 2023; Meng et al., 2024; Kahraman et al., 2026).

As diferenças físico-químicas também foram refletidas na composição lignocelulósica do substrato. O sistema bunker apresentou maior teor de celulose e menor de hemicelulose, enquanto o método tradicional exibiu o padrão oposto. Essa resposta pode estar relacionada ao regime. Esse resultado pode estar relacionado às diferenças de temperatura observadas (Figura 1), fator que influencia a comunidade microbiana, uma vez que o sistema bunker obteve temperaturas mesófilas (41 °C) e o método tradicional temperaturas termofílicas (55 °C). Nesse sentido, estudos indicam maior degradação de hemicelulose em fases mesofílicas e maior atividade celulolítica em fases termofílicas, corroborando com o comportamento observado neste estudo (Chandna et al., 2014; Liu et al., 2017; Guo et al., 2021; Li et al., 2023).

Os maiores teores de cinzas no sistema bunker podem refletir diferenças na dinâmica de decomposição durante a compostagem. A aeração do substrato por revolvimento ou ventilação forçada não apenas fornece oxigênio, mas também favorece a remoção de compostos voláteis como NH_3 , CO_2 e CH_4 (Pudęłko, 2014; Michel et al., 2022), contribuindo também com a degradação da matéria orgânica e alteração da fração residual do substrato (Mengistu et al., 2017; Stegenta et al., 2018; Ezeah; Osuagwu; Adesiyun, 2023; Ye et al., 2023). Nesse sentido, o maior teor de cinzas do método bunker, pode indicar que a aeração intermitente foi mais eficaz no fornecimento de oxigênio e retirada de compostos voláteis em relação ao método tradicional com reviradas em dias alternados.

Essas alterações foram verificadas pelas micrografias de microscopia eletrônica de varredura, nas quais o método bunker manteve uma estrutura mais compacta, enquanto sistema tradicional apresentou maior desagregação das fibras e maior porosidade (Figura 2). O revolvimento mecânico pode ter favorecido a fragmentação das fibras lignocelulósicas e maior exposição do material à degradação, como também descrito na literatura (Dar et al., 2021; Oshins et al., 2022; Li; Li; Sun, 2025).

Apesar das diferenças físico-químicas e estruturais observadas, não houve variação significativa na produtividade e na eficiência biológica entre os substratos e linhagens avaliados. Esse resultado indica que ambos os métodos forneceram condições físicas e nutricionais adequadas ao cultivo de *P. ostreatus* var. Florida (Wang; Wang; Han, 2013; Malathi; Murugesan, 2023; Claude et al., 2024; Qian et al., 2026).

A suplementação, embora não tenha alterado a produtividade total, reduziu o tempo para a primeira colheita e aumentou o rendimento inicial no primeiro fluxo, indicando efeito sobre a precocidade produtiva. Esse comportamento é consistente com a literatura, que mostra que a suplementação pode acelerar o crescimento micelial e favorecer o primeiro fluxo de colheita, devido ao fornecimento de macro e micronutrientes que são importantes para o metabolismo e produção de enzimas degradativas (Kurt; Buyukalaca, 2010; Zied et al., 2019b; Lucas de Jesus et al., 2023; Nabhan et al., 2025; Timm et al., 2025).

Em conjunto, os resultados indicam que o sistema bunker com ventilação forçada apresenta potencial para a produção de substratos com características adequadas ao cultivo de *Pleurotus*. Além de apresentar desempenho produtivo semelhante ao método tradicional, a redução da necessidade de revolvimento pode contribuir para diminuir a demanda operacional e, potencialmente, os custos associados ao manejo do substrato. Entretanto, são necessários estudos que avaliem a viabilidade econômica do sistema, considerando os custos de implantação da estrutura e o consumo de energia elétrica durante sua operação. Esses aspectos são particularmente relevantes, uma vez que as instalações, o consumo de energia, a colheita e a ocupação das salas representam parcelas significativas dos custos de produção na fungicultura (Sema et al., 2021; Wang et al., 2024a; Aviñó-Calero et al., 2025; Gu; Li; Lu, 2026; Yang; Argyropoulos, 2026).

5. CONCLUSÃO

O prolongamento da fase I da compostagem para 9 dias permitiu a obtenção de substratos com características adequadas ao cultivo de *Pleurotus ostreatus* var. Florida em ambos os métodos de preparo. Apesar das diferenças físico-químicas observadas entre os métodos, não foram identificados efeitos significativos sobre a produtividade total e eficiência biológica. A suplementação com resíduo de amendoim não alterou a produtividade total, mas proporcionou aumento de 2% no primeiro fluxo de colheita. No entanto, novos estudos ainda são necessários para avaliar a viabilidade econômica do processo, aprofundar a compreensão das interações entre os fatores avaliados e otimizar as condições de operação do sistema bunker, visando sua aplicação na produção de substratos para *P. ostreatus* var. Florida.

REFERÊNCIAS

- AL-JBOURI, Zeena Salah; ALSAADY, Majida Hadi; ABDULRAZZAQ, Ahmed Kareem. Evaluation of substrate efficacy and supplementation on the growth and productivity of three species of oyster mushrooms. **Journal of Ecological Engineering**, v. 26, n. 5, 2025.
- ARSHADI, Nooshin; NOURI, Hoda; MOGHIMI, Hamid. Increasing the production of the bioactive compounds in medicinal mushrooms: an omics perspective. **Microbial Cell Factories**, v. 22, n. 1, p. 11, 16 jan. 2023.
- AVIÑÓ-CALERO, Juan *et al.* Addition discarded tennis balls as an inert bulking agent to olive mill waste and pig slurry during composting reduces the energy consumption related to ventilation and the generation of anaerobic gases. **Journal of Environmental Management**, v. 395, p. 127905, 1 dez. 2025.
- AZEVEDO, Rodrigo Alves *et al.* Structural aspects of the Eberth-Katschenko layer of *Bufo ictericus* integument: histochemical characterization and biochemical analysis of the cutaneous calcium (Amphibian, Bufonidae). **Micron**, v. 36, n. 1, p. 61–65, 1 jan. 2005.
- BELLETTINI, Marcelo Barba *et al.* Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 4, p. 633–646, 2019.
- CAITANO, Cinthia Elen Cardoso *et al.* Applicability Analysis of Peanut Addition to Button Mushroom Substrate Supplement Formulation. **Horticulturae**, v. 10, n. 10, p. 1088, out. 2024.
- CESARO, Alessandra *et al.* The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 264–270, 15 fev. 2019.
- CHANDNA, Piyush *et al.* Molecular identification and in vitro screening of antagonistic bacteria from agricultural byproduct compost: Effect of compost on development and photosynthetic efficiency of tomato plant. **Annals of Microbiology**, v. 64, n. 2, p. 571–580, 1 jun. 2014.
- CLAUDE, Irambona *et al.* Evaluation of the Influence of Varied Juncao Grass Substrates on Physiological and Enzymatic Reactions of *Pleurotus ostreatus*. **Current Issues in Molecular Biology**, v. 46, n. 9, p. 9493–9502, 27 ago. 2024.
- COCOZZA, Claudio *et al.* Comparative management of offshore posidonia residues: Composting vs. energy recovery. **Waste Management**, v. 31, n. 1, p. 78–84, 1 jan. 2011.
- COPPOCK, Robert W.; CHRISTIAN, Ralph G. Aflatoxins. In: **Veterinary toxicology**. [S.l.]: Elsevier, 2025. p. 1009–1023.
- DAR, R. A. *et al.* Biomethanation of agricultural residues: Potential, limitations and possible solutions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 135, p. 110217, 1 jan. 2021.

DE ALBUQUERQUE, Vitória Tereza Negrão *et al.* Valorization of agro-industrial residues for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* var. florida: yield, nutritional quality, and physicochemical assessment. **Mycological Progress**, v. 25, n. 1, p. 13, 27 fev. 2026.

DE MASTRO, Francesco *et al.* Influence of Growing Substrate Preparation on the Biological Efficiency of *Pleurotus ostreatus*. **Horticulturae**, v. 9, n. 4, p. 439, abr. 2023.

DE SISA, Buzayehu *et al.* Utilization of local agro-industrial by-products based substrates to enhance production and dietary value of mushroom (*P. ostreatus*) in Ethiopia. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 40, n. 9, p. 277, 22 jul. 2024.

DEVI, Phuritshabam Vivekanandini *et al.* Bioactive compounds, nutraceutical values and its application in food product development of oyster mushroom. **Journal of Future Foods**, v. 4, n. 4, p. 335–342, 2024.

DÍAZ, M. J. *et al.* Composting of vinasse and cotton gin waste by using two different systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 34, n. 4, p. 235–248, 1 mar. 2002.

EZEAH, Chukwunonye; OSUAGWU, Joachim C.; ADESIYAN, Ibukun M. Design principles of sustainable composting and recovery of value from compost. *In: Current developments in biotechnology and bioengineering*. [S.l.]: Elsevier, 2023. p. 143–168.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *In: Lavras*, 2008.

GONÇALVES, Vanessa Figueira; DE BRITO-GITIRANA, Lycia. Structure of the sexually dimorphic gland of *Cycloramphus fuliginosus* (Amphibia, Anura, Cycloramphidae). **Micron**, v. 39, n. 1, p. 32–39, 1 jan. 2008.

GOUVEIA, Ester Ribeiro *et al.* Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, p. 1500–1503, 2009.

GU, Yao; LI, Baozhi; LU, Wei. Mushroom (*Agaricus bisporus*) picking robot based on mimicry of manual harvesting. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 243, p. 111394, 1 mar. 2026.

GUO, Yu-Xin *et al.* Succession of the microbial communities and function prediction during short-term peach sawdust-based composting. **Bioresource Technology**, v. 332, p. 125079, 1 jul. 2021.

KAHRAMAN, Murat *et al.* Bioprocess modeling and optimization in composting of hazelnut processing wastes and municipal solid waste: Type 1 fuzzy regression, neural network based approaches and genetic algorithm. **Journal of Environmental Management**, v. 397, p. 128254, 1 jan. 2026.

KONG, Weili *et al.* Metagenomic analysis revealed the succession of microbiota and metabolic function in corn cob composting for preparation of cultivation medium for *Pleurotus ostreatus*. **Bioresource Technology**, v. 306, p. 123156, 1 jun. 2020.

KREIDENWEIS, Ulrich *et al.* Greenhouse gas emissions from broiler manure treatment options are lowest in well-managed biogas production. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124969, 20 jan. 2021.

KURT, Sebnem; BUYUKALACA, Saadet. Yield performances and changes in enzyme activities of *Pleurotus* spp. (*P. ostreatus* and *P. sajor-caju*) cultivated on different agricultural wastes. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 9, p. 3164–3169, 1 maio 2010.

LI, Xiaolan *et al.* Diversity of lignocellulolytic functional genes and heterogeneity of thermophilic microbes during different wastes composting. **Bioresource Technology**, v. 372, p. 128697, 2023.

LI, Xiujin; ZHANG, Ruihong; PANG, Yunzhi. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 2, p. 359–367, 1 jan. 2008.

LI, Yalin; LI, Suyan; SUN, Xiangyang. Fungal-driven mechanisms of carbon transformation and humification promoted by lignocellulose-degrading microbial inoculants during green waste composting. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 13, n. 6, p. 119569, 1 dez. 2025.

LIU, Ning *et al.* Characterization of lignocellulosic compositions' degradation during chicken manure composting with added biochar by phospholipid fatty acid (PLFA) and correlation analysis. **Science of The Total Environment**, v. 586, p. 1003–1011, 15 maio 2017.

LOI, Martina *et al.* *In vitro* single and combined mycotoxins degradation by Ery4 laccase from *Pleurotus eryngii* and redox mediators. **Food Control**, v. 90, p. 401–406, 1 ago. 2018.

LUCAS DE JESUS, Gabriel *et al.* Nutrient uptake in supplemented substrate by oyster mushroom. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 7, p. 175, 2023.

MALATHI, Govindaraj; MURUGESAN, Arul Kumar. Bioconversion, nutritional analysis, radical scavenging and characterization of substrates of *Pleurotus flabellatus* (Berk. and Br.) Sacc., **South African Journal of Botany**, v. 157, p. 423–437, 1 jun. 2023.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasil. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. **Instrução Normativa SDA Nº 17.**, v. 1, n. 99, 2007.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasil. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. 2017.

MENG, Yuan *et al.* Straw degradation enhanced in *Thermomyces lanuginosus* by transferring AgCMCase from *Aspergillus glaucus*. **Bioresource Technology**, v. 413, p. 131431, 1 dez. 2024.

MENGISTU, Tesfu *et al.* Comparative effectiveness of different composting methods on the stabilization, maturation and sanitization of municipal organic solid wastes and

dried faecal sludge mixtures. **Environmental Systems Research**, v. 6, n. 1, p. 5, 14 jan. 2017.

MENOLLI, Nelson *et al.* el Cogumelos comestíveis no Brasil: estado atual do conhecimento, avanços e perspectivas. **Lilloa**, p. 103–161, 30 maio 2025.

MICHEL, Frederick *et al.* Forced aeration composting, aerated static pile, and similar methods. *In: The composting handbook*. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 197–269.

MORALES-VERA, Rodrigo *et al.* A Comparison of Static Aeration and Conventional Turning Windrow Techniques: Physicochemical and Microbial Dynamics in Wine Residue Composting. **Fermentation**, v. 11, n. 4, p. 197, abr. 2025.

MOREAUX, Kasper. Spawn Production. *In: Edible and Medicinal Mushrooms*. [S.l.]: John Wiley & Sons, Ltd, 2017. p. 89–128.

NABHAN, Stephanie *et al.* A first trial to supplement local hardwood sawdust at the first soaking for the cultivation of Shiitake (*Lentinula edodes*). **PeerJ**, v. 13, p. e18622, 24 fev. 2025.

OSHINS, Cary *et al.* The composting process. *In: The composting handbook*. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 51–101.

PUDEŁKO, Krzysztof. Effect of forced ventilation during composting on *Agaricus bisporus* substrate selectivity. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 93, p. 153–161, 1 set. 2014.

PUTRA, Nicky Rahmana *et al.* Valorization of peanut skin as agricultural waste using various extraction methods: A review. **Molecules**, v. 28, n. 11, p. 4325, 2023.

QIAN, Keping *et al.* Tiered valorization of corn straw-deer manure waste: Enhanced button mushroom quality coupled with functional characterization of stage-specific substrate for targeted industrial use. **Industrial Crops and Products**, v. 241, p. 122878, 1 mar. 2026.

R CORE TEAM, R. Core. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [http://www. R-project. org/](http://www.R-project.org/), 2016.

RIYA; SUD, Deepika. Influence of sawdust substrates and wheat bran supplementation on growth, morphology, and yield of *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler under controlled conditions. **Indian Phytopathology**, 19 jan. 2026.

SEMA, Alaki-Issi Massimapatom *et al.* Etude comparée de la ventilation naturelle et automatique à l'aide de tuyaux perforés et du procédé classique de retournements des andains en compostage. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 15, n. 1, p. 354–366, 21 abr. 2021.

SONG, Yanyi *et al.* Degradation of zearalenone and aflatoxin B1 by Lac2 from *Pleurotus pulmonarius* in the presence of mediators. **Toxicon**, v. 201, p. 1–8, 2021.

STEGENTA, Sylwia *et al.* The influence of perforation of foil reactors on greenhouse gas emission rates during aerobic biostabilization of the undersize fraction of municipal wastes. **Journal of Environmental Management**, v. 207, p. 355–365, 1 fev. 2018.

TAPPI, T. **TEST METHOD T 222 om-88, Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp**. [S.l.]: Tappi Press Atlanta, 1999.

THOMSON, A. *et al.* Review of the potential for recycling CO₂ from organic waste composting into plant production under controlled environment agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 333, p. 130051, 20 jan. 2022.

TIMM, Thaynã Gonçalves *et al.* Substrate effects on the growth, yield, and nutritional composition of edible mushrooms. *In: Advances in Applied Microbiology*. [S.l.]: Elsevier, 2025. v. 130 p. 159–190.

TONG, Bingxin *et al.* Transformation of nitrogen and carbon during composting of manure litter with different methods. **Bioresource Technology**, v. 293, p. 122046, 1 dez. 2019.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. IV. Determination of Plant Cell-Wall Constituents. **Journal of Association of Official Analytical Chemists**, v. 50, n. 1, p. 50–55, 1 fev. 1967.

VAURIS, Amélie *et al.* A novel method to assess heat transfer and impact of relevant physicochemical parameters for the scaling up of solid state fermentation systems. **Biotechnology Reports**, v. 36, p. e00764, 1 dez. 2022.

VIEIRA, Fabrício Rocha; DE ANDRADE, Meire Cristina Nogueira. Optimization of substrate preparation for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation by studying different raw materials and substrate preparation conditions (composting: phases I and II). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 32, n. 11, p. 190, 30 set. 2016.

VIEIRA JUNIOR, Wagner Gonçalves *et al.* Evaluation of Reuse of Spent Mushroom Substrate for New *Pleurotus ostreatus* Crop Cycle. **AgriEngineering**, v. 7, n. 10, p. 342, out. 2025.

WANG, J. T.; WANG, Q.; HAN, J. R. Yield, polysaccharides content and antioxidant properties of the mushroom *Agaricus subrufescens* produced on different substrates based on selected agricultural wastes. **Scientia Horticulturae**, v. 157, p. 84–89, 20 jun. 2013.

WANG, Lu *et al.* NUA4 histone acetylase gene *LeEaf6* regulates precocity of shiitake mushroom, *Lentinula edodes*. **Scientia Horticulturae**, v. 328, p. 112912, 15 mar. 2024a.

WANG, Qiuying *et al.* Microbial Inoculation during the Short-Term Composting Process Enhances the Nutritional and Functional Properties of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). **Life**, v. 14, n. 2, p. 201, fev. 2024b.

WANG, Yuyun *et al.* Effects of aeration modes and rates on nitrogen conversion and bacterial community in composting of dehydrated sludge and corn straw. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 12 mar. 2024c.

XIONG, Jinpeng; LIU, Jianguo; HUANG, Guangqun. Heat balance modeling and pathway analysis in membrane-covered aerobic composting: regulatory mechanisms of membrane properties. **Bioresource Technology**, v. 452, p. 134573, 1 jul. 2026.

YANG, Kai; ARGYROPOULOS, Dimitrios. Towards Smart Mushroom Farming: A comprehensive review of data, sensors, robotics and artificial intelligence. **Smart Agricultural Technology**, v. 14, p. 102129, 1 ago. 2026.

YANG, Ya-Ru *et al.* Impacts of composting duration on physicochemical properties and microbial communities during short-term composting for the substrate for oyster mushrooms. **Science of The Total Environment**, v. 847, p. 157673, 15 nov. 2022.

YE, Pingping *et al.* Insights into carbon loss reduction during aerobic composting of organic solid waste: A meta-analysis and comprehensive literature review. **Science of The Total Environment**, v. 862, p. 160787, 1 mar. 2023.

ZAPAŚNIK, Agnieszka *et al.* *Pleurotus* spp.—an effective way in degradation mycotoxins? A comprehensive review. **Mycotoxin Research**, v. 41, n. 1, p. 1–13, 1 fev. 2025.

ZIED, Diego Cunha *et al.* Study of Waste Products as Supplements in the Production and Quality of *Pleurotus ostreatus* var. Florida. **Indian Journal of Microbiology**, v. 59, n. 3, p. 328–335, 1 set. 2019a.

ZIED, Diego Cunha *et al.* Use of peanut waste for oyster mushroom substrate supplementation—oyster mushroom and peanut waste. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 4, p. 1021–1029, 1 out. 2019b.

ZIED, Diego Cunha *et al.* Efficiency of mushrooms for food production - fundamental strategic decision-making. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 125, p. 105734, 1 jan. 2024.

ZONGO, Sandrine *et al.* Phenolic compounds and safety of improved and local peanut varieties grown in Burkina Faso. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 8702, 13 mar. 2025.

CAPÍTULO 4 – Considerações Finais

1. Resumo geral dos resultados

O conjunto dos resultados desta pesquisa permitiu caracterizar o potencial do sistema bunker com aeração forçada para a produção de substratos destinados ao cultivo de *Pleurotus ostreatus* var. Florida, evidenciando a influência do tempo da fase I, da linhagem e da suplementação sobre o desempenho produtivo.

A comparação entre os dois períodos de compostagem indicou que a resposta do sistema bunker está relacionada à duração da fase I. No ciclo curto, com cinco dias de compostagem, a ausência de revolvimento mecânico no ciclo total da fase I e a elevada taxa de aeração no sistema bunker estiveram associadas a menores temperaturas e a menor intensidade de alterações na fração lignocelulósica do substrato. Essas características estiveram relacionadas ao menor desempenho produtivo da linhagem POF 23/02 em comparação ao método tradicional, enquanto a POF 23/01 apresentou maior estabilidade produtiva entre os métodos. Entretanto, a suplementação com resíduo de amendoim favoreceu o acréscimo do desempenho produtivo da POF 23/02 no método bunker, reduzindo as diferenças observadas em relação ao método tradicional.

Com o prolongamento da fase I para nove dias, as diferenças produtivas entre os métodos foram reduzidas, não sendo observadas diferenças significativas na produtividade total e na eficiência biológica. Nesse cenário, o sistema bunker apresentou desempenho produtivo comparável ao método tradicional, mesmo diante das diferenças observadas nas características físico-químicas e estruturais dos substratos. Esses resultados sugerem que o maior período de compostagem pode favorecer a obtenção de condições adequadas ao substrato produzido pelo sistema bunker em comparação ao método tradicional. Uma possível explicação para as diferenças observadas entre a fase I de 5 ou 9 dias, pode estar relacionado com diferenças entre populações microbianas presentes nas duas pilhas de compostagem, uma vez que, o método bunker obteve temperaturas inferiores ao do método tradicional, o que pode influenciar a dinâmica das populações microbianas e sua ação. Dessa forma, a duração da fase I constitui um fator relevante no preparo do substrato, enquanto a escolha da linhagem e o uso da suplementação podem atuar como

estratégias complementares para adequar o desempenho produtivo às condições de preparo do substrato.

2. Implicações para a cadeia produtiva

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, podem ser estabelecidas algumas considerações para o planejamento e a tomada de decisão quanto ao uso do sistema bunker com aeração forçada na produção de substratos para *Pleurotus ostreatus* var. Florida.

Para sistemas que priorizem a redução da necessidade de revolvimento do substrato e um ciclo de preparo mais curto, a utilização do bunker com aeração forçada e fase I de cinco dias se mostra uma prática interessante aos produtores, embora tenha obtido uma produtividade inferior para a linhagem POF 23/02, quando associado à suplementação com resíduo de amendoim obteve rendimento produtivo semelhante ao método tradicional. E em uma situação que o produtor não tenha a disponibilidade de resíduo de amendoim em sua região, o uso de uma linhagem mais rústica se mostrou efetivo, pois a linhagem POF 23/01 obteve produtividade semelhante para ambos os substratos obtidos nos dois métodos de compostagem. Dessa forma, a escolha da linhagem constitui um fator relevante para o planejamento do cultivo, especialmente para se obter boa produtividade e constância.

A utilização do sistema bunker com aeração forçada e nove dias de fase I possibilitou a obtenção de desempenho produtivo semelhante ao método tradicional, indicando seu potencial como alternativa para a produção de substratos de *Pleurotus ostreatus* var. Florida. Entretanto, a definição da duração da fase I pode considerar, além do desempenho produtivo, as condições de infraestrutura e o controle sanitário disponíveis nas instalações de cada produtor. No presente estudo, as etapas de fase I e II foram realizadas em ambientes distintos. O túnel de pasteurização possuía duas portas, sendo uma delas direcionada à área considerada limpa, onde posteriormente foi realizada a inoculação, enquanto a outra dava acesso à área de compostagem, considerada área suja, permanecendo fechada durante o processo de inoculação. Em sistemas de produção nos quais o pasteurizador possui apenas uma porta e a inoculação é realizada no mesmo ambiente utilizado para a compostagem, podendo ocorrer maior exposição do substrato a esporos e microrganismos presentes no ambiente. Nessas condições, uma fase I mais prolongada pode representar uma

alternativa, uma vez que o maior período de compostagem favorece a transformação de compostos de fácil assimilação e o estabelecimento de uma microbiota termofílica relacionada com a seletividade do substrato de acordo com a literatura.

Por outro lado, a utilização de cinco dias de fase I também apresenta potencial de aplicação, especialmente em sistemas que disponham de condições adequadas de controle sanitário e infraestrutura para a separação das áreas limpa e suja. Além de ter apresentado desempenho produtivo satisfatório no presente estudo, o ciclo mais curto permite maior frequência de preparação de substratos. Considerando um ciclo contínuo de produção, a inoculação irá ocorrer no nono dia no tratamento com cinco dias de fase I, enquanto no tratamento com nove dias a inoculação irá ocorrer no décimo terceiro dia. Dessa forma, o ciclo de cinco dias permitiria a realização de até três lotes de composto por mês, enquanto o ciclo com nove dias de fase I possibilitaria aproximadamente dois lotes no mesmo período. Em uma projeção anual, esses ciclos corresponderiam a aproximadamente 36 e 24 lotes de composto, respectivamente. Assim, a escolha entre cinco e nove dias de fase I envolve capacidade operacional, condições sanitárias e características da infraestrutura disponível, devendo ser definida de acordo com a realidade de cada unidade de produção.

3. Perspectivas e recomendações para estudos futuros

Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstraram o potencial do sistema bunker com aeração forçada para a produção de substratos destinados ao cultivo de *Pleurotus ostreatus* var. Florida, mas também evidenciaram aspectos que ainda precisam ser melhor compreendidos e aprimorados. Nesse sentido, novos estudos podem contribuir para aperfeiçoar o funcionamento do sistema, ampliar sua aplicação e avaliar sua viabilidade em condições comerciais.

Aprimoramento da taxa de aeração e do controle de temperatura:

Uma das principais diferenças observadas entre os métodos foi o comportamento da temperatura durante a fase I. Assim, estudos futuros podem avaliar diferentes taxas e períodos de aeração, bem como diferentes formas de acionamento do motor soprador. A utilização de sensores para o monitoramento contínuo da temperatura e do oxigênio pode ser uma oportunidade para estudos futuros, buscando

tornar o sistema mais preciso e permitir que a ventilação forçada seja ajustada de acordo com as condições da compostagem, como um sistema automatizado. Essas estratégias podem contribuir para um melhor controle do processo e para a otimização das condições necessárias ao desenvolvimento da fase termofílica, especialmente em ciclos mais curtos de compostagem.

Compreensão da comunidade microbiana:

As diferenças observadas entre os métodos de compostagem, principalmente em relação à temperatura e às características do substrato, indicam a necessidade de compreender melhor o papel dos microrganismos ao longo da fase I. Estudos sobre a sucessão microbiana e ação de microrganismos mesofílicos e termofílicos podem contribuir para esclarecer como a aeração e o tempo de compostagem influenciam a transformação do material e o desenvolvimento das características de seletividade do substrato para *Pleurotus*.

Viabilidade econômica e impacto ambiental:

Embora a redução dos revolvimentos represente uma vantagem operacional do sistema bunker, ainda é necessário verificar se essa vantagem se traduz em benefícios econômicos para o produtor. Estudos futuros devem comparar os custos de implantação e manutenção do bunker, o consumo de energia elétrica e a demanda por mão de obra com aqueles observados no sistema tradicional, incluindo também os custos relacionados ao uso de máquinas e combustível. A avaliação desses fatores permitirá determinar em quais condições a adoção do sistema pode ser economicamente vantajosa. Além disso, estudos da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) poderá contribuir para quantificar os possíveis benefícios ambientais decorrentes da redução das operações mecanizadas.

Segurança do uso de resíduo de amendoim potencialmente contaminado com aflatoxinas:

A utilização do resíduo de amendoim como suplemento apresentou resultados promissores, especialmente em determinadas combinações entre método de compostagem e linhagem. Entretanto, por se tratar de um material que pode apresentar contaminação por aflatoxinas, é importante que estudos futuros avaliem sua segurança antes de uma utilização em maior escala. Nesse sentido, recomenda-

se monitorar a presença e concentração dessas micotoxinas no suplemento, no substrato e nos cogumelos produzidos, bem como investigar se a transformação ou degradação das aflatoxinas resulta na formação de metabólitos ou subprodutos que apresentem atividade biológica ou toxicidade residual.

Avaliação de diferentes linhagens e espécies:

A resposta distinta das linhagens POF 23/01 e POF 23/02 demonstra que o desempenho do sistema bunker também é influenciado pelas características do material genético utilizado. Nesse sentido, estudos futuros devem considerar a avaliação de diferentes linhagens de *Pleurotus ostreatus* var. Florida, buscando identificar linhagens com maior adaptação às condições de compostagem com aeração forçada. A identificação de linhagens com maior adaptação ao substrato e às condições de cultivo pode contribuir para a obtenção de maior estabilidade e desempenho produtivo em escala comercial.