

## Substratos alternativos para o cultivo de macrofungos

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.026-051>

### **Marta Brzezinski**

Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS,  
Brasil

### **Simone Kubeneck**

Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS,  
Brasil

### **Aline Frumi Camargo**

Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS,  
Brasil

Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e  
Bióciências, Universidade Federal de Santa Catarina,  
Florianópolis, SC, Brasil

### **Helen Treichel**

Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos,  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS,  
Brasil

Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e  
Bióciências, Universidade Federal de Santa Catarina,  
Florianópolis, SC, Brasil

E-mail: [helentreichel@gmail.com](mailto:helentreichel@gmail.com)

---

### **RESUMO**

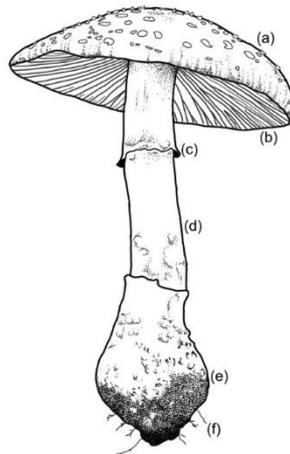
Diversas matérias-primas, ou resíduos, podem ser utilizadas como substratos alternativos, auxiliando no cultivo de cogumelos e reduzindo os custos de produção utilizando recursos que de outra forma seriam descartados. Os resíduos agroindustriais podem atuar como suplementação de substrato base e fonte de carbono, melhorando o substrato para fermentação ou diversos outros fatores. Esta revisão destaca a importância e a eficácia do uso de tais substratos e o papel significativo que desempenha na contribuição para um futuro sustentável. Os benefícios socioambientais, como redução da poluição, reaproveitamento de resíduos agroindustriais e redução de custos de produção, não são apenas vantagens, mas uma contribuição para um planeta mais saudável.

**Palavras-chave:** Cogumelos, Substratos, Suplementação.

## 1 INTRODUÇÃO

Os fungos são caracterizados por sua natureza heterotrófica, pois não produzem seu alimento e obtêm nutrientes por meio das hifas, que são estruturas microscópicas. Os cogumelos são macrofungos que fazem parte do reino dos fungos e podem ser epígeos (crescem acima do solo) ou hipógeos (crescem no solo). Eles têm um corpo frutífero visível a olho nu e se reproduzem através de esporos. Existe uma grande diversidade morfológica entre os cogumelos, que podem variar na presença de chapéu, lamelas, estipe, anel e volva, e também têm uma ampla gama de formas e cores (Figura 1) (Cho & Quimio, 2004; Chang & Miles, 1992). A tampa, ou tampa do cogumelo, é essencial para a identificação, observando sua cor, forma e tamanho (Jordan, 2016).

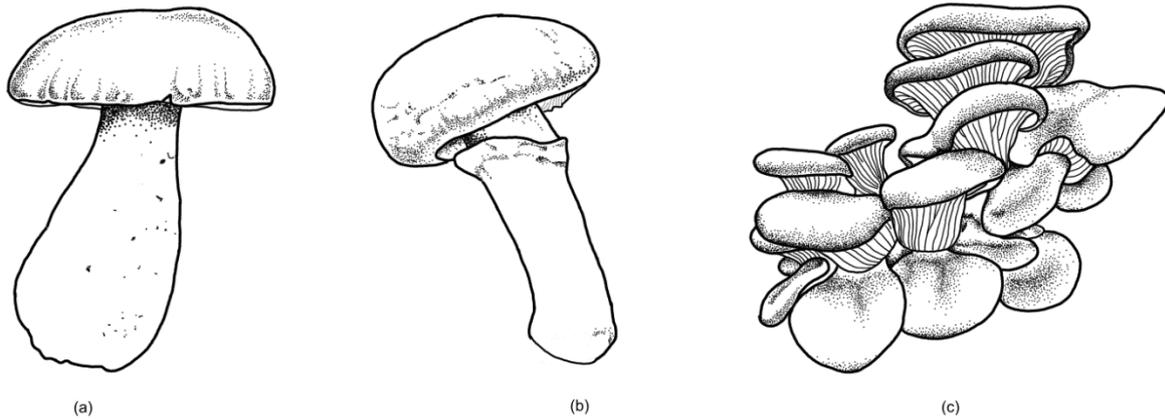
Figura 1. Características morfológicas de *Basidiomicetos*.



Fonte: Espécies *Amanita muscaria*, Pileus (a), lamelas (b), anel (c), estipe (d), volva (e), hifas (f).

Os macrofungos podem ser divididos em *Ascomycetes* e *Basidiomicetos*. Os *basidiomicetos* são popularmente conhecidos por pertencerem às famílias *Agaricaceae* e *Pleurotaceae*. A família *Agaricaceae* pode crescer em sacos chamados volva e ter um véu universal que a cobre inteiramente em uma das fases desse macrofungo e, à medida que seu desenvolvimento avança, ele se rompe. O véu permanece presente na estrutura do *Agaricus*, e o véu parcial mais tarde se origina na fase final do desenvolvimento do cogumelo. O anel está presente no caule (Jordan, 2016). Algumas diferenças morfológicas citadas podem ser observadas na Figura 2, com diferenciação do estipe.

Figura 2. Diferenças morfológicas no estipe de diferentes espécies de cogumelos.

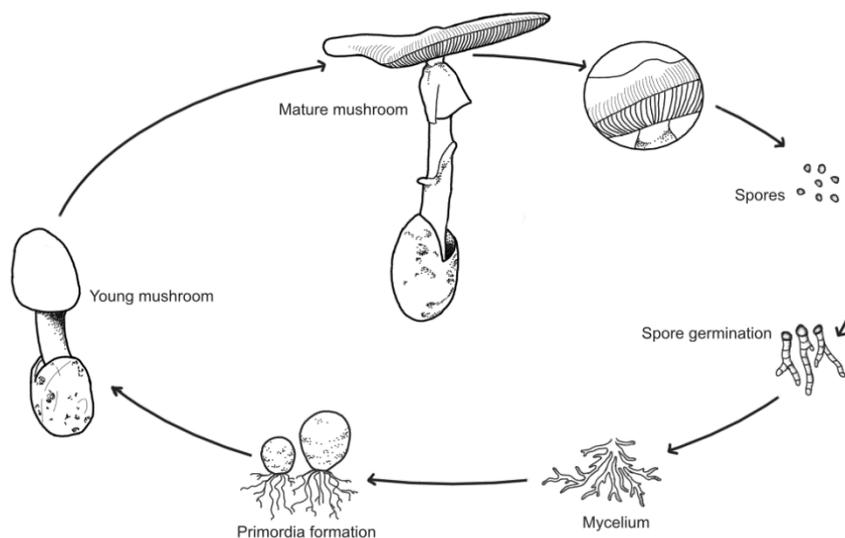


Fonte: (a) *Boletus edulis*, (b) *Agaricus bisporus*, (c) *Pleurotus ostreatus*.

A família *Pleurotaceae* inclui o gênero *Pleurotus*, que fornece representantes popularmente conhecidos como cogumelos ostra, um dos cogumelos comestíveis mais populares. Eles são cosmopolitas e atuam como decompositores primários de madeiras nobres. Eles têm hifas que têm conexões em forma de grampo e um sistema hifal monomítico, um tipo de organização hifal em que não há diferenciação morfológica (Webster, 2007; Cho & Quimio, 2004).

No cultivo de cogumelos, diversos substratos podem ser utilizados, com destaque para substratos alternativos provenientes de resíduos agroindustriais como palha de trigo, arroz e milho, resíduos de algodão, serragem e bagaço (Jahedi et al., 2024; Ekun et al., 2024). Esses substratos são usados de forma sustentável para descartar e reduzir o desperdício, tornando mais econômico o cultivo de cogumelos para fins comerciais (Ekun et al., 2024). O cultivo de cogumelos não varia, pois o ciclo dos macrofungos é sempre o exato (Figura 3), não mudando de acordo com a espécie. O marco do processo reprodutivo é a liberação de esporos em um substrato adequado para cada espécie. Este substrato exigirá condições específicas, como nutrientes, umidade e temperatura, iniciando assim a germinação. A germinação é um processo complexo e o tempo de crescimento dependerá da espécie em crescimento. Novas células são formadas que criarão filamentos chamados hifas. O conjunto de hifas é o micélio, a parte vegetativa do ciclo (Figura 3). O cultivo de micélio é comumente feito com grãos hidratados e vermiculita com esterilização nos recipientes utilizados (Russel, 2014).

Figura 3. O ciclo de vida dos cogumelos.



Os cogumelos são utilizados como alimento, possuem boas qualidades nutricionais e são benéficos para a saúde, uma vez que são ricos em proteínas, fibras e várias vitaminas e têm poucas calorias (Singh, 2017; Ukwuru, 2018). Além disso, os cogumelos têm usos medicinais devido à sua atividade anti-inflamatória, imunomoduladora, antimicrobiana e atuando como protetor hepático (Wang et al., 2014; Yao et al., 2015, Li et al., 2016, Cui et al., 2016; Liu et al., 2016).

A popularidade dos cogumelos se deve principalmente ao seu sabor diferente e exótico. O teor de proteína dos cogumelos pode ser menor do que o da carne e dos ovos, mas é semelhante ao do leite e do milho. Portanto, eles são considerados superiores à maioria das frutas e certos vegetais, exceto feijão e ervilha. Eles também têm um alto teor de lisina, aminoácidos essenciais, vitamina C, cianocobalamina, tiamina, riboflavina, ferro, cálcio, potássio, sódio, fósforo e ácido fólico (Cho & Quimio, 2004).

O objetivo é agrupar informações sobre vários substratos alternativos, mostrando suas vantagens e desvantagens. O objetivo é destacar a importância e a eficácia do uso de tais substratos, auxiliando em problemas socioambientais como redução da poluição, reaproveitamento de resíduos agroindustriais e redução de custos de produção.

## 2 METODOLOGIA

Este estudo utilizou uma metodologia de revisão sistemática para encontrar substratos alternativos para o cultivo de cogumelos. Foi realizado um levantamento bibliográfico com uma ampla gama de substratos utilizando as bases de dados Springer, SciELO, ScienceDirect e JABB (Journal of Applied Biology & Biotechnology). Foram utilizados artigos e livros publicados desde 2001, todos internacionais. Além disso, foram utilizados livros em formato digital, que não se limitaram ao ano de publicação como mencionado anteriormente. Todas as informações encontradas neste estudo foram

coletadas, discutidas, inter-relacionadas e comparadas por meio de tabelas e imagens para facilitar a comparação dos dados obtidos.

### 3 TIPOS DE SUBSTRATOS ALTERNATIVOS E SUAS COMPOSIÇÕES PARA O CULTIVO DE COGUMELOS

#### 3.1 SERRAGEM

A serragem é um substrato com alto teor de lignina, e a madeira da qual é feita resulta em diferentes taxas de crescimento para a mesma espécie de cogumelo (Zervakis et al., 2001). Para *Pleurotus ostreatus* e *Pleurotus eryngii*, bem como para outros *Pleurotus* spp., os altos níveis de lignocelulose, hemicelulose e celulose podem resultar em um atraso no período de incubação, bem como na ramificação do cogumelo no substrato; esse atraso pode ser devido à dificuldade em metabolizar esses materiais orgânicos pelas enzimas extracelulares dos cogumelos (Adebayo et al., 2021).

A madeira utilizada para serragem resultará em diferentes taxas de carboidratos, nitrogênio, matéria seca, proteínas, minerais, umidade, fibra bruta e lipídios, entre outros; assim, a análise prévia do substrato serve como auxílio na escolha do melhor substrato, ou seja, com os melhores índices de componentes, para o cogumelo selecionado (Bhattacharjya et al., 2015)

Para alguns cogumelos, como *L. edodes*, o uso de pedaços vivos de madeira leva a um crescimento retardado, enquanto quando a serragem previamente seca é usada, o crescimento efetivo do cogumelo é obtido (Shinomura & Hasebe, 2004).

No entanto, suplementados com farelo de trigo e arroz, os substratos à base de serragem podem produzir cogumelos *P. ostreatus* com maior qualidade nutricional e medicinal do que os cogumelos gerados apenas a partir de substrato de serragem (Elkanah et al., 2022).

#### 3.2 PALHA

Dentre os diversos tipos de substratos, a palha de trigo possui alta quantidade de lignina, celulose e hemicelulose, o que pode proporcionar alta eficiência biológica. É amplamente utilizado como substrato de controle no cultivo de *Pleurotus* spp. (Yildiz et al., 2002). O resíduo agrícola do qual a palha será utilizada e a quantidade a ser utilizada influenciam no rendimento do cogumelo (Deora et al., 2021).

A cultura de *Pleurotus* sp. em palha de trigo resulta em um cogumelo com maior peso final do que quando cultivado em outros substratos (Dedousi et al., 2024; Melanouri et al., 2022).

Cogumelos como *Pleurotus* sp. cultivados em substrato de palha de trigo apresentam menores rendimentos e menor eficiência biológica quando comparados àqueles cultivados em resíduos de

frutas. Isso pode ser devido à baixa quantidade de nutrientes que a palha de trigo ainda possui. (Otieno et al., 2023).

### 3.3 RESÍDUO DE CAFÉ

Os resíduos de café apresentam alta relação C:N, o que pode ser responsável pelas altas taxas de crescimento que esse substrato causa em alguns cogumelos, como *Pleurotus* spp. (Akçay et al., 2023; Melanouri et al., 2022). No entanto, o substrato do resíduo de café apresenta teores de lignina mais baixos do que em seu SMS. Além disso, *Pleurotus* spp. Mussolini cultivado neste substrato gera cogumelos com pesos menores do que outros substratos (Melanouri et al., 2022). Juárez et al. (2019) relataram que tal resíduo é uma boa alternativa para a produção de *Pleurotus ostreatus*.

De acordo com Juárez et al. (2019), o teor proteico do resíduo de café pode variar de 17 a 35%, o que indica que o local de origem do substrato, bem como as condições utilizadas em seu cultivo, podem ser capazes de influenciar na composição nutricional dos macronutrientes. Os grãos de café podem aumentar o tempo de desova, que pode ocorrer devido à forma e tamanho das partículas de café (Membrillo et al., 2011).

Juárez et al. (2019) observaram que após a conclusão do crescimento do cogumelo, utilizando substrato de resíduo de café, 50% de cafeína ainda estava presente, indicando que o cogumelo não é capaz de degradar a cafeína, como observado anteriormente por Fan et al. (2006) e Ramírez et al., (2007).

### 3.4 FARELO DE GRÃOS

O farelo de trigo usado em substratos serve como fonte de proteína para cogumelos, aumentando sua proteína bruta (Olakanmi et al., 2024; Elkanah et al., 2022). Além disso, é uma boa fonte de ácidos hidroxicinâmicos, que produzem lacase, que por sua vez está associada a um melhor aproveitamento do substrato sólido durante a colonização do substrato (Ballentine et al., 2019; El-Batal et al., 2015). Outro benefício do farelo de trigo é a capacidade do substrato de reter água, reduzindo assim a mortalidade de corpos frutíferos jovens devido à falta de água (Zakil et al., 2022). O farelo de arroz, por outro lado, contém vitaminas como a tiamina, necessária para a produção de alguns cogumelos, como *Flammulina velutipes* (Chang e Miles, 2004). De acordo com Masevhe et al., 2016, é possível usar substratos como farelo de arroz, trigo e aveia como fonte adicional de nitrogênio para o substrato produzir cogumelos de alta qualidade. Além disso, substratos suplementados com farelo de trigo e arroz podem produzir cogumelos com melhores valores nutricionais e medicinais do que aqueles feitos em um único substrato, como serragem (Elkanah et al., 2022).

Ao comparar os componentes em substratos de serragem, farelo de trigo, farelo de arroz e caule de palma, a serragem tem a maior quantidade de celulose e hemicelulose. Em contraste, o farelo de

trigo e arroz tem os valores mais baixos para esses componentes. Além disso, o caule da palmeira tem mais lignina do que o farelo de trigo (Adebayo et al., 2021). Ao escolher o melhor substrato para o cultivo do cogumelo, esses fatores devem ser considerados.

### 3.5 BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço de cana-de-açúcar é uma matéria-prima capaz de produzir grandes quantidades de produtos de valor agregado porque contém celulose e hemicelulose. No entanto, por incluir lignina, a sacarificação é inibida, levando a baixos rendimentos de produtos de valor agregado (Alokika et al., 2021).

O cogumelo *Ganoderma lucidumpoderia* pode ser cultivado em substratos. Fonte a única fonte de carbono é o bagaço de cana-de-açúcar. As proteínas secretadas por esse cogumelo podem produzir enzimas lignocelulósicas, que liberam monossacarídeos do bagaço da cana-de-açúcar, melhorando sua eficácia como substrato (Manalavan et al., 2012).

O bagaço de cana-de-açúcar e a serragem servem como uma boa fonte de biomassa orgânica no cultivo de *P. eryngii* (Li et al., 2014). O bagaço gera maiores rendimentos biológicos quando suplementado com farelo de trigo (Hasam et al., 2015).

### 3.6 ESPIGA DE MILHO

A espiga de milho é um substrato com baixo teor de lignina, favorecendo assim o crescimento de cogumelos como *P. ostreatus*, *P. eryngii* e *P. pulmonarius*; isso ocorre porque o baixo teor de lignina torna a celulose mais disponível como fonte de carbono (Zervakis et al., 2001). Além disso, a espiga de milho é rica em potássio, mas pobre em sódio, fósforo, cálcio e magnésio (Ikeda et al., 2021), portanto, as necessidades do cogumelo que você deseja cultivar devem ser avaliadas.

### 3.7 OUTROS SUBSTRATOS

De acordo com Nerender et al. (2017) e Olakunler et al. (2019), o substrato de resíduo de frutas possui compostos antifúngicos que podem atuar retardando o crescimento dos cogumelos, fato observado por Otieno et al. (2022) que relataram um atraso no aparecimento de cabeças de alfinetes em alguns substratos de resíduos de frutas.

*Agaricus bisporus* cultivado em palha de arroz e junco diminui a produção a cada fase de frutificação. Quando cultivada em palha de trigo, há uma diminuição menor, e o corpo de frutificação se desenvolve melhor para esse substrato. Os cogumelos cultivados em palha de junco tendem a ter pesos baixos e uma textura mais macia que provavelmente abrirá a tampa. Além disso, *A. bisporus* não pode degradar adequadamente a palha de junco, tornando-a indisponível como fonte de carbono. A palha de junco garante alta ventilação porosa do substrato durante o processo de compostagem devido

à sua textura. Embora auxilie na fermentação, essa condição também pode resultar em uma diminuição na temperatura do substrato (Wang et al., 2021).

As cascas de avelã, assim como os resíduos de galhos de avelã, são materiais lignocelulósicos que contêm celulose, hemicelulose e lignina e podem servir como substrato para cogumelos lignocelulósicos (Guney et al., 2013; Piliga et al., 2022). O rendimento dos cogumelos *Pleurotus ostreatus* cultivados em substratos à base de avelã é maior do que aqueles cultivados em palha de trigo. Assim, o substrato de resíduo de avelã torna-se uma alternativa ao substrato à base de palha de trigo (Akçay et al., 2023).

O abacaxi contém alto teor lignocelulósico, como celulose, lignina e hemicelulose, tornando-se um substrato eficaz para o crescimento de *Volvariella volvacea* (Munir et al., 2013; Narh et al., 2018). Assim como o abacaxi, os cachos vazios de dendê também contêm celulose, lignina e hemicelulose (Narh et al., 2018).

O substrato da folha do abacaxi, quando comparado aos cachos vazios de dendê, possui maior quantidade de fibra bruta, que contém celulose, hemicelulose e lignina, sendo, portanto, essencial para o crescimento dos cogumelos (Munir et al., 2023; Carrasco et al., 2018; Hamalatha & Anbuselvi, 2013; Vos et al., 2017). Como os cachos vazios de dendê têm baixo teor de fibra bruta, eles se tornam um substrato com baixo componente lignocelulósico. Além disso, o substrato da folha do abacaxi tem um teor mineral maior do que o cacho vazio de dendê, embora ambos contenham minerais essenciais para o crescimento dos cogumelos. Para o cultivo de *V. volvacea*, o substrato com casca de abacaxi possui maiores quantidades de minerais essenciais (Munir et al., 2023).

Portanto, o substrato de folha de abacaxi é mais adequado para o cultivo de *V. volvacea* do que o cacho vazio de dendê porque apresenta maior rendimento e eficiência biológica, além de menor tempo para colonização micelial e formação da cabeça de alfinete e corpos frutíferos (Munir et al., 2023).

Tabela 1. Substratos alternativos utilizados no crescimento de corpos frutíferos de cogumelos.

Substrato	Número de utilizações	Substrato	Número de utilizações	Substrato	Número de utilizações
Serragem	18	Bagaço de uva	1	Grãos de trigo	1
Palha de trigo	9	Banana	1	Cana comum	1
Resíduos de café	7	Bolo de feijão	1	Chips de mogno secos	1
Farelo de trigo	6	Cacau em pó	1	Óleo de palma (caule e cacho)	1
Palha de arroz	6	Casca de abacate	1	Palha de junco	1
Bagaço de cana-de-açúcar	5	Casca de abacaxi	1	Palha de lentilha	1
Cacho de palmiste vazio	5	Casca de amendoim	1	Palha de quinoa	1
Espiga de milho	5	Casca de banana	1	Palha de sorgo	1
Resíduo de algodão	4	Casca de semente de algodão	1	Serragem	1

Casca de arroz	3	Casca de laranja	1	Polpa de azeitona	1
Palha de milho	3	Casca de manga	1	Pseudocaule de banana	1
Resíduos florestais	3	Casca de melancia	1	Resíduos de fraldas	1
Espiga de milho	3	Casca de ovo	1	Resíduos de madeira	1
Cana-de-açúcar	2	Digestato sólido de biogás	1	Resíduos de madeira de <i>Gliricídia sépia</i>	1
Farelo de arroz	2	Farinha de milho	1	<i>Mangifera indica</i> resíduos de madeira	1
Fibra de turfa de coco	2	Fibra de óleo de palma	1	Resíduos de papel	1
Folha de bananeira	2	Folha de abacaxi	1	Resíduos de raízes de <i>Pueraria</i>	1
Palha de aveia	2	Folha de óleo de palma	1	Resíduos de tamareira	1
Palha de cevada	2	Folhagem de leucena	1	Resíduos de avelã	1
Resíduo de chá	2	Fragmentos de máscara facial	1	Soja em pó	1
Restolho de milho	2	Galho de amoreira	1	SMS ADR*	1
Ágar-ágar	1	Grão de cevada	1	Turfa	1
Aparas de madeira de faia	1	Grão de sorgo	1	Substratos totais	68

\*Substrato de cogumelo gasto de resíduo de digestão anaeróbica

## 4 COGUMELOS COMESTÍVEIS

### 4.1 PLEUROTUS OSTREATUS E PLEUROTUS ERYNGII

*Pleurotus* spp. pode crescer em vários substratos e é popularmente conhecido por ter enzimas capazes de degradar lignina, celulose e hemicelulose (Chang & Miles, 2004).

*Pleurotus ostreatus* é um decompositor primário de madeira amplamente distribuído em zonas temperadas. É a espécie mais cultivada do gênero devido ao seu fácil cultivo. Existem várias linhagens da espécie, cada uma com diferentes graus de tolerância ao frio ou ao calor. As cepas têm cores diferentes, como rosa, azul e amarelo (Kong, 2004; Russell, 2014).

Para o cultivo, é necessário realizar um tratamento em baixa temperatura, em torno de 2°C a 10°C, para formar corpos frutíferos. A temperatura ideal de frutificação, o crescimento dos corpos frutíferos, é de 18°C a 21°C, e a umidade perfeita para este período é de 90-95%. O tempo de frutificação varia de 2 a 3 semanas (Kang, 2004; Russell, 2014).

*Pleurotus eryngii*, como *Pleurotus ostreatus*, é um decompositor primário de madeira; no entanto, é mais sensível a doenças e condições climáticas e cresce mais lentamente do que *P. ostreatus* (Cho & Quimio, 2004; Kang et al., 2004). *P. eryngii* requer tratamento em baixa temperatura, e a temperatura ideal de frutificação é entre 13°C e 18°C (Kang, 2004).

*Pleurotus eryngii* pode ser cultivado em substratos à base de palha de trigo (Deora et al., 2021; Otieno et al., 2022; Dedousi et al., 2024; Melanouri et al., 2022), palha de arroz, milho e sorgo (Deora et al., 2021), palha de cevada, palha de aveia, casca de arroz (Dedousi et al., 2024; Melanouri et al., 2022), desperdício de frutas (Otieno et al., 2022), casca de arroz, desperdício de café (Dedousi et al., 2024; Melanouri et al., 2022), serragem (Dedousi et al., 2024; Li et al., 2024; Melanouri et al., 2022),

casca de amendoim (Li et al., 2024), resíduos de algodão (Sardar et al., 2022; Melanouri et al., 2022), polpa de azeitona, bagaço de uva, espiga de milho (Melanouri et al., 2022). Além disso, como complemento aos substratos, para melhor eficiência de cultivo, podem ser utilizados farelo de arroz, farelo de trigo (Deora et al., 2021), substrato de cogumelo gasto (SMS), composto comercial de cogumelo fresco e usado (SMS) (Dedousi et al., 2024) e pó de folha de moringa (Sardar et al., 2022). O cultivo de *Pleurotus ostreatus* pode ser realizado em substratos como palha de trigo (Akçay et al., 2023; Otieno et al., 2022; Dedousi et al., 2024; Melanouri et al., 2022), palha de arroz, palha de milho (Salazar et al., 2020), palha de cevada, palha de aveia (Dedousi et al., 2024; Melanouri et al., 2022); 2024; Melanouri et al., 2022), casca de arroz (Akçay et al., 2023; Dedousi et al., 2024; Melanouri et al., 2022; Chouhan et al., 2022), grão de trigo (Chouhan et al., 2022), casca de coco (Savón et al., 2020), folha de bananeira (Richard et al., 2020, Chouhan et al., 2022), resíduos de papel, talo de milho (Teskay et al., 2020), digerido sólido de biogás (Hultberg et al., 2022), resíduo de fruta (Otieno et al., 2022), resíduo de algodão, bagaço de uva, espiga de milho, polpa de azeitona (Melanouri et al., 2022), resíduo de dendê (Zakil et al., 2020). al., 2022; Adebayo et al., 2021), resíduo de avelã (Akçay et al., 2023), bagaço de cana-de-açúcar, espiga de milho (Zakil et al., 2022), lascas secas de mogno, farelo de trigo, fragmento de máscara facial (Olakanmi et al., 2024) e resíduo de palma (Elkanah et al., 2022). Suplementos de carbonato de cálcio (Zakil et al., 2022; Chouhan et al., 2022), gesso (Teskay et al., 2020), cal (Hultberg et al., 2022), substrato de cogumelo gasto (SMS), composto de cogumelo fresco e usado (SMS) (Dedousi et al., 2024), farelo de trigo (Zakil et al., 2022; Elkanah et al., 2022; Adebayo et al., 2021) e farelo de arroz (Elkanah et al., 2022; Adebayo et al., 2021).

#### 4.2 AGARICUS BISPORUS

*Agaricus bisporus* é o cogumelo mais produtivo da Índia (Maheshwari, 2013) e requer uma grande quantidade de nitrogênio, com uma proporção C: N (Carbono: Nitrogênio) de 17 a 18 durante o crescimento micelial. Também requer substratos de composto fermentado, como palha de trigo e esterco de cavalo (Chang & Miles, 2004).

A temperatura ideal para a frutificação é de 14°C a 18°C, exigindo uma alta porcentagem de umidade relativa. O crescimento deve ocorrer no escuro para um bom desenvolvimento do caule e do chapéu (Chang & Miles, 2004).

*Agaricus bisporus* pode ser cultivado em substratos como palha de trigo (Wang et al., 2021; Dedousi et al., 2024), palha de arroz, palha de junco (Wang et al., 2021), palha de cevada, palha de aveia, serragem, casca de arroz, resíduo de café (Dedousi et al., 2024), cana-de-açúcar com água residuária de laticínios (Kumar et al., 2021). Vários suplementos podem ser adicionados ao substrato escolhido para uso, dentre os quais podemos citar o uso de fezes de galinha, farelo de soja, gesso e

vinhaça de grãos (Wang et al., 2021), substrato de cogumelo gasto (SMS) e composto de cogumelo fresco e usado (SMC) (Dedousi et al., 2024).

#### 4.3 HERECIUM ERINACEUS

*Hericium erinaceus* pertence à família *Hericiaceae* e tem propriedades medicinais. Seu cultivo começou em Xangai. O cogumelo pode ser cultivado em substratos como serragem, espigas de milho, palha de arroz e bagaço de cana-de-açúcar. Gesso, farelo de arroz, farelo de trigo e sacarose podem ser usados como suplementos (Chang & Miles, 2004).

A temperatura ideal para *H. erinaceus* frutificar é de 20°C. Após o aparecimento dos corpos frutíferos, o ideal é elevar a temperatura para cerca de 25°C. Temperaturas muito baixas abaixo de 14°C não são recomendadas, pois isso pode resultar na não formação de corpos frutíferos (Chang & Miles, 2004).

Alguns dos substratos nos quais *H. erinaceus* pode se desenvolver são serragem, farelo de arroz (Chutimanukul et al., 2023; Jahedi et al., 2024), espiga de milho (Chutimanukul et al., 2023), palha de trigo, bagaço de cana-de-açúcar, farelo de trigo, soja em pó e farinha de milho (Jahedi et al., 2024), galhos de amoreira e resíduo de raiz de puerperia (Fan et al., 2021). Farelo de trigo, CaSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub> (Fan et al., 2021) e cal (Chutimanukul et al., 2023) podem ser usados para obter melhores resultados de crescimento.

#### 4.4 LENTINULA EDODES

*Lentinula edodes* é nativa de países asiáticos e é conhecida como Shitake (Cho, 2004). É um fungo que cresce em troncos ou tocos de árvores em decomposição (Chang et al., 2017). Possui propriedades medicinais por induzir a produção de interferon e um ciclo de vida homotálico, tem um longo cultivo e tem uma relação C:N ideal de 20 a 25 durante o período de crescimento micelial (Chang & Miles, 2004; Cho & Quimio, 2004). Durante a fase de frutificação, o teor de C/N deve ser equilibrado; se o teor de nitrogênio for muito alto, os corpos frutíferos não serão formados ou desenvolvidos (Chang et al., 2017). A temperatura ideal para a formação do corpo de frutificação é de 10°C a 20°C, enquanto para a frutificação, é de 15°C. O pH perfeito do substrato é, em média, 5,0 a 5,5 (Chang & Miles, 2004; Stamets, 2000).

*L. edodes* pode ser cultivada em substratos como casca de coco (Savón et al., 2020), serragem (Atila & Cetin, 2024; Arenas et al., 2015) e restolho e espiga de milho (Arenas et al., 2015). Um dos substratos que podem ser utilizados é o resíduo de biogás líquido (Atila & Cetin, 2024).

#### 4.5 VOLVARIELLA VOLVACEA

*Volvariella volvacea*, popularmente chamada de cogumelo palha, é cultivada sazonalmente e cresce rapidamente. Ela cresce melhor em composto com menor teor de nitrogênio (Chang & Miles, 2004). Sua temperatura ideal para o crescimento micelial é de cerca de 32°C a 35°C, e para a frutificação, é de 28°C a 32°C. Durante o crescimento micelial, sua relação C:N perfeita é de cerca de 40 a 60 (Chang & Miles, 2004).

*V. volvacea* também pode ser cultivada usando diferentes substratos; entre os mais estudados estão os resíduos de dendezeiros (Triyono et al., 2019; Kamaliah et al., 2021; Munir et al., 2023) e sua associação com folhas de abacaxi (Munir et al. 2023). Fertilizante NPK, fezes de galinha, farelo de arroz e cal (Triyono et al., 2019) podem ser usados juntos como suplementação.

Tabela 2. Espécies de cogumelos utilizadas no estudo sobre o uso de substratos alternativos.

Espécies de cogumelos	Número de utilizações	Espécies de cogumelos	Número de utilizações
<i>Pleurotus ostreatus</i>	17	<i>Pleurotus floridanus</i>	1
<i>Pleuroto da Eríngia</i>	6	<i>Podoscypha petalodes</i>	1
<i>Agaricus bisporus</i>	3	<i>Pleurotus djamor</i>	1
<i>Herecium erinaceus</i>	3	<i>Pleurotus sajor-caju</i>	1
<i>Lentinula edodes</i>	3	<i>Flammulina velutipes</i>	1
<i>Volvariella volvaca</i>	3	<i>Auricularia córnea</i>	1
<i>Pleurotus citrinopileatus</i>	2	<i>Submissões Versicolor</i>	1
<i>Pleurotus pulmonarius</i>	2	<i>Pleurotus eous</i>	1
<i>Pleurotus florida</i>	2	<i>Ganoderma lucidum</i>	1
<i>Auricularia spp.</i>	1	<b>Total de espécies</b>	19

Tabela 3. Suplementos utilizados em conjunto com substratos alternativos no crescimento de corpos frutíferos de cogumelos.

Suplemento	Número de utilizações	Suplemento	Número de utilizações
Gesso (CaSO <sub>4</sub> )	9	Cloreto de sódio (NaCl)	1
Cal (CaO)	7	Glicerol (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub> )	1
Farelo de arroz	7	Betaína	1
Carbonato de cálcio (CaCO <sub>3</sub> )	6	Ureia	1
Farelo de trigo	6	Pó de folha de moringa	1
Estrume de galinha	3	Tioureia (CSN <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	1
Lima	2	Conchas fósseis	1
Substrato de cogumelo gasto (SMS)	1	Farinha de milho	1
Composto de cogumelos comerciais frescos e usados (SMC)	1	Farelo de soja	1
Resíduo de biogás líquido de esterco bovino	1	Vinhaça de grão	1
Palha de arroz	1	Fertilizante NPK	1
Cloreto de potássio (KCl)	1	Espiga de milho	1
<b>Total de suplementos utilizados</b>			<b>24</b>

## 5 AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE PRODUÇÃO: FERRAMENTAS PARA OTIMIZAR O CULTIVO EM SUBSTRATOS ALTERNATIVOS

O substrato de cogumelo gasto (SMS) e o composto comercial de cogumelos frescos e usados (SMC) são subprodutos lignocelulósicos compostos por uma mistura de matéria orgânica e micélio remanescente do cultivo de cogumelos (Economou et al., 2020; Guo et al., 2022).

SMS e SMC podem ser usados em novos ciclos de cultivo de cogumelos, fornecendo carbono suficiente para o crescimento (Phan et al., 2012; Zied et al., 2020). Decompositores primários, como as espécies de *Pleurotus*, *Lentinula* e *Ganodermas*, requerem substratos com maior C/N e lignina e menor teor de nitrogênio, como no SMS. Em contraste, decompositores secundários, como as espécies de *Agaricus*, requerem uma relação C/N mais baixa e são capazes de crescer em substratos já degradados por fungos ou bactérias, como SMC (Ahlawat et al., 2019; Philippoussis et al., 2001).

A tioureia é um composto enriquecido com enxofre que previne a oxidação de proteínas e ajuda a reduzir a oxidação catalisada pelo ascorbato de cobre (Burman et al., 2004). Além disso, a tioureia atua na homeostase dos íons celulares, aumentando a ingestão e absorção de fósforo e potássio e a concentração de ácido ascórbico (Kaya et al., 2015). Substratos enriquecidos com tioureia aumentam o crescimento micelial e a eficácia biológica (Fozia et al., 2022).

Para o cultivo de cogumelos, é necessário controlar vários fatores, como temperatura, umidade, luz, ventilação, vitaminas, minerais e acidez do substrato (Cho, 2004; Kang, 2004). O controle desses fatores também influencia doenças que podem afetar os cogumelos cultivados, favorecidos por altas temperaturas e umidade (Cha, 2004; Kang, 2004). A temperatura e o pH influenciam a necessidade de vitaminas, e os cogumelos já requerem algumas vitaminas essenciais, como tiamina e biotina (Chang & Miles, 2004).

Na produção de *Pleurotus* spp., a temperatura durante a frutificação influencia a cor do gorro. Temperaturas mais baixas podem ser usadas para obter cogumelos com cores como marrom claro, enquanto temperaturas mais altas os tornam mais pálidos (Kong, 2004).

A temperatura de cultivo dos cogumelos afeta diretamente o crescimento dos fungos; A atividade enzimática está ligada ao aumento da temperatura, que inativa enzimas que resultam no crescimento do cogumelo (Chang & Miles, 2004).

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) influencia a quantidade de tampas nos cogumelos (Kong, 2004). Esses fungos obtêm carbono por meio da quebra catabólica de compostos orgânicos, como ácidos orgânicos, celulose e lignina (Chang & Miles, 2004). O CO<sub>2</sub> influencia a tampa de *Pleurotus* spp. Os cogumelos produzem caules longos com pequenas tampas em altas concentrações do composto, enquanto em baixas concentrações, caules menores são feitos com tampas mais largas (Kong, 2004). A ventilação é usada como forma de controlar o CO<sub>2</sub> durante o crescimento de cogumelos aeróbicos, especialmente durante a fase reprodutiva. Os basidiomicetos podem sofrer de malformações se o

ambiente em que estão sendo cultivados tiver uma grande quantidade de dióxido de carbono (Chang & Miles, 2004).

Para a maioria dos *Basidiomicetos*, a umidade relativa entre 95% e 100% e a umidade do substrato entre 50% e 75% são eficientes para o cultivo, com a necessidade de umidade para os estágios inicial, intermediário e final variando (Cho, 2004).

O efeito da luz é variável, com alguns tendo um efeito positivo, enquanto outros têm um impacto negativo. Para espécies que requerem luz, como *Basidiomycetes*, desencadeia a formação de corpos frutíferos; no entanto, a iluminação excessiva pode causar danos aos cogumelos, destruindo vitaminas, possivelmente devido ao aumento da temperatura (Cho, 2004; Chang & Miles, 2004). Para espécies que não requerem luz, como *Agaricus bisporus*, inibe o desenvolvimento de primórdios, afetando o alongamento dos estipes e a expansão do chapéu (Chang & Miles, 2004). A cultura líquida para desova micelial é vantajosa para posterior colonização devido à sua facilidade de disseminação. No laboratório, a glicose pode ser usada como fonte de carbono com outros açúcares, que tende a ser o primeiro a ser usado. Algumas espécies de cogumelos crescem melhor em diferentes fontes de carbono, portanto, a melhor fonte de carbono a ser usada deve ser avaliada (Chang & Miles, 2004; Russel, 2014). As culturas líquidas requerem agitação, para a qual diferentes métodos de implementação podem afetar a massa de micélio, glucanos totais,  $\alpha$ -glucanos e  $\beta$ -glucanos, além de levar a níveis variados de tensão de cisalhamento e aeração, afetando características morfológicas, bioquímicas e produtividade final (Pilafidis et al., 2024).

## 6 CONCLUSÃO

Vários materiais, alguns mais populares do que outros, podem ser usados como substratos alternativos para o cultivo de cogumelos. Cada substrato tem vantagens e desvantagens devido à escolha dos cogumelos e às condições de cultivo. Esses substratos podem aumentar o rendimento biológico ou a qualidade do cogumelo e podem ser usados como substratos de base ou suplementos. O uso de substratos alternativos afeta positivamente a utilização de materiais descartados.

## LISTA DE ABREVIATURAS

Não aplicável

## DECLARAÇÕES

Aprovação ética e consentimento para participar

Não aplicável



## **CONSENTIMENTO PARA PUBLICAÇÃO**

Todos os autores concordaram com esta publicação.

## **DISPONIBILIDADE DE DADOS E MATERIAIS**

Os conjuntos de dados gerados para este estudo estão disponíveis mediante solicitação do autor correspondente.

## **INTERESSES CONFLITANTES**

Não há interesses conflitantes.

## **FINANCIAMENTO**

CAPES, CNPq e FAPERGS

## **CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES**

MB, SK, AFC: pesquisa e redação e discussão de manuscritos.

HT: coordenador de pesquisa

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem às Agências de Fomento Brasileiras: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - 302484/2022-1), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), apoio do Centro de Pesquisa em Bioprocessos e Biotecnologia para Alimentos (Biofood), que é financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS-22/2551-0000397-4), Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- Adebayo, E. A., Elkanah, F. A., Afolabi, F. J., Ogundun, O. S., Alabi, T. F., & Oduoye, O. T. (2021). Molecular characterization of most cultivated *Pleurotus* species in sub-western region Nigeria with development of cost effective cultivation protocol on palm oil waste. *\*Heliyon*, 7\*(2), e06215. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06215>
- Ahlawat, P. O., & Kaur, H. (2019). Reuse of *Agaricus bisporus* spent compost for commercial scale compost making of the succeeding crop of *A. bisporus*. *\*International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8\*(11), 177–186. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.811.022>
- Ahmad, Z. F., Xuan, L. H., Zaman, N., Alan, N. I., Salahutheen, N. A. A., Sued, M. S. M., & Isha, R. (2022). Growth performance and mineral analysis of *Pleurotus ostreatus* from various agricultural wastes mixed with rubber tree sawdust in Malaysia. *\*Bioresource Technology Reports*, 17\*, 100873. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100873>
- Akçay, C., Ceylan, F., & Arslan, R. (2023). Production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) from some waste lignocellulosic materials and FTIR characterization of structural changes. *\*Scientific Reports*, 13\*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40200-x>
- Alokika, A., Kumar, A., Kumar, V., & Singh, B. (2021). Cellulosic and hemicellulosic fractions of sugarcane bagasse: Potential, challenges and future perspective. *\*International Journal of Biological Macromolecules*, 169\*, 564–582. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.175>
- Andrew, S. M. (2023). Production and nutritional value of *Pleurotus floridanus* grown on rice straw supplemented with *Leucaena leucocephala* foliage. *\*Environmental and Sustainability Indicators*, 17\*, 100223. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100223>
- Atila, F., & Cetin, M. (2024). Valorization of liquid waste generated from biogas production as supplemental material in shiitake mushroom cultivation. *\*Scientia Horticulturae*, 325\*, 112663. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112663>
- Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. P., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnio, A. M., & Ribani, R. H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *\*Saudi Journal of Biological Sciences*, 26\*(4), 633–646. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
- Bermúdez, S., Catalina, R., Oduardo, N. G., Céspedes, L. M. A., Alberni, M. S., & Pérez, L. P. (2020). Utilización de cáscara (fibra) de coco para el cultivo de setas comestibles-medicinales de interés comercial. *\*Tecnología Química*, 40\*(2), 260–268. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852020000200260&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000200260&lng=es&nrm=iso)
- Burman, U., Garga, B. K., & Kathju, S. (2004). Interactive effects of thiourea and phosphorus on clusterbean under water stress. *\*Biologia Plantarum*, 48\*(1), 61–65. <https://doi.org/10.1023/b:biop.0000024276.03834.8d>
- Carrasco, J., Zied, D. C., Parto, J. E., Preston, G. M., & Pardo-Giménez, A. (2018). Supplementation in mushroom crops and its impact on yield and quality. *\*AMB Express*, 8\*(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0678-0>
- Cha, J. S. (2004). Oyster mushroom cultivation. In *\*Mushroom growers handbook 1\** (Cap. 8). MushWorld.

- Chang, S. T., & Miles, P. G. (2004). Mushroom biology — A new discipline. *\*The Mycologist*, 6\*(2), 64–65.
- Chen, Y., Sossah, F. L., Lv, Z., Lv, Y., Tian, L., Sun, X., Li, C., Song, B., & Li, Y. (2021). Effect of wheat bran and maize straw substrates on the agronomic traits and nutritional content of *Auricularia cornea* cv. Yu Muer. *\*Scientia Horticulturae*, 286\*, 110200. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110200>
- Cho, S. B., & Quimio, T. H. (2004). Oyster mushroom cultivation. In *\*Mushroom growers handbook 1\** (Cap. 1). MushWorld.
- Chouhan, P., Koreti, D., Kosre, A., Chauhan, R., Jadhav, S. K., & Chandrawanshi, N. K. (2022). Production and assessment of stick-shaped spawns of oyster mushroom from banana leaf-midribs. *\*Proceedings of the National Academy of Sciences, India. Section B*, 92\*(2), 405–414. <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01327-x>
- Costa, A. F. P., Steffen, G. P. K., Steffen, R. B., Portela, V. O., Santana, N. A., Richards, P. S., & Jacques, R. J. S. (2023). The use of rice husk in the substrate composition increases *Pleurotus ostreatus* mushroom production and quality. *\*Scientia Horticulturae*, 321\*, 112372. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112372>
- Cui, F., Xia, G., Jianjun, Z., Min, L., Chen, Z., Xu, N., Huajie, Z., Lin, L., Meng, Z., & Jia, L. (2016). Protective effects of extracellular and intracellular polysaccharides on hepatotoxicity by *Herichium erinaceus* SG-02. *\*Current Microbiology*, 73\*(3), 379–385. <https://doi.org/10.1007/s00284-016-1073-1>
- Dedousi, M., Eirini-Maria, M., Karayannis, D., Kaminarides, E. I., & Diamantopoulou, P. (2024). Utilization of spent substrates and waste products of mushroom cultivation to produce new crops of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus eryngii*, and *Agaricus bisporus*. *\*Carbon Resources Conversion*, 7\*(2), 100196. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.08.001>
- Deora, A., Sharma, S. S., Kumari, P., Dahima, V., Kumar, S., & Rorith, M. (2021). Cultivation of Kabul Dhingri (*Pleurotus eryngii*) mushroom by standardizing protocols in subtropical zones of the world. *\*Scientific Reports*, 11\*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94038-2>
- Devi, R., Kapoor, S., Thakur, R., Sharma, E., Tiwari, R. K., & Joshi, S. J. (2022). Lignocellulolytic enzymes and bioethanol production from spent biomass of edible mushrooms using *Saccharomyces cerevisiae* and *Pachysolen tannophilus*. *\*Biomass Conversion and Biorefinery\**. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02406-3>
- Economou, C. N., Philippoussis, A. N., & Diamantopolous, A. (2020). Spent mushroom substrate for a second cultivation cycle of *Pleurotus* mushrooms and dephenolization of agro-industrial wastewaters. *\*FEMS Microbiology Letters*, 367\*(8). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa060>
- Ekun, V. S., Adenipekun, C. O., Idowu, O., & Etaware, P. M. (2024). Mushroom husbandry: A tool for pollution control and waste management with job opportunities and revenue for rural communities and farm settlements. *\*Waste Management Bulletin*, 1\*(4), 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.08.001>
- El-Batal, A. I., Elkenawy, N. M., Yassin, A. S., & Amin, M. A. (2015). Laccase production by *Pleurotus ostreatus* and its application in synthesis of gold nanoparticles. *\*Biotechnology Reports (Amsterdam, Netherlands)*, 5\*, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.11.001>

- Elkanah, F. A., Oke, M. A., & Adebayo, E. A. (2022). Substrate composition effect on the nutritional quality of *Pleurotus ostreatus* (MK751847) fruiting body. *\*Heliyon*, 8\*(11), e11841. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11841>
- Fan, L., Soccol, A. T., Pandey, A., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2006). Effect of caffeine and tannins on cultivation and fructification of *Pleurotus* on coffee husks. *\*Brazilian Journal of Microbiology*, 37\*(4), 420–424. <https://doi.org/10.1590/s1517-83822006000400003>
- Fan, X. Z., Yao, F., Yin, C. M., Shi, D. F., & Gao, H. (2021). Mulberry twig and Pueraria root residue improve the biological efficiency and potential functional value of *Hericium erinaceus*. *\*Scientia Horticulturae*, 286\*, 110214. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110214>
- Fozia, A. Z., Alharbi, N. K., Khan, M. I., Noreen, A., Khan, A. A., Qamar, S., Khan, I., Ramzan, M., Bahatheq, A. M., & Ahmed, A. E. (2022). Thiourea enriched cotton waste enhances biomass and nutrition contents in (white oyster) and (Phoenix oyster) mushrooms. *\*Journal of King Saud University. Science*, 34\*(4), 102054. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102054>
- Gomes, T. G., Hadi, S. I. I. A., Ribeiro, J. A. A., Segatto, R., Mendes, T. D., Helm, C. V., Júnior, A. F. C., Miller, R. N. G., Mendonça, S., & Siqueira, F. G. S. (2022). Phorbol ester biodegradation in *Jatropha curcas* cake and potential as a substrate for enzyme and *Pleurotus pulmonarius* edible mushroom production. *\*Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 45\*, 102498. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102498>
- Grimm, A., Reis, G. S., Khokarale, S. G., Ekman, S., Lima, E. C., Xiong, S., & Hultberg, M. (2023). Shiitake spent mushroom substrate as a sustainable feedstock for developing highly efficient nitrogen-doped biochars for treatment of dye-contaminated water. *\*Journal of Water Process Engineering*, 56\*, 104435. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104435>
- Guney, M. S. (2013). Utilization of hazelnut husk as biomass. *\*Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 4\*, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2013.09.004>
- Guo, J., Zhang, M., & Fang, Z. (2022). Valorization of mushroom by-products: A review. *\*Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102\*(13), 5593–5605. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11946>
- Hamza, A., Mandari, V., & Kumar, D. S. (2023). Efficient production of biomass and exopolysaccharide from *P. ostreatus* and physio-chemical characterization of biomass powder. *\*Food Bioscience*, 55\*, 103073. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103073>
- Hemalatha, R., & Anbuselvi, S. (2013). Physicochemical constituents of pineapple pulp and waste. *\*Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5\*(5), 240–242.
- Hou, Z., Xia, R., Li, Y., Xu, Y., Wang, Y., Feng, Y., Pan, S., Wang, Z., Ren, H., Qian, G., Wang, H., Zhu, J., & Xin, G. (2024). Key components, formation pathways, affecting factors, and emerging analytical strategies for edible mushrooms aroma: A review. *\*Food Chemistry*, 438\*, 137993. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137993>
- Hultberg, M., Oskarsson, C., Bergstrand, K. J., & Asp, H. (2022). Benefits and drawbacks of combined plant and mushroom production in substrate based on biogas digestate and peat. *\*Environmental Technology & Innovation*, 28\*, 102740. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102740>
- Ikeda, S., Yamauchi, M., Watari, T., Hatamoto, M., Yamada, M., Maki, S., Hara, H., & Yamaguchi, T. (2021). Development of enokitake (*Flammulina velutipes*) mushroom cultivation technology using

spent mushroom substrate anaerobic digestion residue. *Environmental Technology & Innovation*, 24\*, 102046. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102046>

Jahedi, A., Ahmadigar, S., & Mohammadigotapeh, E. (2024). Revival of wild edible-medicinal mushroom (*Hericium erinaceus*) based on organic agro-industrial waste: Achieving a commercial protocol with the highest yield; optimum reuse of organic waste. *Scientia Horticulturae*, 323\*, 112510. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112510>

Juárez, N., Ángel, J. I. D., Ruiz, C., & López, W. A. R. (2019). Estudio preliminar de la composición nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus* cultivado en pulpa de café. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85\*(4), 422–431. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.256>

Kamaliah, N., Salim, S., Abdullah, S., Nobilly, F., Mat, S., Norhisham, A. R., Tohiran, K. A., Zulkifli, R., Lechner, A. M., & Azhar, B. (2022). Evaluating the experimental cultivation of edible mushroom, *Volvariella volvacea* underneath tree canopy in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 96\*(1), 35–47. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00685-9>

Kaya, C., Ashraf, M., & Sönmez, O. (2015). Promotive effect of exogenously applied thiourea on key physiological parameters and oxidative defense mechanism in salt-stressed *Zea mays* L. plants. *Turkish Journal of Botany*, 39\*, 786–795. <https://doi.org/10.3906/bot-1409-10>

Khoo, S. C., Ma, N. L., Peng, W. X., Ng, K. K., Goh, M. S., Chen, H. L., Tan, S. H., Lee, C. H., Luang-In, V., & Sonne, C. (2022). Valorisation of biomass and diaper waste into a sustainable production of the medical mushroom *Lingzhi* (*Ganoderma lucidum*). *Chemosphere*, 286\*, 131477. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131477>

Kumar, P., Kumar, V., Goala, M., Singh, J., & Kumar, P. (2021). Integrated use of treated dairy wastewater and agro-residue for *Agaricus bisporus* mushroom cultivation: Experimental and kinetics studies. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 32\*, 101940. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101940>

Kumar, S., Chand, G., & Patel, D. K. (2020). Evaluation of different substrate supplements on growth and yield of oyster mushroom (*Pleurotus florida*). *Indian Phytopathology*, 73\*(4), 731–736. <https://doi.org/10.1007/s42360-020-00252-9>

Li, W., Zhou, W., Kim, E. J., Shim, S. H., Kang, H. K., & Kim, Y. H. (2015). Isolation and identification of aromatic compounds in lion's mane mushroom and their anticancer activities. *Food Chemistry*, 170\*, 336–342. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.078>

Li, X., Chen, G., Ezemaduka, A. N., Luo, N., Yu, H., & Wang, M. (2023). The yields and quality of golden oyster mushroom cultivated on common reed substrates. *Journal of Food Composition and Analysis*, 121\*, 105331. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105331>

Li, Z., Zhao, C., Zhou, Y., Zheng, S., Hu, Q., & Zou, Y. (2024). Label-free comparative proteomic analysis of *Pleurotus eryngii* grown on sawdust, bagasse, and peanut shell substrates. *Journal of Proteomics*, 294\*, 105074. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2024.105074>

Liu, J. H., Li, L., Shang, X. D., Zhang, J. L., & Tan, Q. (2016). Anti-*Helicobacter pylori* activity of bioactive components isolated from *Hericium erinaceus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 183\*, 54–58. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.09.004>

Manavalan, T., Manavalan, A., Thangavelu, K. P., & Hesse, K. (2012). Secretome analysis of *Ganoderma lucidum* cultivated in sugarcane bagasse. *Journal of Proteomics*, 77\*, 298–309. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2012.09.004>

Melanouri, E. M., Dedousi, M., & Diamantopoulou, P. (2022). 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*, 5\*(1), 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.12.004>

Membrillo, I., Sánchez, C., Meneses, M., Favela, E., & Loera, O. (2011). Particle geometry affects differentially substrate composition and enzyme profiles by *Pleurotus ostreatus* growing on sugar cane bagasse. *Bioresource Technology*, 102\*(2), 1581–1586. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.091>

Munir, N., Ramli, A. N. M., Norsazali, N. F. S., & Bhuyar, P. (2023). Valorization of agro-industrial waste for the advancement of mushrooms and their production yield. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04773-x>

Nakakubo, K., Kariyazino, K., Watari, T., Yagi, F. A., Kuroda, K., Yamada, M., Yamaguchi, T., & Yamauchi, M. (2023). A novel cultivation method for growing oyster mushrooms with low potassium content using brewer's grain, an agro-waste. *Environmental Technology & Innovation*, 32\*. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103240>

Narender, R. B., Rajakumari, M., Sukanya, B., & Harish, S. (2017). Antimicrobial activity on peels of different fruits and vegetables. *Pharma Research*, 7\*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1133694>

Narh, M., Addo, D. L. P., Matilda Dzomeku, & Obodai, M. (2018). Bioprospecting of powdered pineapple rind as an organic supplement of composted sawdust for *Pleurotus ostreatus* mushroom cultivation. *Food Science & Nutrition*, 6\*(2), 280–286. <https://doi.org/10.1002/fsn3.551>

Niazi, A. R., & Ghafoor, A. (2023). Domestication of a magic therapeutical wine glass fungus (*Podoscypha petalodes*) from Pakistan. *Heliyon*, 9\*(6), e16146. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16146>

Olakanmi, G. B., Lateef, S. A., & Ogunjobi, A. A. (2024). Utilization of disposable face masks for cultivation of *Pleurotus ostreatus* mushroom as a strategy for reducing environmental plastic pollution. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26\*(1), 578–590. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01859-6>

Olakunle, O. O., Joy, D. B., & Irene, O. J. (2019). Antifungal activity and phytochemical analysis of selected fruit peels. *Journal of Biology and Medicine*, 3\*(1), 40–43. <https://doi.org/10.17352/jbm.000013>

Omar, A. N., Chirnside, A., & Kniel, K. E. (2024). Evaluation of white rot fungus to control growth of *Escherichia coli* in cattle manure. *Journal of Food Protection*, 87\*(1), 100206. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100206>

Otieno, O. D., Mulaa, F. J., Obiero, G., & Midiwo, J. (2022). Utilization of fruit waste substrates in mushroom production and manipulation of chemical composition. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 39\*, 102250. <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2021.102250>

Philippoussis, A., Zervakis, G., & Diamantopoulou, P. (2001). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17\*(2), 191–200. <https://doi.org/10.1023/a:1016685530312>

Pilafidis, S., Tsouko, E., Sougleri, G., Diamantopoulou, P., Gkatzionis, K., Ioannou, Z., & Sarris, D. (2024). Submerged cultivation of selected macro-fungi to produce mycelia rich in  $\beta$ -glucans and other bioactive compounds, valorizing side streams of the food industry. *\*Carbon Resources Conversion*, 7\*(2), 100198. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.09.002>

Puliga, F., Leonardi, P., Minutella, F., Zambonelli, A., & Francioso, O. (2022). Valorization of hazelnut shells as growing substrate for edible and medicinal mushrooms. *\*Horticulturae*, 8\*(3), 214. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030214>

Putra, I. P., Aimi, T., & Shimomura, N. (2022). Basidium formation of *\*Rhizopogon roseolus\** with *\*Pinus thunbergii\** in agar medium. *\*Fungal Biology*, 126\*(11–12), 746–751. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2022.09.003>

Ramezan, D., Abadi, B. A. J., Kermani, A. S., Pirnia, M., & Farrokhzad, Y. (2021). Cultivation of turkey tail mushroom (*\*Trametes versicolor\**) on lignocellulosic wastes and evaluation of substrate bioconversion. *\*Proceedings of the National Academy of Sciences, India. Section B*, 91\*(4), 777–787. <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01269-4>

Ramirez, I. J. N., Angarita, C. C., & Zuluaga, H. J. O. (2007). Incorporación de cafeína en el hongo *\*Pleurotus sajor-caju\** cultivado sobre pulpa de café. *\*Revista Iberoamericana de Micología*, 24\*(1), 72–74. [https://doi.org/10.1016/s1130-1406\(07\)70008-6](https://doi.org/10.1016/s1130-1406(07)70008-6)

Richard, E. N., Hilonga, A., Machunda, R. L., & Njau, K. N. (2020). Two-stage banana leaves wastes utilization towards mushroom growth and biogas production. *\*3 Biotech*, 10\*(12). <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02525-6>

Romero-Arenas, O., Guerrero, M. A. M., Miguel, A. H., Valverde, B. R., & López-Olguín, J. F. (2015). Producción del hongo shiitake (*\*Lentinula edodes\** Pegler) en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales. *\*Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6\*(6), 1229–1238. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342015000600007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000600007&lng=es&nrm=iso)

Russel, S. (2004). *\*The essential guide to cultivating mushrooms\**. Storey Publishing.

Sardar, H., Anjum, M. A., Hussain, S., Ali, S., Shaheen, M. R., Ahsan, M., Ejaz, S., Ahmad, K. S., Naz, S., & Shafique, M. (2022). Deciphering the role of moringa leaf powder as a supplement in the cotton waste substrate for the growth and nutrition of king oyster mushroom. *\*Scientia Horticulturae*, 293\*, 110694. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110694>

Shimomura, N., & Hasebe, K. (2004). Estimation of viability of inner bark tissue of *\*Quercus serrata\**, a substrate for log cultivation of *\*Lentinula edodes\**, using the TTC assay method. *\*Mycoscience*, 45\*(5), 362–365. <https://doi.org/10.1007/s10267-004-0188-6>

Singh, R. (2017). A review on different benefits of mushroom. *\*IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 12\*, 2319-7676. <https://doi.org/10.9790/3008-120102107111>

Tesfay, T., Godifey, T., Mesfin, R., & Kalayu, G. (2020). Evaluation of waste paper for cultivation of oyster mushroom (*\*Pleurotus ostreatus\**) with some added supplementary materials. *\*AMB Express*, 10\*(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-020-0945-8>

Triyono, S., Haryanto, A., Telaumbanua, M., & Lumbanraja, D. J. (2019). Cultivation of straw mushroom (*\*Volvariella volvacea\**) on oil palm empty fruit bunch growth medium. *\*International*

Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 8\*(4), 381–392. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0259-5>

Ukwuru, M. U., Muritala, A., & U, E. (2018). Edible and non-edible wild mushrooms: Nutrition, toxicity and strategies for recognition. \*Journal of Clinical Nutrition and Metabolism, 2\*. [https://www.scitechnol.com/peer-review/edible-and-nonedible-wild-mushrooms-nutrition-toxicity-and-strategies-for-recognition-dY0s.php?article\\_id=7395](https://www.scitechnol.com/peer-review/edible-and-nonedible-wild-mushrooms-nutrition-toxicity-and-strategies-for-recognition-dY0s.php?article_id=7395)

Vega, A., León, J. A., Miranda, S., & Reyes, S. M. (2022). Agro-industrial waste improves the nutritional and antioxidant profile of \*Pleurotus djamor\*. \*Cleaner Waste Systems, 2\*, 100018. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100018>

Wang, M., Gao, Y., Xu, Konishi, T., & Gao, O. (2014). \*Hericium erinaceus\* (Yamabushitake): A unique resource for developing functional foods and medicines. \*Food & Function, 5\*(12), 3055–3064. <https://doi.org/10.1039/c4fo00511b>

Wang, Q., Juan, J., Xiao, T., Zhang, J., Chen, H., Song, X., Chen, M., & Huang, J. (2021). The physical structure of compost and C and N utilization during composting and mushroom growth in \*Agaricus bisporus\* cultivation with rice, wheat, and reed straw-based composts. \*Applied Microbiology and Biotechnology, 105\*(9), 3811–3823. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11284-0>

Wang, Q., Meng, L., Wang, X., Zhao, W., Shi, X., Wang, W., Li, Z., & Wang, L. (2022). The yield, nutritional value, umami components and mineral contents of the first-flush and second-flush \*Pleurotus pulmonarius\* mushrooms grown on three forestry wastes. \*Food Chemistry, 397\*, 133714. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133714>

Yao, W., Zhang, J. C., Dong, C., Zhuang, C., Hirota, S., Inanaga, K., & Hashimoto, K. (2015). Effects of Amycenone on serum levels of tumor necrosis factor- $\alpha$ , interleukin-10, and depression-like behavior in mice after lipopolysaccharide administration. \*Pharmacology, Biochemistry, and Behavior, 136\*, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2015.06.012>

Yildiz, S., Yildiz, U. C., Gezer, E. D., & Temiz, A. (2002). Some lignocellulosic wastes used as raw material in cultivation of the \*Pleurotus ostreatus\* culture mushroom. \*Process Biochemistry (Barking, London, England), 38\*(3), 301–306. [https://doi.org/10.1016/s0032-9592\(02\)00040-7](https://doi.org/10.1016/s0032-9592(02)00040-7)

Zárate-Salazar, R. J., Santos, M. N., Caballero, E. N. M., Martins, O. G., & Herrera, A. A. P. (2020). Use of lignocellulosic corn and rice wastes as substrates for oyster mushroom (\*Pleurotus ostreatus\* Jacq.) cultivation. \*SN Applied Sciences, 2\*(11). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03720-z>

Zervakis, G., Philippoussis, A., Ioannidou, S., & Diamantopoulou, P. (2001). Mycelium growth kinetics and optimal temperature conditions for the cultivation of edible mushroom species on lignocellulosic substrates. \*Folia Microbiologica, 46\*(3), 231–234. <https://doi.org/10.1007/bf02818539>