



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE TOMATE**  
**(*Solanum lycopersicum* L.) BRS ZAMIR F1 E COGUMELO (*Pleurotus***  
***ostreatus* Jacq. Fr. Kummer) EM SISTEMA DE CO-CULTIVO EM**  
**AMBIENTE CONTROLADO**

**SÉRGIO DA COSTA JÚNIOR**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/DF**

**JULHO/2025**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE TOMATE**  
**(*Solanum lycopersicum* L.) BRS ZAMIR F1 E COGUMELO (*Pleurotus***  
***ostreatus* Jacq. Fr. Kummer) EM SISTEMA DE CO-CULTIVO EM**  
**AMBIENTE CONTROLADO**

**SÉRGIO DA COSTA JÚNIOR**

**ORIENTADORA: DR<sup>a</sup> ANA MARIA RESENDE JUNQUEIRA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/DF**

**JULHO/2025**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BRS ZAMIR F1 E COGUMELO (*Pleurotus ostreatus* Jacq. Fr. Kummer) EM SISTEMA DE CO-CULTIVO EM AMBIENTE CONTROLADO**

**SÉRGIO DA COSTA JÚNIOR**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.**

**APROVADA POR:**

---

**PROFA. DR<sup>a</sup>. ANA MARIA RESENDE JUNQUEIRA  
(ORIENTADORA)**

---

**PROF. DR. JEAN KLEBER DE ABREU MATTOS  
(MEMBRO INTERNO)**

---

**DR<sup>a</sup>. EUSÂNGELA ANTÔNIA DA COSTA  
(MEMBRO EXTERNO)**

**BRASÍLIA/ DF, 30 DE JULHO DE 2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ds484dv	da Costa Júnior, SERGIO VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE TOMATE ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) BRS ZAMIR F1 E COGUMELO ( <i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq. Fr. Kummer) / SERGIO da Costa Júnior; orientador Ana Maria Resende Junqueira. Brasília, 2025. 57 p.
	Dissertação(Mestrado em Agronomia) Universidade de Brasília, 2025.
	1. Macrofungos. 2. Hortaliças. 3. Cultivo consorciado. 4. Sistemas agroecológicos. I. Junqueira, Ana Maria Resende, orient. II. Título.

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

da COSTA Jr, S. Viabilidade técnica da produção de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) BRS ZAMIR F1 e cogumelo (*Pleurotus ostreatus* Jacq. Fr. Kummer) em sistema de co-cultivo em ambiente controlado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2025, 57 p. Dissertação de Mestrado.

### CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Sérgio da Costa Júnior

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Viabilidade técnica da produção de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) BRS ZAMIR F1 e cogumelo (*Pleurotus ostreatus* Jacq. Fr. Kummer) em sistema de co-cultivo em ambiente controlado.

GRAU: Mestrado

ANO: 2025

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Sérgio da Costa Júnior

CPF: 02577254156

Endereço. DF 205, Km 08, Rancho Pousada do Sol Colônia Agrícola Catingueiro, Fercal-Oeste.

Tel. (61) 996364864

E-mail: sergioscj13@gmail.com

*“Dedico aos meus queridos pais Iana Teixeira da Costa e Sérgio da Costa, que sempre acreditaram e acreditam na minha capacidade de trabalho e sempre me motivaram e motivam a estudar e buscar o melhor nos momentos mais difíceis. À Deus, meus familiares, amigos e professores que me ensinaram e ensinam a lutar pelos meus sonhos e a conquistar meus objetivos”.*

**BRASÍLIA/DF**  
**JULHO/2025**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, aos meus pais, professores e amigos que contribuíram para a minha formação profissional, acadêmica e que me auxiliaram a conquistar meus sonhos e objetivos. Agradeço à Universidade de Brasília e à Embrapa Agroenergia, pelo suporte, espaço e ferramentas de auxílio à pesquisa. Aos docentes e pesquisadores responsáveis por minha formação, em especial à professora Dr<sup>a</sup> Ana Maria Resende Junqueira, da Universidade de Brasília, e, ao Dr Félix Gonçalves Siqueira da Embrapa Agroenergia. Agradeço também aos colaboradores Dr<sup>a</sup> Catharine Abreu Bomfim, Dr Carlos Emanuel Soares, Dr<sup>a</sup> Gabriella Roso Cibin, Dr<sup>a</sup> Gilvani Carla e ao Mestre Willian Gomes que me apoiaram durante a realização da pesquisa.

Como não conseguirei agradecer a todos que estiveram comigo nesta caminhada, dedico este momento a todos.

Obrigado!

**BRASÍLIA/DF**

**JULHO/2025**

## RESUMO

O co-cultivo ou cultivo consorciado, é uma estratégia que integra o cultivo entre duas ou mais culturas, como o consórcio fungo-planta, possibilitando a interação sinérgica de diferentes organismos. O objetivo do estudo foi avaliar a viabilidade técnica da produção do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) BRS ZAMIR F1 em cultivo consorciado com o macrofungo *Pleurotus ostreatus* em ambiente controlado. O experimento foi conduzido por seis meses (de setembro de 2024 a fevereiro de 2025) no Núcleo de Apoio a Culturas Energéticas (NACE), localizado na Embrapa Cerrados (Planaltina - Distrito Federal). A casa de vegetação utilizada no experimento tem o tamanho de 12,80m x 16,00m é composta por aço galvanizado com paredes e cobertura em policarbonato. O delineamento experimental adotado foi de 3 blocos casualizados, composto por 8 tratamentos, com 4 repetições. Os tratamentos controles T1 e T2 foram relacionados como monocultivos de tomates. Os tratamentos controles T3, T4, T5 e T6 foram relacionados como monocultivos de cogumelos. Já os tratamentos com co-cultivo T7 e T8 integraram a produção de cogumelo e de tomate na mesma unidade experimental. Durante a condução do experimento, utilizou-se sistema de irrigação por gotejamento e um sistema adicional por aspersão. A adubação foi realizada utilizando-se a solução nutritiva hidropônica que relaciona a condutividade elétrica da solução e as interações entre os macronutrientes e micronutrientes, recomendada para o manejo na Embrapa Hortaliças. Portanto, foram avaliadas as características físico-químicas dos componentes solo, solo e substrato comercial, solo e mistura de fermentados e composto colonizado de *Pleurotus ostreatus*. Os parâmetros analisados foram pH, matéria orgânica total, macro e micronutrientes. Adicionalmente, avaliou-se a produção e produtividade dos cogumelos e dos frutos de tomate a partir de colheitas semanais no ciclo de 150 dias de experimento. Em seguida, foram avaliadas as composições químicas das amostras de cogumelos e frutos de tomates por meio do perfil nutricional e análise bromatológica completa. Investigou-se também a segurança alimentar das amostras de cogumelo, a fim de garantir a sua qualidade e a ausência de metais pesados. Dessa forma, observa-se que os tratamentos com co-cultivo T7 e T8 produziram cogumelos e frutos de tomates viáveis e semelhantes aos tratamentos controles no período de 150 dias de análise. Não foi observada contaminação por metais pesados nos tomates e cogumelos, porém é preciso cuidado na aplicação de soluções com cobre para que o cogumelo não apresente doses superior ao permitido pela legislação. Observou-se que existe potencial para o co-cultivo e que é preciso aprimorar a técnica e sua aplicação para melhores resultados.

**Palavras-chave:** Macrofungos, Hortaliças, Cultivo consorciado, Sistemas agroecológicos.

## ABSTRACT

Co-cultivation, or intercropping, is a strategy that integrates the cultivation of two or more crops, such as a fungus-plant consortium, enabling the synergistic interaction of different organisms. The objective of this study was to evaluate the technical feasibility of producing tomato (*Solanum lycopersicum* L.) BRS ZAMIR F1 intercropped with the macrofungus *Pleurotus ostreatus* in a controlled environment. The experiment was conducted for six months (from September 2024 to February 2025) at the Energy Cultures Support Center (NACE), located in Embrapa Cerrados (Planaltina - Distrito Federal). The greenhouse used in the experiment is 12.80m x 16.00m in size and is made of galvanized steel with polycarbonate walls and roof. The experimental design adopted was 3 randomized blocks, consisting of 8 treatments, with 4 replications. The control treatments T1 and T2 were related as monocultures of tomatoes. The control treatments T3, T4, T5, and T6 were related as monocultures of mushrooms. The co-cultivation treatments T7 and T8 integrated mushroom and tomato production in the same experimental unit. During the experiment, a drip irrigation system and an additional sprinkler system were used. Fertilization was carried out using a hydroponic nutrient solution that relates the electrical conductivity of the solution and the interactions between macronutrients and micronutrients, recommended for management at Embrapa Hortaliças. Therefore, the physical-chemical characteristics of the soil components, soil and commercial substrate, soil and fermented mixture and colonized compost of *Pleurotus ostreatus* were evaluated and the parameters analyzed were pH, total organic matter, macro and micronutrients. Additionally, the production and productivity of mushrooms and tomato fruits were evaluated from weekly harvests in the 150-day cycle of the experiment. Next, the chemical compositions of mushroom and tomato fruit samples were evaluated through nutritional profile and complete bromatological analysis. The food safety of the mushroom samples was also investigated to ensure their quality and the absence of heavy metals. Thus, it is observed that the T7 and T8 co-cultivation treatments produced viable mushrooms and tomato fruits similar to the control treatments over the 150-day period of analysis. No contamination by heavy metals was observed in tomatoes and mushrooms, however, care must be taken when applying solutions with copper so that the mushroom does not present doses higher than that permitted by legislation. It was observed that there is potential for co-cultivation and that it is necessary to improve the technique and its application for better results.

**Keywords:** Macrofungi, Vegetables, Intercropping, Agroecological systems.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Componentes utilizados na montagem das unidades experimentais.....	<b>20</b>
<b>Figura 2.</b> Esquema de montagem das unidades experimentais.....	<b>21</b>
<b>Figura 3.</b> Amostras coletadas para análise química.....	<b>23</b>
<b>Figura 4.</b> Distribuição dos blocos dos tratamentos nas bancadas da casa de vegetação.....	<b>24</b>
<b>Figura 5.</b> Montagem do experimento na casa de vegetação.....	<b>25</b>
<b>Figura 6.</b> Unidade experimental do T7. Co-cultivo de tomate e <i>Pleurotus ostreatus</i> , camada superior com solo + substrato comercial e adubação recomendada.....	<b>28</b>
<b>Figura 7.</b> Unidade experimental do T8. Co-cultivo de tomate e <i>Pleurotus ostreatus</i> , camada superior com solo + fermentados e adubação recomendada.....	<b>29</b>
<b>Figura 8.</b> Massa fresca dos cogumelos por unidade experimental coletados no intervalo de tempo de 30 dias e total avaliado em até 120 dias.....	<b>31</b>
<b>Figura 9.</b> Número de cogumelos frescos coletados no intervalo de tempo de 30 dias por unidade experimental durante 120 dias.....	<b>33</b>
<b>Figura 10.</b> Massa fresca total dos frutos de tomate produzidos por planta ao longo de 150 dias.....	<b>35</b>
<b>Figura 11.</b> Número de frutos total de tomate por planta a cada 30 dias, ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação .....	<b>36</b>
<b>Figura 12.</b> Número de cogumelos e frutos de tomates por planta, do tratamento T7, ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação.....	<b>37</b>
<b>Figura 13.</b> Número de cogumelos e frutos de tomates por planta, do tratamento T8, ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação.....	<b>38</b>
<b>Figura 14.</b> Produtividade média total em kg/ha de cogumelo ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação.....	<b>39</b>
<b>Figura 15.</b> Produtividade média total em kg/ha de tomate ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação .....	<b>40</b>

## **LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1.</b> Descrição dos tratamentos do experimento em casa de vegetação.....	<b>23</b>
<b>TABELA 2.</b> Caracterização química dos componentes utilizados para a montagem das UEs .....	<b>29</b>
<b>TABELA 3.</b> Composição, caracterização nutricional e segurança das amostras de cogumelos de cada UE .....	<b>41</b>
<b>TABELA 4.</b> Composição e caracterização nutricional das amostras de tomate de cada UE.....	<b>43</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1. PROBLEMÁTICA E RELEVÂNCIA .....	14
1.2. OBJETIVOS .....	15
<b>1.2.1. Objetivo geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
2.1 <i>Pleurotus ostreatus</i> : Macrofungo de valor nutricional crescido em resíduos agrícolas.....	15
2.2 A cultura do tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) .....	17
2.3 Cultivo consorciado ou integrado ou co-cultivo.....	18
<b>3. MÉTODO</b> .....	<b>19</b>
3.1 Montagem do sistema de co-cultivo entre macrofungo <i>Pleurotus ostreatus</i> e tomate.....	20
3.2 Origem e caracterização dos componentes utilizados na montagem das unidades experimentais de mono e co-cultivo.....	22
3.3 Delineamento experimental do sistema de co-cultivo entre <i>Pleurotus ostreatus</i> e tomate.....	23
3.4 Manejo experimental e nutricional .....	25
3.5 Colheitas e avaliação da produção e produtividade .....	26
3.6 Avaliação, caracterização dos frutos de tomate e cogumelo.....	26
<b>3.6.1 Composição e caracterização nutricional</b> .....	<b>27</b>
<b>3.6.2 Segurança do alimento</b> .....	<b>27</b>
3.7 Análise estatística.....	28
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
4.1 Caracterização química dos componentes utilizados na montagem das UEs.....	29
4.2 Produção média de massa fresca e número de cogumelos coletados no intervalo de tempo a cada 30 dias até 120 dias de cultivo.....	30
4.3 Produção média de massa fresca e número de frutos totais de tomate por planta, coletados no intervalo de 30 dias ao longo de 150 dias.....	34
4.4 Comparativo da produção média de número de cogumelos e frutos de tomates dos tratamentos com co-cultivo T7 e T8, coletados no intervalo de 30 dias ao longo do tempo.....	37
4.5 Produtividade dos cogumelos e tomates em kg ha <sup>-1</sup> .....	39
4.6 Caracterização bromatológica dos cogumelos e frutos de tomates .....	40
<b>4.6.1 Avaliação nutricional e caracterização dos cogumelos</b> .....	<b>41</b>

<b>4.6.2 Avaliação nutricional e caracterização dos frutos de tomate.....</b>	<b>43</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>44</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O extenso consumo dos recursos naturais tem causado impactos na qualidade de vida humana e no meio ambiente. Para reduzir os efeitos prejudiciais ao meio ambiente e promover um desenvolvimento mais sustentável, surgem conceitos como o da bioeconomia, economia verde e economia circular. A bioeconomia conceitua-se na utilização de recursos biológicos renováveis para a produção de alimentos, energia e materiais, focando na sustentabilidade ambiental (Ferraz e Pyka, 2023). A economia circular, por sua vez, atua na reutilização e na reciclagem de materiais, aumentando o ciclo de vida dos produtos e minimizando a geração de resíduos (Stepheson e Damarell, 2022).

O Brasil apresenta grande potencial no cultivo de diferentes gêneros de macrofungos devido às suas condições ambientais tropicais (Eira, 2004). Entre os basidiomicetos da ordem Agaricales, o macrofungo *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr) Kummer que ocorre em florestas tropicais e subtropicais é considerado um fungo de podridão branca e um eficiente decompositor de lignina de diferentes espécies vegetais (Eira e Minihoni, 1997; Zadrazil e Dube, 1992). Seu cultivo tem ganhado destaque devido à sua rusticidade e elevada eficiência na decomposição de resíduos agrícolas e industriais, promovendo a reciclagem da biomassa, contribuindo para a produção de alimentos saudáveis e sustentáveis (Eira, 2004; Marino et al., 2008).

Os macrofungos, como *Pleurotus ostreatus*, têm a capacidade de colonizar diversos tipos de substratos permitindo que sua produção seja associada ao manejo destes resíduos. Destaca-se por sua eficiência na produção de enzimas lignolíticas, que o tornam um bom decompositor de resíduos lignocelulósicos. A degradação da lignina libera no solo carbono, nitrogênio e outros nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Kües e Liu, 2000). A decomposição da matéria orgânica do solo pode auxiliar na redução do uso de adubação química, conseqüentemente, promover o crescimento de plantas, melhorar as características físico-químicas do solo e aumentar a diversidade da microbiota (Marino et al., 2008; Eira, 2004; Leifa, 1999; Fan et al., 2003; Wu et al., 2004).

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma cultura cultivada no mundo inteiro, além de possuir importância social e econômica é altamente industrializada. Atualmente é uma das hortaliças mais importantes no cenário agrícola mundial, com uma produção mundial 181,05 milhões de toneladas em 2018 e com a produção média brasileira de 4,11 milhões de toneladas no mesmo período, tornando o Brasil o décimo maior produtor mundial (FAOSTAT, 2018;

Zambolim, 2022). Em 2023, a produção brasileira de tomate foi estimada em 3,679 milhões de toneladas do fruto, cultivadas em uma área de 51.907 hectares (FAOSTAT, 2023). No Brasil é considerada como uma planta modelo excelente para investigação em diferentes pesquisas, responde bem ao uso de diferentes adubos, bioinsumos e diferentes substratos (Zambolim e Quezado-Duval, 2022). Decorrente da sua importância econômica, particularidades produtivas e fitossanitárias, a espécie tem fundamental importância na agricultura, podendo garantir ao produtor, em pequena área de cultivo, um razoável lucro por hectare (Carvalho e Pagliuca, 2007; Zambolim e Quezado-Duval, 2022).

O cultivo consorciado envolve o cultivo de diferentes culturas, que podem agir de forma sinérgica, como uma alternativa à monocultura. De acordo com Vieira et al. (2022), o co-cultivo é um sistema caracterizado pela integração de duas culturas ou mais culturas em um mesmo sistema de cultivo. O sistema integrado, por meio do co-cultivo de *Pleurotus* spp. e tomateiro apresenta-se como uma abordagem promissora. A técnica permite que os nutrientes liberados pelo fungo, a partir da degradação da matéria orgânica do solo, sejam absorvidos pelo tomateiro sem competição direta (Bellettini et al., 2019). O co-cultivo permite ainda ação sinérgica entre os organismos, aliando esses aspectos com o aumento da disponibilização nutricional, redução do espaço necessário para o cultivo e redução de custos do produtor com a fertilização mineral. Proporciona ao produtor maiores ganhos produtivos e redução de custos de manejo.

Desta forma, se faz necessário o estudo da viabilidade técnica do co-cultivo de *Pleurotus ostreatus* com o tomateiro, para elucidação do sinergismo entre as diferentes culturas e os possíveis benefícios associados à técnica.

## 1.1 PROBLEMÁTICA E RELEVÂNCIA

O co-cultivo é uma estratégia promissora dentro do contexto da bioeconomia e da economia circular, pois promove o uso eficiente de recursos naturais, uso de organismos que atuam em sinergia, promovendo redução do uso de fertilizantes químicos e aumentando a sustentabilidade agrícola. O cultivo do tomate (*Solanum lycopersicum*) e macrofungos, como *Pleurotus ostreatus*, de forma consorciada, permite a produção de alimentos em um sistema integrado, reduzindo impactos ambientais gerados a partir de resíduos agrícolas e melhorar aspectos associados à fertilidade do solo. O fungo *Pleurotus ostreatus* possui a capacidade de decompor materiais ricos em lignina tornando biodisponível nutrientes que podem beneficiar o crescimento vegetal. O tomate, por sua vez, é uma cultura que tem conquistado muito espaço

no setor agrícola e possui grande relevância social, sendo amplamente cultivada e industrializada. Dessa forma, o co-cultivo do fungo *Pleurotus ostreatus* com o tomate, possibilita a otimização da utilização de espaço, melhora da sustentabilidade do sistema produtivo, permitindo ganhos econômicos ao produtor aliados à sustentabilidade do sistema de produção. O cultivo consorciado destaca-se como uma alternativa viável e estratégica para a agricultura familiar.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo geral**

Avaliar a viabilidade técnica do sistema de co-cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) e cogumelos (*Pleurotus ostreatus*) em casa de vegetação em ambiente controlado.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar quimicamente os componentes utilizados no experimento quanto aos teores de pH, carbono orgânico total, macronutrientes (N total, P, Ca, Mg, K, S), micronutrientes como B, Fe, Cu, Mn, Zn) e capacidade de troca catiônica - CTC.
- Avaliar a produção, a produtividade do tomate da variedade BRS Zamir e do cogumelo *Pleurotus ostreatus* em sistema de co-cultivo em casa de vegetação com controle de irrigação e temperatura.
- Realizar caracterização nutricional dos frutos do tomate e dos cogumelos.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kummer: macrofungo de valor nutricional**

Os macrofungos compreendem uma vasta diversidade de indivíduos, com aproximadamente 12.000 espécies registradas. Destas, aproximadamente 2.000 podem ser inseridas na alimentação ou apresentam atributos terapêuticos, como propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e probióticas (Baptista et al., 2023). Em 2018, a produção

global de macrofungos atingiu 13 milhões de toneladas, podendo alcançar 26 milhões de toneladas até 2026, dado que aponta o aumento do interesse neste recurso biológico (Baptista et al., 2023).

Os fungos de podridão branca (FPB) desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes a partir da decomposição de materiais orgânicos. Eles atuam especialmente na quebra da lignina, sendo esse um polímero presente na parede celular vegetal que confere estrutura e resistência. A capacidade de quebrar polímeros recalcitrantes, como a lignina, torna os FPB ideais para aplicações biotecnológicas (Dhiman et al., 2024; Kumar e Chandra, 2020). A transformação de resíduos agroindustriais, como palha, cascas de frutas, bagaço de cana-de-açúcar e outros materiais ricos em lignina, em biocombustíveis, biofertilizantes e bioprodutos de valor agregado, como enzimas industriais e biopolímeros, são as principais aplicações industriais deste tipo de fungo (Atiweh et al., 2022; Andlar et al., 2018). O uso de FPB em processos biotecnológicos não apenas reduz o volume de resíduos descartados no meio ambiente, mas também promove a criação de produtos sustentáveis, princípio básico da economia circular (Yang et al., 2023).

Dentre os fungos de podridão branca, o *Pleurotus ostreatus*, conhecido comercialmente como cogumelo Shimeji ou cogumelo ostra, destaca-se por sua eficiência na produção de enzimas lignolíticas, como lacases, manganês peroxidases e celulasas, que o tornam um bom decompositor de resíduos lignocelulósicos (Hřebečková et al., 2020). Seu cultivo tem ganhado destaque no Brasil devido à sua baixa demanda de insumos, rentabilidade e facilidade de manejo, não exigindo mão de obra especializada (Baptista et al., 2023). Além disso, o *Pleurotus ostreatus* é altamente versátil, podendo ser utilizado em diversos setores industriais.

Como agente biorremediador, esse fungo demonstra capacidade de degradar poluentes ambientais, como hidrocarbonetos e metais pesados, por meio da ação de suas enzimas lignocelulolíticas (Dhiman et al., 2024). No setor agroindustrial, *Pleurotus ostreatus* é utilizado para o reuso de resíduos, como palhada de cereais, bagaço de cana-de-açúcar e serragem, usando esses resíduos para o seu crescimento e como fonte de carbono para seu metabolismo (Kumar e Chandra, 2020). Adicionalmente, o corpo de frutificação, ou o cogumelo, de *Pleurotus ostreatus* é utilizado para alimentação humana, pois possui alto valor nutricional, sendo rico em proteínas, fibras, vitaminas e minerais essenciais, como potássio, fósforo e ferro (Baptista et al., 2023).

Adicionalmente, os fungos *Flavodon flavus* e o *Panus neostrigosus*, também da classe dos fungos da podridão branca, são eficazes na decomposição de materiais lignocelulósicos, como resíduos agroindustriais, transformando em substratos enriquecidos com nutrientes e

compostos orgânicos. Durante o processo de degradação, esses fungos modificam a estrutura do substrato disponibilizando açúcares solúveis para o metabolismo vegetal e para outros microrganismos. No mais, enriquecem o meio de cultivo com a produção de lacases. Dessa forma, *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* não apenas promovem a degradação eficiente de substratos complexos, mas também enriquecem o meio de cultivo, tornando-o mais adequado para o crescimento de outros fungos e para a produção de bioprodutos de valor agregado.

## **2.2 A cultura do tomate (*Solanum lycopersicum* L.)**

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) tem fundamental importância na agricultura mundial, especialmente para o pequeno produtor, que possui uma pequena área de cultivo, sendo possível retorno financeiro (Zambolim e Quezado-Duval, 2022). Cultivado em diversas regiões mundiais e com grande importância social e econômica, o tomateiro tem sua produção altamente industrializada. Possui valores nutricionais reconhecidos por suas propriedades funcionais como o licopeno, betacaroteno, vitaminas A, C, E e flavonóides (Singh et al. 2018; George et al. 2004; Carvalho e Pagliuca, 2007; Szilagyi-Zecchin et al. 2014; Zambolim e Quezado-Duval, 2022).

Originário das regiões andinas da América do Sul, o tomate foi posteriormente domesticado no México e introduzido em diversas regiões mundiais como Europa, Ásia (meridional e oriental), África e Oriente Médio (Brito-Júnior, 2012; Szilagyi-Zecchin et al., 2014). Pertence à família Solanaceae, que inclui culturas como a batata, tabaco, berinjela, o tomateiro possui uma elevada variedade genética, como salada, saladete, italiano, caqui, cereja, grape, santa clara e ugly, entre outras (Zambolim, 2022).

Atualmente, é uma das hortaliças mais importantes no cenário agrícola mundial. Em 2018, a produção mundial atingiu 181,05 milhões de toneladas, sendo que no Brasil, em apenas três décadas, sua produção cresceu de forma expressiva. Em 1990, a média nacional era de 30 toneladas por hectare, enquanto em 2020 atingiu cerca de 60 toneladas por hectare, refletindo um aumento na produção, associado ao avanço tecnológico e ao manejo que permitiu o aumento da eficiência produtiva (IBGE, 2020).

Para garantir elevada produtividade se faz necessário o uso de fertilização em todas as etapas do seu ciclo produtivo. A fertilização realiza o suprimento do vegetal das suas demandas nutricionais e, conseqüentemente, permite ao produtor obter a máxima produtividade agrícola. Contudo, o uso excessivo desse tipo de produto ocasiona a contaminação do solo e lençóis

freáticos, além de estar diretamente relacionada à emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). O N<sub>2</sub>O é liberado no ambiente após o metabolismo de microrganismos do solo, que possuem ação desnitrificante, que é potencializada pela presença excessiva de nitrogênio. O óxido nitroso está associado com o aquecimento global, sendo esse um gás de efeito estufa, com potencial de aquecimento cerca de 300 vezes maior que o dióxido de carbono (IPCC, 2021).

Diante desses desafios se faz necessária a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, atuando na combinação de técnicas e manejos agrícolas que priorizem a sustentabilidade agrícola, como uso de biofertilizantes ou fertilizantes orgânicos, uso de microrganismos benéficos ao crescimento vegetal, apoiando na perspectiva de sinergismo microrganismo-planta (Raimi et al., 2021).

### **2.3 Cultivo consorciado ou integrado ou co-cultivo**

O cultivo consorciado envolve o cultivo de diferentes culturas, que podem agir de forma sinérgica, como uma alternativa à monocultura. De acordo com Vieira et al. (2022), o co-cultivo é um sistema caracterizado pela integração de duas ou mais culturas em um mesmo sistema de cultivo.

A consorciação irá variar entre a combinação dos organismos, devendo ser observadas características como o modo e a velocidade de crescimento, período de maturação, irrigação, necessidades nutricionais, pragas associadas, entre outros fatores a serem considerados. Uma combinação consorciada adotada por diversos produtores é a de cereais com leguminosas, como milho e feijão. Essa associação se faz interessante, pois as leguminosas disponibilizam o nitrogênio remanescente da fixação biológica do nitrogênio para os cereais (Jensen et al., 2020).

A ação mutualística de fungos e plantas é bem estabelecida na natureza, especialmente acerca dos fungos micorrízicos. No entanto, algumas espécies de fungos, como *Pleurotus* spp., podem estabelecer interações mais próximas com as raízes de vegetais, promovendo o crescimento vegetal por meio da produção de metabólitos secundários melhorando aspectos físicos e químicos do solo (Cohen et al., 2002). A decomposição da lignina é um dos benefícios que esses fungos podem promover aos vegetais, pois, a partir da degradação desse composto é liberado para o solo carbono, nitrogênio e outros nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Kües e Liu; 2000). Além disso, *Pleurotus* spp. produzem enzimas extracelulares, como lacases e peroxidases, que naturalmente atuam na degradação da matéria orgânica do solo, mas

também podem modular a disponibilidade de micronutrientes, como ferro e manganês, por meio de processos de oxidação-redução (Cohen et al., 2002).

Dessa forma, o cultivo de culturas agrícolas consorciadas com *Pleurotus* spp. aponta como uma alternativa de produção sustentável, uma vez que pode reduzir o uso de fertilização química garantindo uma nutrição adequada ao vegetal. Adicionalmente, a massa micelial do fungo modifica aspectos físicos do solo, aumentando a porosidade, capacidade de retenção de água, sendo interessante para solos degradados ou compactados (Bellettini et al., 2019). No mais, fungos da podridão branca possuem a característica de competirem por recursos com outros fungos, para isso produzem compostos antimicrobianos, sendo interessante para a supressão de patógenos (Kües e Liu; 2000).

O sistema integrado, por meio do co-cultivo de *Pleurotus* spp. e tomateiro apresenta-se como uma abordagem promissora. A técnica permite que os nutrientes liberados pelo fungo, a partir da degradação da matéria orgânica do solo, sejam absorvidos pelo tomateiro sem competição direta (Bellettini et al., 2019). No entanto, o co-cultivo, em especial entre o tomateiro e *Pleurotus ostreatus*, enfrenta desafios, uma vez que as exigências nutricionais e de manejo entre as duas culturas são diferentes em aspectos como umidade, temperatura e luz (Cohen et al., 2022). Apesar disso, com um planejamento adequado e uma montagem cuidadosa dos cultivos, é possível atender às necessidades de ambas as culturas.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a viabilidade técnica do co-cultivo de *Pleurotus ostreatus* com o tomateiro cultivar BRS Zamir F1 (grupo *grape*) por meio da avaliação da produção e características pós-colheita dos materiais.

### **3. MÉTODO**

O experimento foi conduzido por seis meses (de setembro de 2024 a fevereiro de 2025) no Núcleo de Apoio a Culturas Energéticas (NACE), localizado na Embrapa Cerrados (Planaltina - Distrito Federal). Utilizou-se cultivo protegido em casa de vegetação da marca Zanatta com tamanho de 12,80 m x 16,00 m, sua estrutura é composta de aço galvanizado com paredes e cobertura em policarbonato.

### 3.1 Montagem do sistema de co-cultivo entre macrofungo *Pleurotus ostreatus* e tomate BRS Zamir (grupo grape)

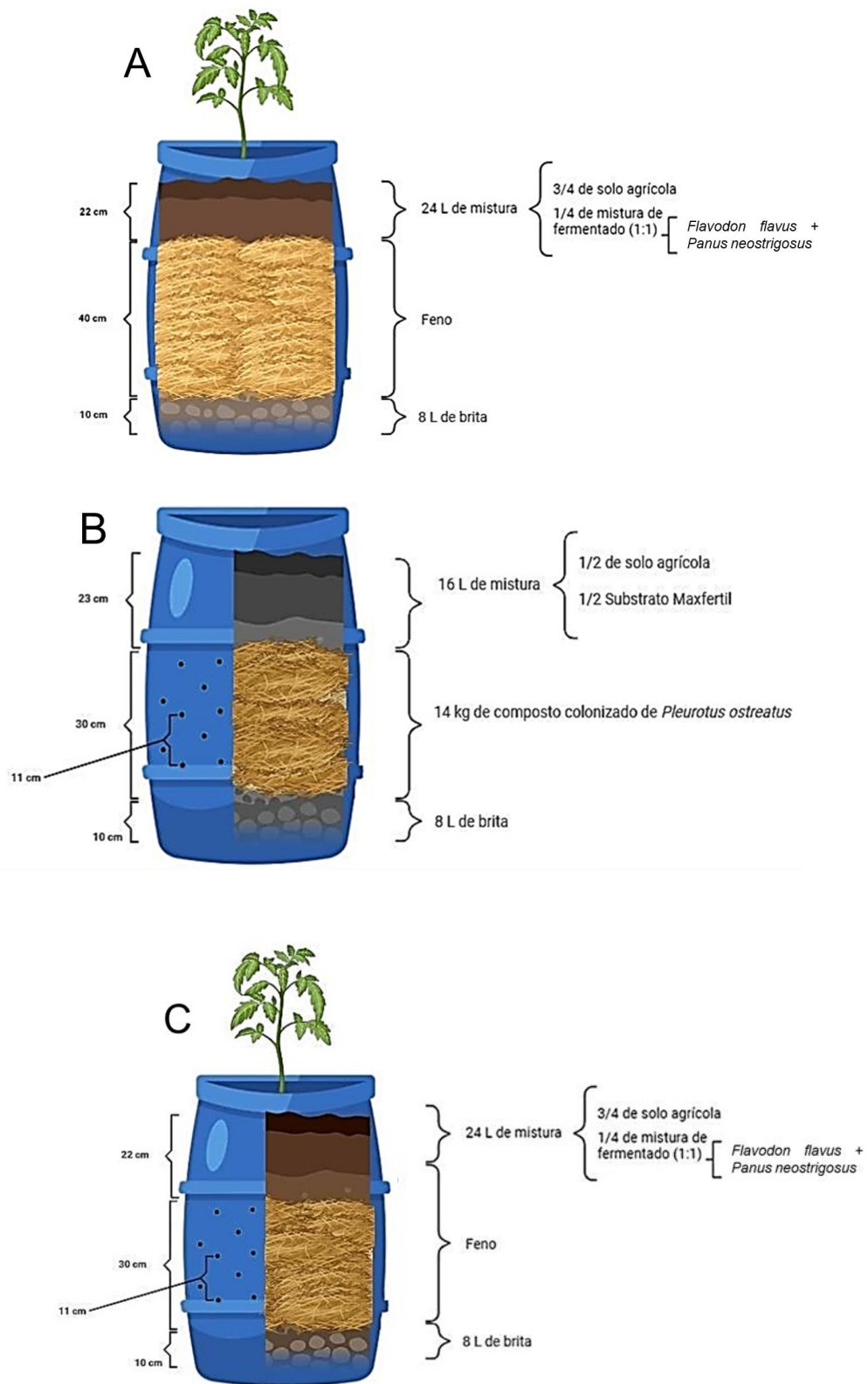
O sistema de co-cultivo foi montado em bombonas de 60 L e após a montagem, cada bombona constituiu uma unidade experimental (UE). Utilizando-se de furadeira, cada uma das bombonas foi perfurada, com 17 aberturas de aproximadamente 9 mm de diâmetro, distanciados 11 cm entre si, de modo a permitir a entrada de ar e o crescimento dos cogumelos. As UEs foram preenchidas com componentes em três camadas distintas conforme recomendação de Vieira *et al.* (2022) (Figura 1).

- uma camada inferior composta de brita;
- uma camada intermediária composta por substrato colonizado de *Pleurotus ostreatus* ou feno, a depender do tratamento;
- uma camada superior composta por: mistura de solo agrícola + substrato comercial na proporção de 1:1 ou, mistura solo agrícola + substrato de fermentado fúngico (*Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus*, na proporção 1:1 de cada fermentado) em uma proporção de 3:1 de solo, a depender do tratamento.

As proporções dos componentes na camada intermediária e superior definem os tratamentos do experimento e são detalhados na sequência (item 5.3). Um exemplo da montagem dos componentes na UE pode ser observado na **Figura 2**.



**Figura 1.** Componentes utilizados na montagem das unidades experimentais (UEs): A - brita, utilizada na camada inferior; B - composto colonizado de *Pleurotus ostreatus*, utilizado na camada intermediária; C - feno, utilizado na camada intermediária; D - mistura de solo + substrato comercial na proporção de 1:1, utilizado na camada superior; E - mistura de solo + substrato dos fermentados (a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* (1:1), utilizado na camada superior a proporção de 3:1.



**Figura 2.** Esquema de montagem das unidades experimentais, exemplificando as camadas inferior (brita), intermediária (feno ou composto colonizado) e superior (misturas). A - Monocultivo de tomate, B - Monocultivo de cogumelos e C - Co-cultivo de tomate e cogumelo.

### 3.2 Origem e caracterização dos componentes utilizados na montagem das unidades experimentais (UEs) de mono e co-cultivo

O solo agrícola utilizado foi coletado em trincheiras, na Embrapa Cerrados, e é classificado como Latossolo Vermelho. O substrato comercial, da marca Maxfétil, é formulado com casca de pinus, cinzas, vermiculita, turfa, serragem e bioestabilizados. Incorpora aditivos corretivos de acidez (0,5%), fertilizante mineral N-P-K (0,6%), possui densidade de 310 kg/m<sup>3</sup>, capacidade de retenção de água (CRA) de 90% e unidade de 50%.

O composto colonizado com *Pleurotus ostreatus* foi obtido comercialmente e foi cultivado em substrato à base de capim braquiária e minerais. Já os fermentados à base *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* foram produzidos na Embrapa Agroenergia por fermentação em estado sólido - FES. Inicialmente, esses fungos foram selecionados a partir de experimentos prévios vinculados a projetos em andamento na unidade (dados não publicados). Os inóculos dos fungos crescidos em placas de petri, foram transferidos para frascos com sorgo hidratado e esterilizado, para serem cultivados por 15 dias. Posteriormente, o sorgo colonizado serviu de semente fúngica e inoculado em mistura de biomassa residual vegetal de dendê constituída por 40% de cacho de dendê, 7,5% de fibra de cacho, 7,5% de torta palmiste, 2,5% de borra do decantador, 2,5% de casquilho, 30% de cinzas e 10% de calcário, por 30 dias. Após a colonização completa, os fermentados das duas espécies foram secos em estufa, triturados e utilizados para a montagem das unidades experimentais (UEs).

Para os tratamentos com mono ou co-cultivo de tomate, foram utilizadas sementes da cultivar BRS Zamir F1, um híbrido do segmento *grape* para consumo fresco, com boa rusticidade e cobertura foliar. A cultivar possui um gene capaz de estimular o aumento de bifurcação dos cachos e apresentando tolerância ao begomovírus e resistência à murcha-de-fusarium (raças 1 e 2), murcha-de-verticílio (raça 1) e mancha-de-estenfílio (EMBRAPA, 2016). As sementes foram plantadas na Embrapa Agroenergia, 30 dias antes do transplante para as unidades experimentais e mantidas em casa de vegetação. Utilizou-se aos 10 e 20 dias após germinação a adubação de 5 ml por célula de solução nutritiva diluída em água.

Para a caracterização química dos componentes utilizados na montagem das unidades experimentais, uma amostra composta de 200 g foi coletada de cada um dos itens: substrato comercial, solo agrícola, solo + substrato comercial, fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus*, solo + fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* e, composto colonizado com o *Pleurotus ostreatus* (**Figura 3**). As amostras foram coletadas

seguindo a recomendação do SISBICs e foram encaminhadas para análise química em laboratório certificado onde foram analisados: pH, carbono orgânico total, macronutrientes (N total, P, Ca, Mg, K, S), micronutrientes (B, Fe, Cu, Mn, Zn) e capacidade de troca catiônica - CTC.



**Figura 3.** Amostras coletadas para análise química de: A - substrato comercial (SC), B - solo agrícola, C - solo + substrato comercial, D - fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* (FES), E - solo + fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* e, F - composto colonizado com o *Pleurotus ostreatus* (CPO).

### 3.3 Delineamento experimental do sistema de co-cultivo entre *Pleurotus ostreatus* e tomate BRS Zamir (grupo *grape*)

O delineamento experimental adotado foi o de 3 blocos ao acaso (DBC), composto de oito tratamentos (**Tabela 1**) e cada tratamento contou com 4 repetições.

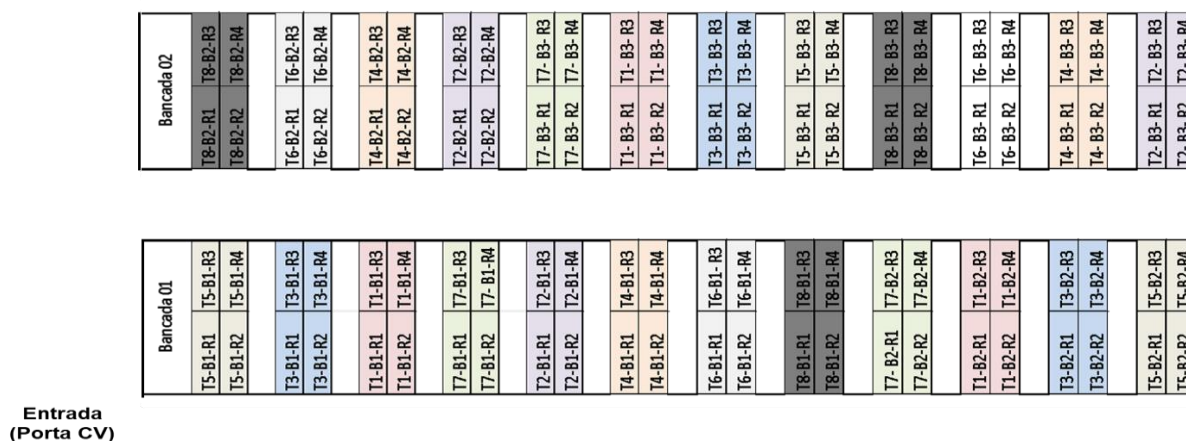
**TABELA 1.** Descrição dos tratamentos do experimento em casa de vegetação.

Trat*	Descrição do cultivo	Proporção componentes na bombona	Adubação
T1	Monocultivo tomate BRS Zamir F1	Camada inferior: 8 L de brita; Camada intermediária: 40 cm feno; Camada superior: 16 L <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/2 parte de solo agrícola;</li> <li>• 1/2 parte de substrato comercial.</li> </ul>	Comercial recomendada
T2	Monocultivo tomate BRS Zamir F1	Camada inferior: 8 L de brita; Camada intermediária: 40 cm feno; Camada superior: 24 L <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3/4 de parte de solo agrícola;</li> <li>• 1/4 de parte de mistura de fermentados (1/2 de parte de <i>Flavodon flavus</i> e 1/2 parte de <i>Panus neostrigosus</i>).</li> </ul>	Comercial recomendada
T3	Monocultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	Camada inferior: 8 L de brita; Camada intermediária: 30 cm/14 kg de composto colonizado de <i>Pleurotus ostreatus</i> ; Camada superior: 16 L <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/2 de parte de solo agrícola;</li> <li>• 1/2 parte de substrato comercial.</li> </ul>	Comercial recomendada

<b>T4</b>	Monocultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	Camada inferior: 8 L de brita; Camada intermediária: 30 cm/14 kg de composto colonizado de <i>Pleurotus ostreatus</i> ; Camada superior: 16 L <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/2 de parte de solo agrícola;</li> <li>• 1/2 parte de substrato comercial.</li> </ul>	Sem adubação
<b>T5</b>	Monocultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	Camada inferior: 8 L de brita; Camada intermediária: 30 cm/14 kg de composto colonizado de <i>Pleurotus ostreatus</i> ; Camada superior: 24 L <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3/4 de parte de solo agrícola;</li> <li>• 1/4 de parte de mistura de fermentados (1/2 de parte de <i>Flavodon flavus</i> e 1/2 parte de <i>Panus neostrigosus</i>).</li> </ul>	Comercial recomendada
<b>T6</b>	Monocultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	Camada inferior: 8 L de brita; Camada intermediária: 30 cm/14 kg de composto colonizado de <i>Pleurotus ostreatus</i> ; Camada superior: 24 L <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3/4 de parte de solo agrícola;</li> <li>• 1/4 de parte de mistura de fermentados (1/2 de parte de <i>Flavodon flavus</i> e 1/2 parte de <i>Panus neostrigosus</i>).</li> </ul>	Sem adubação
<b>T7</b>	Cultivo integrado (co-cultivo) de tomate Brs Zamir F1 e <i>Pleurotus ostreatus</i>	Camada inferior: 8 L de brita; Camada intermediária: 30 cm/14 kg de composto colonizado de <i>Pleurotus ostreatus</i> ; Camada superior: 16 L <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/2 de parte de solo agrícola;</li> <li>• 1/2 parte de substrato comercial.</li> </ul>	Comercial recomendada
<b>T8</b>	Cultivo integrado (co-cultivo) de tomate Brs Zamir e <i>Pleurotus ostreatus</i>	Camada inferior: 8 L de brita; Camada intermediária: 30 cm/14 kg de composto colonizado de <i>Pleurotus ostreatus</i> ; Camada superior: 24 L <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3/4 de parte de solo agrícola;</li> <li>• 1/4 de parte de mistura de fermentados (1/2 de parte de <i>Flavodon flavus</i> e 1/2 parte de <i>Panus neostrigosus</i>).</li> </ul>	Comercial recomendada

\* Trat = Tratamentos.

Um esquema detalhado dos tratamentos utilizados no experimento está disponível no Anexo I. As repetições de cada um dos três blocos de cada tratamento foram distribuídas ao acaso em duas bancadas conforme esquema da **Figura 4**.



**Figura 4.** Distribuição dos blocos dos tratamentos nas bancadas da casa de vegetação.

### 3.4 Manejo experimental e nutricional

Uma vez montadas, as unidades experimentais foram alocadas na parte inferior de duas bancadas de metal com 10,29 m de comprimento por 2,89 m de largura, sobre suportes plásticos de 16,5 cm de altura, de modo a impedir o contato direto das mesmas com o chão (**Figura 5**). Após a organização conforme o arranjo indicado na **Figura 4**, as bancadas foram cobertas nas laterais e superfície, por duas camadas de tela sombrite antiafídeo de 50% de sombra. Para os tratamentos com mono ou co-cultivo com tomate, as plantas foram transplantadas e tutores para orientar o crescimento das plantas foram instalados.



**Figura 5.** Montagem do experimento na casa de vegetação. A - Detalhe de posicionamento das unidades experimentais abaixo das bancadas; B - Cobertura das unidades experimentais com sombrite.

Durante a condução do experimento, utilizou-se sistema de irrigação por gotejamento, acionado 3 vezes ao dia (às 5h, 11h e 17h), por 2 minutos em cada acionamento. Adicionalmente, havia um sistema de aspersão acionado 3 vezes ao dia (às 6h, 12h e 18h), por 4 minutos em cada acionamento.

A adubação foi realizada 3 vezes por semana (às terças, quintas e sábados) utilizando a solução nutritiva hidropônica que relaciona a condutividade elétrica da solução e as interações entre os macronutrientes e micronutrientes, recomendada e utilizada para o manejo na Embrapa Hortaliças. Foram aplicados aos tratamentos T1, T2, T3, T5, T7 e T8, 250 ml de solução nutritiva hidropônica diluída em água. A composição da solução nutritiva basal está descrita a seguir:

- Solução A (g/100L) [nitrato de cálcio (9900); Ferrilene (370)];

- Solução B (g/100L) [MAP (3450); sulfato de potássio (5250), sulfato de magnésio (7400), sulfato de manganês (30), sulfato de zinco (6), sulfato de cobre (7,5), molibdato de sódio (3), bórax (70)].
- A condutividade elétrica da solução nutritiva era de  $2,0 \text{ mS/cm}^{-1}$

Semanalmente, foram realizados desbrotas e desbaste das plantas de tomate de modo a melhorar a estrutura da planta e a qualidade dos frutos. Para a manutenção do padrão das quantidades de misturas de substrato da camada superior, perdidas por conta da irrigação, quatro reposições desse material foram realizadas ao longo do período de condução do experimento.

### **3.5 Colheitas e avaliação de produção e produtividade**

Cogumelos e tomates possuem ciclos de produção distintos, implicando em períodos de colheita diferentes. Os cogumelos tiveram a primeira colheita realizada em 27/09/2024 e, a partir daí foram coletados de segunda à sábado até o desmonte do experimento. Sempre que havia cogumelos no ponto de maturação, eram colhidos.

Os tomates apresentaram primeira colheita em 27/11/ 2024 e a cada 15 dias eram colhidos frutos de coloração vermelha com maturação total até o final do experimento. Para fins de cálculos de produção e produtividade, as colheitas feitas ao longo do mesmo mês, tanto de cogumelos quanto de frutos de tomates, eram contabilizadas conjuntamente.

A produção dos cogumelos e frutos de tomate foi determinada através das quantidades médias de massa fresca e número de cogumelos e massa fresca e números de frutos de tomate produzidas em cada EU, segundo Soldateli et al. (2019).

Já a produtividade dos cogumelos e frutos dos tomates foi determinada a partir das quantidades médias em kg produzidas por  $\text{ha}^{-1}$  segundo recomendação de Steffen et al. (2023). Também foram computados números de cogumelos e de frutos de tomate no período de 150 dias do experimento.

### **3.6 Avaliação e caracterização dos frutos de tomate e cogumelos**

Para a caracterização das amostras de tomate e cogumelo, foram realizadas análises físico-químicas e nutricionais seguindo as normas oficiais de metodologias reconhecidas e

protocolos estabelecidos em documentos de referência como AOAC (Association of Official Analytical Chemists), AOCS (American Oil Chemists Society), CBAAb (Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal), Instituto Adolfo Lutz e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Estas análises serão distribuídas em duas categorias principais: caracterização nutricional e segurança alimentar.

### **3.6.1 Composição e caracterização nutricional**

As amostras foram compostas por grupos de 100 g de frutos de tomate liofilizados e porções de aproximadamente 200 g de cogumelos secos (macrofungos), coletadas de forma representativa para garantir a homogeneidade dos dados. A composição química das amostras foi realizada por meio do perfil nutricional completo, incluindo os parâmetros de umidade e voláteis, determinados por secagem em estufa a 105°C, proteína bruta quantificada pelo método de Kjeldahl com fator de conversão adequado, matéria mineral/cinzas por calcificação em mufla a 550°C (CBAAb, 2017), extrato etéreo determinado por extração contínua em Soxhlet (AOCS, 2017) e carboidratos livres (lactose, sacarose, rafinose, maltose, glicose, frutose, galactose e xilose) quantificados por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS) (Thompson, 1990).

Para avaliar as amostras nutricionalmente e sua biofortificação, foi determinado nitrogênio total pelo método de Kjeldahl (CBAAb, 2017), macro e micronutrientes como fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre, selênio analisados por espectrometria de emissão óptica e absorção/fluorescência atômica segundo metodologias determinadas por AOAC, 2019; Instituto Adolfo Lutz, 2005; CBAAb, 2017; Sing *et al.*, 2018.

A caracterização dos frutos de tomate foi realizada por meio das análises de compostos bioativos e qualidade funcional incluindo carotenóides (beta-caroteno, licopeno, luteína, zeaxantina) e vitaminas A, C e E, que foram quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS).

### **3.6.2 Segurança do alimento (contaminação de metais pesados)**

A fim de avaliar a potencial melhoria do valor nutricional das amostras, foi investigado o impacto do cultivo em substratos enriquecidos. Análises de segurança do alimento foram realizadas para garantir a qualidade dos cogumelos e a ausência de contaminantes. Metais pesados (chumbo, cádmio, mercúrio e arsênio) foram determinados por espectrometria de

absorção atômica com forno de grafite ou geração de vapor frio e utilizando Leco AMA254 Mercury Analyzer (AOAC, 2019).

### 3.7 Análise estatística

Para dados de produção, utilizou-se o software Sisvar para a realização das análises estatísticas, sendo selecionado o método estatístico de Teste T LSD ( $p \leq 0,05$ ) para a separação das médias, considerando o delineamento experimental de blocos ao acaso. O teste T LSD (*Least Significant Difference*) visa determinar a menor diferença significativa entre duas médias (WILLIAMS; ABDI, 2010). A partir das análises estatísticas foram construídos os gráficos de barra para observação comparativa entre os tratamentos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram considerados para os seguintes resultados: a caracterização química dos componentes utilizados para montagem das UEs; a produção e produtividade de cogumelos em 30, 60, 90 e 120 dias e para o tomate 90, 120 e 150 dias após o início do experimento em casa de vegetação.

Para tanto, os tratamentos T3, T4, T5, T6 forneceram dados de massa fresca e número de cogumelos. Os tratamentos T1 e T2 forneceram dados de massa fresca e números de frutos de tomate. Os tratamentos T7 e T8 forneceram dados de massa fresca e números de frutos do tomate e massa fresca e número de cogumelos (Figura 6 e Figura 7).



**Figura 6.** Unidade experimental do T7. Co-cultivo de tomate e *Pleurotus ostreatus*, camada superior com solo + substrato comercial e adubação recomendada.



**Figura 7.** Unidade experimental do T8. Co-cultivo de tomate e *Pleurotus ostreatus*, camada superior com solo + fermentados e adubação recomendada

#### 4.1 Caracterização química dos componentes utilizados na montagem das UEs

O substrato comercial, solo agrícola, solo + substrato comercial (SC), fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* (FES), solo + fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* e, composto colonizado com o *Pleurotus ostreatus* (CPO) foram considerados como componentes utilizados na montagem das UEs.

Amostras compostas foram coletadas seguindo a recomendação do SISBICs e foram encaminhadas para análise química em laboratório para caracterização dos teores de pH, carbono orgânico total, macronutrientes (N total, P, Ca, Mg, K, S), micronutrientes como B, Fe, Cu, Mn, Zn) e capacidade de troca catiônica - CTC (**Tabela 2**).

**TABELA 2.** Caracterização química dos componentes utilizados para a montagem das UEs.

	Solo	Substrato comercial	Solo + Substrato comercial.	CPO	Solo + FES	FES
pH em CaCl <sub>2</sub> (s.u)	5,7	4,9	5,6	5,7	6,1	5,8
N Total (%)	1,75	1,40	2,80	1,05	1,75	1,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Total (%)	1,17	0,85	1,42	1,24	1,31	0,37
K <sub>2</sub> O Solúvel H <sub>2</sub> O (%)	0,01	0,09	0,03	0,90	0,06	2,45
Cálcio (%)	0,14	2,22	0,19	2,64	0,38	1,47
Magnésio (%)	0,03	0,27	0,05	0,71	0,14	0,77
Enxofre (%)	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,08
C. O.(%)	16,1	35,0	27,1	42,7	14,2	43,0
Boro (mg kg <sup>-1</sup> )	0,00	0,03	0,00	5,15	0,00	17,86
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	8,44	24,84	10,83	10,47	10,92	24,20

Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	66592,89	11714,81	52871,74	1637,0 7	43936,35	1252,25
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	55,37	294,09	93,10	77,42	50,23	84,50
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	9,05	36,06	10,23	30,24	10,58	28,15
CTC (mmol kg <sup>-1</sup> )	200	550	260	425	225	305

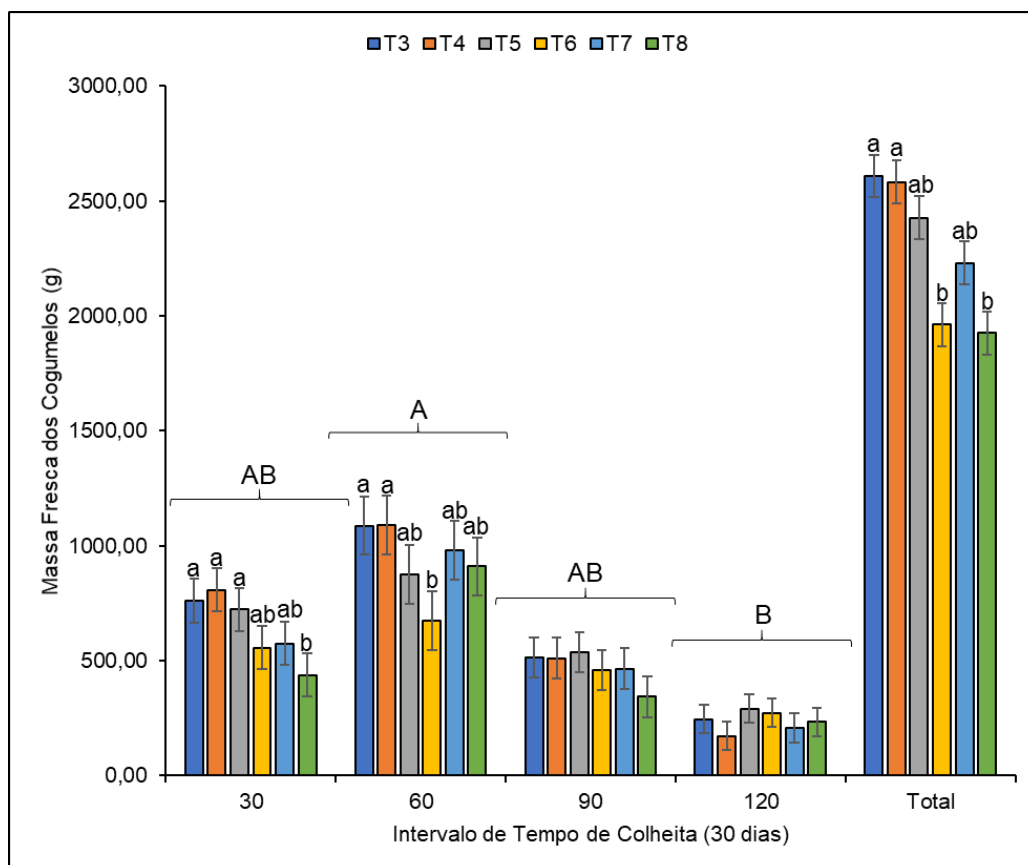
C.O - Carbono orgânico; CTC - capacidade de troca catiônica. CPO - Colonizado comercial com *Pleurotus ostreatus*; FES - substrato fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus*. Análises químicas realizadas pelo Laboratório Soloquímica - Brasília, DF.

O pH apresentado pelos componentes solo (5,7), solo + SC (5,6), CPO (5,7), Solo + FES (6,1), e FES (5,8) apresentou melhores resultados quando comparados ao pH do substrato comercial (4,9) isoladamente. As misturas dos substratos aos solos ocasionaram melhorias no pH para plantio e diminuição nos teores de micronutrientes como cobre, ferro, manganês, zinco e da CTC. A mistura de solo + substrato comercial proporcionou melhorias nas porcentagens de N Total e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Total (2,80%). Os FES apresentaram maior porcentagem de K<sub>2</sub>O solúvel em H<sub>2</sub>O (2,45%). Enquanto o CPO e o substrato comercial apresentaram porcentagem superiores de cálcio, com valores respectivos de 2,64% e 2,22%. O CPO e o FES apresentaram porcentagem superiores de magnésio (0,71% e 0,77%), C.O (42,7% e 43%) e Boro (5,15 mg kg<sup>-1</sup> e 17,86 mg kg<sup>-1</sup>). O substrato comercial e FES apresentou quantidades superiores de cobre, com valores respectivos de 24,84 mg kg<sup>-1</sup> e 24,20 mg kg<sup>-1</sup>. O solo e o substrato comercial apresentaram quantidades superiores de Ferro (66592,89 mg kg<sup>-1</sup> e 11714,81 mg kg<sup>-1</sup>). O substrato comercial apresentou maiores quantidades de manganês (294,09 mg kg<sup>-1</sup>), zinco (36,06 mg kg<sup>-1</sup>) e CTC (550 mmol kg<sup>-1</sup>) em relação aos demais componentes utilizados no experimento.

Segundo Vieira et al. (2019), a utilização de substratos podem incrementar positivamente os teores de macro, micronutrientes e regular a CTC quando misturados aos solos para cultivo; a utilização de FES pode manter por mais tempo o vigor das plantas cultivadas em casa de vegetação; o substrato a ser utilizado precisa apresentar um balanceamento adequado e pH que garanta a disponibilidade de nutrientes e o equilíbrio fisiológico das plantas.

#### **4.2 Produção média de massa fresca e número de cogumelos coletados no intervalo de tempo a cada 30 dias até 120 dias de cultivo**

A massa fresca dos cogumelos em cada unidade experimental (UE) variou ao longo do tempo de colheita, com diferenças estatísticas entre os tratamentos (**Figura 8**).



**Figura 8.** Massa fresca dos cogumelos por unidade experimental coletados no intervalo de tempo de 30 dias e total avaliado em até 120 dias. Letras acima dos colchetes indica a diferença entre os períodos de tempo avaliados. Letras minúsculas abaixo dos colchetes indicam diferenças entre os tratamentos avaliados dentro de um mesmo período de tempo. As letras iguais não diferem estatisticamente entre si. Análise estatística teste T LSD onde  $p < 0,05$

Aos 30 dias, os tratamentos T3 (761,54 g), T4 (808,37 g), T5 (722,37 g) foram estatisticamente semelhantes entre si, apresentando as maiores quantidades de massa fresca de cogumelos por unidade experimental, no intervalo de 30 dias de coleta de dados. Já os tratamentos T6 (557,46 g), T7 (575,27 g) e T8 (438,48 g) produziram menores quantidades de massa fresca de cogumelos por unidade experimental que diferiram estatisticamente dos tratamentos T3 (761,54 g) e T4 (808,37 g) e não diferiram estatisticamente do tratamento T5 (722,37 g).

Aos 60 dias, os tratamentos T3 (1087,85 g), T4 (1091,60 g), T5 (875,52 g), T7 (981,64 g) e T8 (909,84 g) foram estatisticamente semelhantes entre si, apresentando as maiores quantidades de massa fresca de cogumelos produzidos por unidade experimental. O tratamento T6 (673,65 g) produziu menores quantidades de massa fresca de cogumelos por unidade experimental que diferiu estatisticamente dos tratamentos T3 (1087,85 g), T4 (1091,60 g), T7 (981,64 g) e T8 (909,84 g) e não diferiu estatisticamente do tratamento T5 (875,52 g). Nesse

período houve uma maior produção de massa fresca de cogumelos em todos os tratamentos. Os tratamentos com co-cultivo T7 (981,64 g) e T8 (909,84 g) produziu quantidades de massa fresca de cogumelos semelhantes aos tratamentos controles T3 (1087,85 g), T4 (1091,60 g) e T5 (875,52 g).

Aos 90 dias, os tratamentos T3 (514,50 g), T4 (511,08 g), T5 (537,27 g), T6 (459,41 g), T7 (465,08 g) e T8 (343,45) foram estatisticamente semelhantes entre si. Nesse período há uma queda na produção de massa fresca de cogumelos em todos os tratamentos.

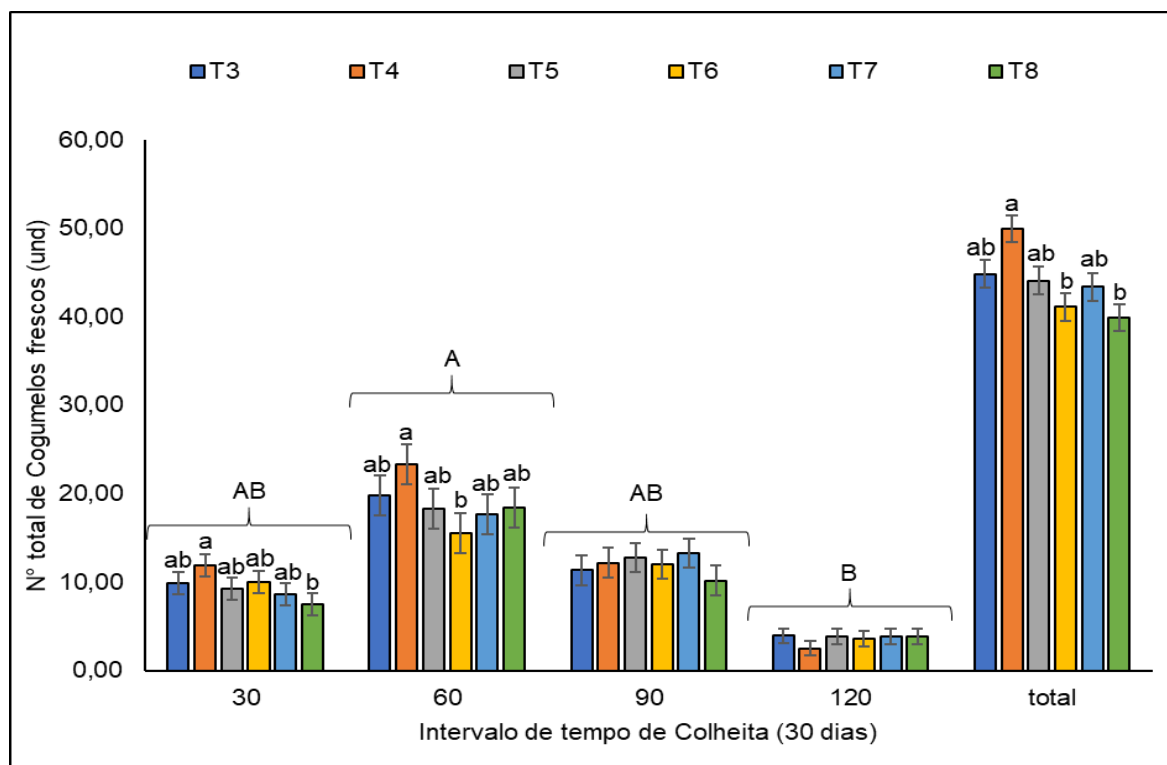
Aos 120 dias, os tratamentos T3 (245,61 g), T4 (171,08 g) e T5 (291,75 g) T6 (272,31 g), T7 (208,17 g) e T8 (233,40 g) foram estatisticamente semelhantes entre si. Nesse período há uma queda acentuada na quantidade de massa fresca de cogumelos em todos os tratamentos em relação ao período de 60 dias.

Foi observado que os tratamentos com co-cultivo T7 e T8 produziram massa fresca de cogumelos semelhantes aos tratamentos controles T3, T5 e T6 nos períodos de 60 e 90 e 120 dias. É possível observar também que há uma tendência de queda de produção de massa fresca cogumelos entre 90 e 120 dias em relação a produção de 60 dias. O aumento da massa fresca de cogumelos produzidos por unidade experimental entre esses períodos foi pequeno para a maioria dos tratamentos, indicando que a produção de cogumelos por unidade experimental começou a decrescer após 60 dias de cultivo, em casa de vegetação.

Também, foi percebido diferenças estatísticas na produção de massa fresca total durante 120 dias de cultivo, os tratamentos T6 (1962,83 g) e T8 (1925,27 g) produziram menores quantidades se diferenciando estatisticamente dos tratamentos T3 (2609,39 g) e T4 (2582,91 g). Os tratamentos T3 (2609,39 g), T4 (2582,91 g), T5 (2426,90 g) e T7 (2230,15 g) obtiveram as melhores produções totais e não se diferenciam estatisticamente entre si. Os tratamentos T5 (2426,90 g), T6 (1962,83 g), T7 (2230,15 g) e T8 (1925,27 g) apresentaram valores semelhantes entre si.

Steffen et al. (2023) encontrou valores similares de produção de cogumelos utilizando outras fontes de substratos orgânicos, que após os 60 dias de cultivo do shimeji é possível que os blocos continuem frutificando diminuindo o vigor e a sua frequência com o tempo. Urbem et al. (2017) também afirma que o ciclo produtivo do cogumelo dura aproximadamente 70 dias e que pode variar de acordo com cada área de produção. Corroborando com as informações, na pesquisa foi constatado que o modelo de cultivo nas UEs proporcionou colheitas de cogumelos viáveis até os 120 dias, porém em quantidades reduzidas e com menor vigor após os 60 dias de cultivo.

O segundo parâmetro analisado foi o número produzido de cogumelos frescos por unidade experimental a cada 30 dias, após a implementação do experimento na casa de vegetação (**Figura 9**), os dados foram avaliados em até 120 dias, período em que encerrou a produção dos cogumelos.



**Figura 9.** Número de cogumelos frescos coletados no intervalo de tempo de 30 dias por unidade experimental durante 120 dias. Letras acima dos colchetes, indica a diferença entre os períodos de tempo avaliados. Letras minúsculas abaixo dos colchetes indicam diferenças entre os tratamentos avaliados dentro de um mesmo período de tempo. As letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Análise estatística teste T LSD onde  $p < 0,05$ .

Aos 30 dias após o plantio, os tratamentos T3 (9,83 unds), T4 (11,92 unds), T5 (9,25 unds) e T6 (10 unds) foram estatisticamente semelhantes entre si, apresentando as maiores quantidades de cogumelos produzidos por unidade experimental no intervalo de 30 dias. Já os tratamentos T7 (8,58 unds) e T8 (7,5 unds) produziram menores quantidades de micélios por unidade experimental que diferiram estatisticamente do tratamento T4 (11,92 unds) e não diferiram estatisticamente dos demais. Nesse período há uma tendência de crescimento na quantidade produzida de cogumelos para o período de 60 dias.

Aos 60 dias, os tratamentos T3 (19,75 unds) e T4 (23,33 unds) foram estatisticamente semelhantes entre si, apresentando as maiores quantidades de cogumelos produzidos por

unidade experimental. Já os tratamentos T5 (18,25 unds), T7 (17,47 unds) e T8 (18,42 unds) foram estatisticamente semelhantes ao tratamento T3 (19,75 unds). O tratamento T6 (15,50 unds) produziu menores quantidades de cogumelos por unidade experimental que diferiram estatisticamente do tratamento T4 (11,92 unds) e não diferiram estatisticamente dos demais. Nesse período houve uma maior produção de cogumelos em todos os tratamentos no período de 30 dias de coleta de dados. Os tratamentos com co-cultivo T7 (17,47 unds) e T8 (18,42 unds) produziram quantidades de cogumelos semelhantes aos tratamentos controles T3 (19,75 unds), T5 (18,25 unds) e T6 (15,50 unds).

Aos 90 dias, os tratamentos T3 (11,33 unds), T4 (12,17 unds) e T5 (12,75 unds) T6 (12 unds), T7 (13,25 unds) e T8 (10,17 unds) foram estatisticamente semelhantes entre si. Nesse período há uma queda na produção de número de cogumelos em todos os tratamentos, no período de 30 dias de dados coletados.

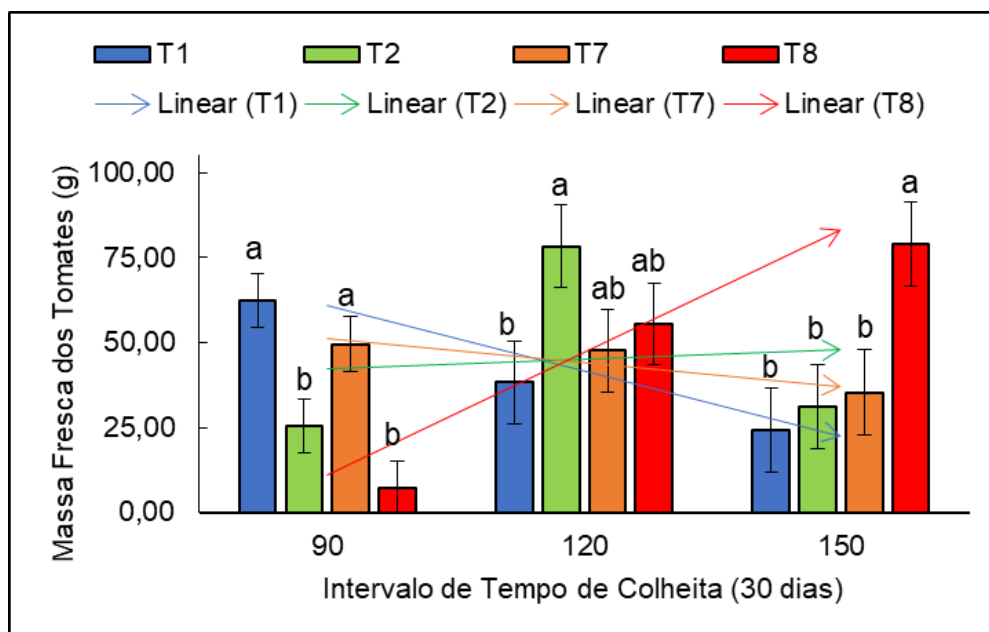
Aos 120 dias, os tratamentos T3 (3,92 unds), T4 (2,50 unds) e T5 (3,83 unds) T6 (3,58 unds), T7 (3,83 unds) e T8 (3,83 unds) foram estatisticamente semelhantes entre si. Nesse período há uma queda na produção de número de cogumelos em todos os tratamentos, no período de 30 dias de dados coletados.

Dessa forma, observa-se que os tratamentos com co-cultivo T7 e T8 produziram números de cogumelos semelhantes aos tratamentos controles T3, T5 e T6 ao no período de 30, 60 e 90 e 120 dias.

Adicionalmente, é possível observar que há uma tendência de queda no número de cogumelos totais produzidos entre 90 e 120 dias. O aumento no número de cogumelos frescos produzidos por unidade experimental no período citado foi menor para a maioria dos tratamentos, indicando que a produção de cogumelos por unidade experimental já estava em decréscimo após os 60 dias.

#### **4.3 Produção média de massa fresca total e número de frutos de tomate por planta, coletados no intervalo de 30 dias ao longo de 150 dias**

Quanto à massa dos tomates por planta foi possível observar que houve diferenças nas quantidades a cada 30 dias, por UE e entre os tratamentos avaliados, como apresentado na **Figura 10**.



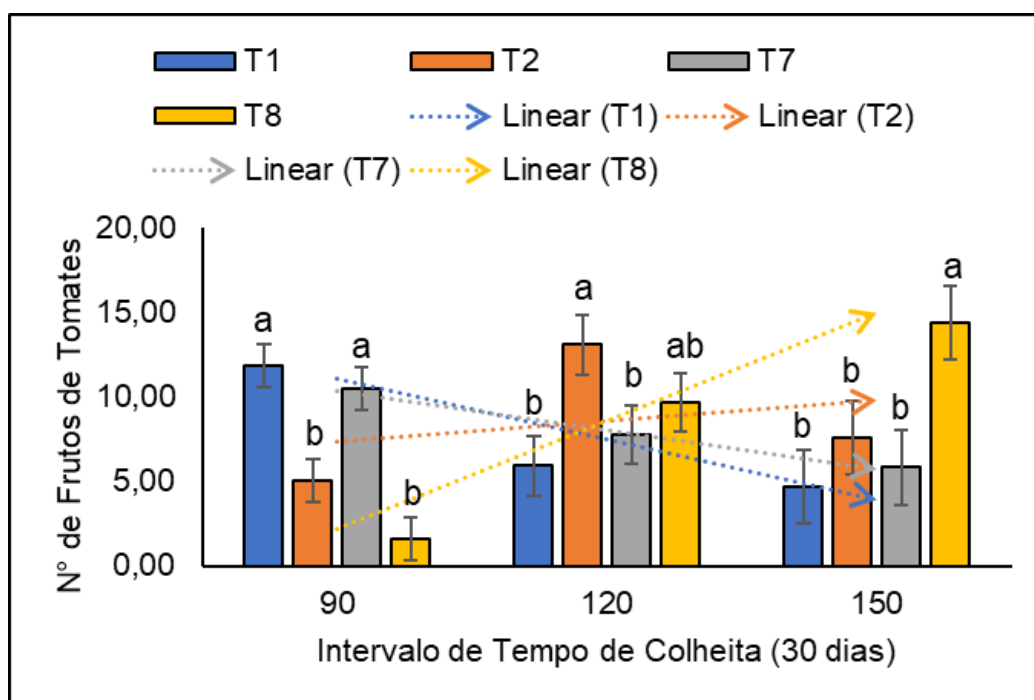
**Figura 10.** Massa fresca total dos frutos de tomate produzidos por planta ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação. As letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Análise estatística teste T LSD onde  $p < 0,05$ .

Aos 90 dias de experimento na casa de vegetação, os tratamentos T1 e T7 obtiveram as maiores massas, com valores de 62,39 g e 49,5 g, respectivamente, e diferiram estatisticamente dos tratamentos T2 e T8, que apresentaram os menores valores, com 25,4 g e 7,05 g, respectivamente.

Aos 120 dias, os tratamentos T1, T7 e T8 apresentaram massas totais estatisticamente semelhantes, com valores de 38,62 g, 47,58 g e 55,43 g, respectivamente, enquanto o tratamento T2 obteve uma massa significativamente inferior, com 25,4 g.

Aos 150 dias, o tratamento T8 apresentou a maior massa, com valor de 79,09 g, que foi estatisticamente superior aos valores observados nos tratamentos T1, T2 e T7 com valores de 24,16 g, 31,25 g e 35,36 g. Foi observado um aumento significativo na massa do tratamento T8 ao longo do tempo, com diferenças estatísticas aos 150 dias de experimento. No entanto, aos 150 dias de experimento em casa de vegetação as plantas já apresentam senescência, sugerindo que a avaliação dos tratamentos poderia ser concluída nesse período sem perdas significativas na interpretação dos resultados.

O número de frutos total por planta ao longo do tempo apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos, dados apresentados na **Figura 11**.



**Figura 11.** Número de frutos total de tomates por planta produzidos a cada 30 dias, ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação. As letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Análise estatística teste T LSD onde  $p < 0,05$ .

Aos 90 dias de experimento em casa de vegetação, os tratamentos T1 e T7 apresentaram as maiores quantidades de números de frutos por planta, com médias de 11,3 e 10,5 unidades, respectivamente, enquanto os tratamentos T2 e T8 obtiveram os menores valores, com 5,08 e 1,58 unidades, respectivamente, sendo este último significativamente inferior aos demais.

Aos 120 dias, os tratamentos T2 e T8 apresentaram quantidades de números de frutos por planta estatisticamente semelhantes, com médias de 13,58 e 9,67 unidades, respectivamente, enquanto o tratamento T1 obteve uma quantidade inferior, com 5,92 unidades por planta não se diferenciando estatisticamente do tratamento T7 que obteve média de 7,75 unidades por planta.

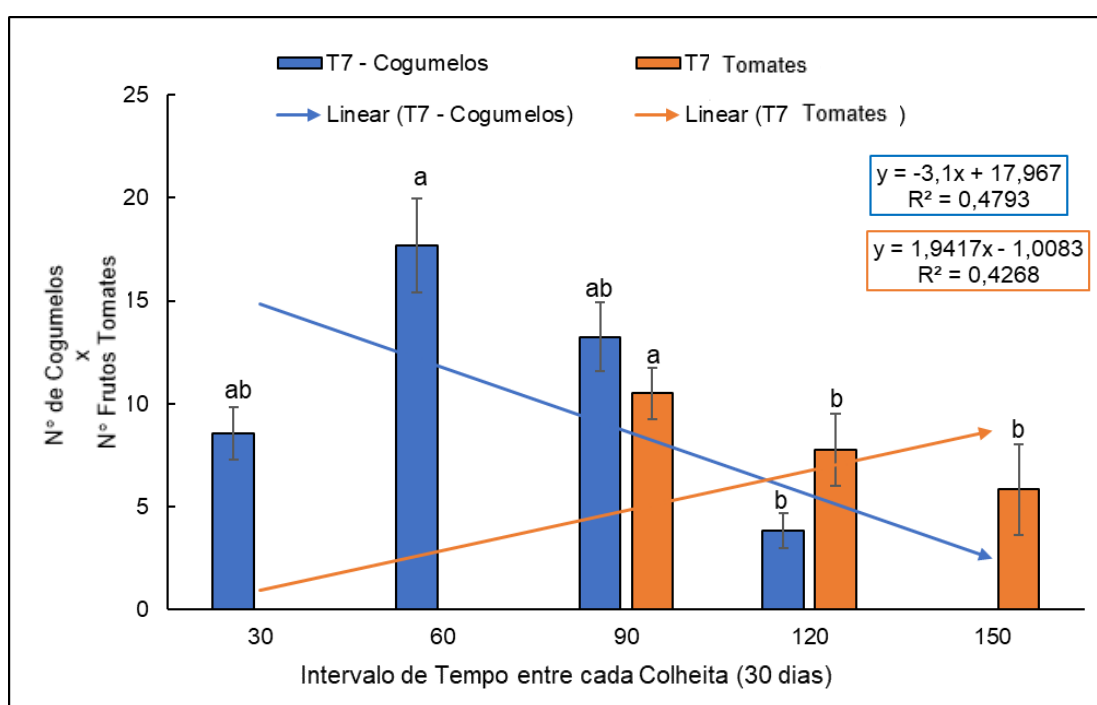
Aos 150 dias de experimento em casa de vegetação, observou-se um aumento na quantidade de número de frutos por planta no tratamento T8 que apresentou o maior valor, com 14,42 unidades. Os tratamentos T1, T2 e T7 apresentaram quantidades semelhantes, com 4,67, 7,58 e 5,83 unidades, respectivamente. O número de frutos por planta aumentou significativamente do período de 90 para 120 dias, mas a partir dos 120 até 150 dias houve uma tendência de estabilização para os tratamentos T1 e T7, de decréscimo para o tratamento T2 e de aumento para o tratamento T8, indicando que a extensão do experimento para além de 150

dias de experimento poderia não trazer acréscimos expressivos na produção para a maioria dos tratamentos.

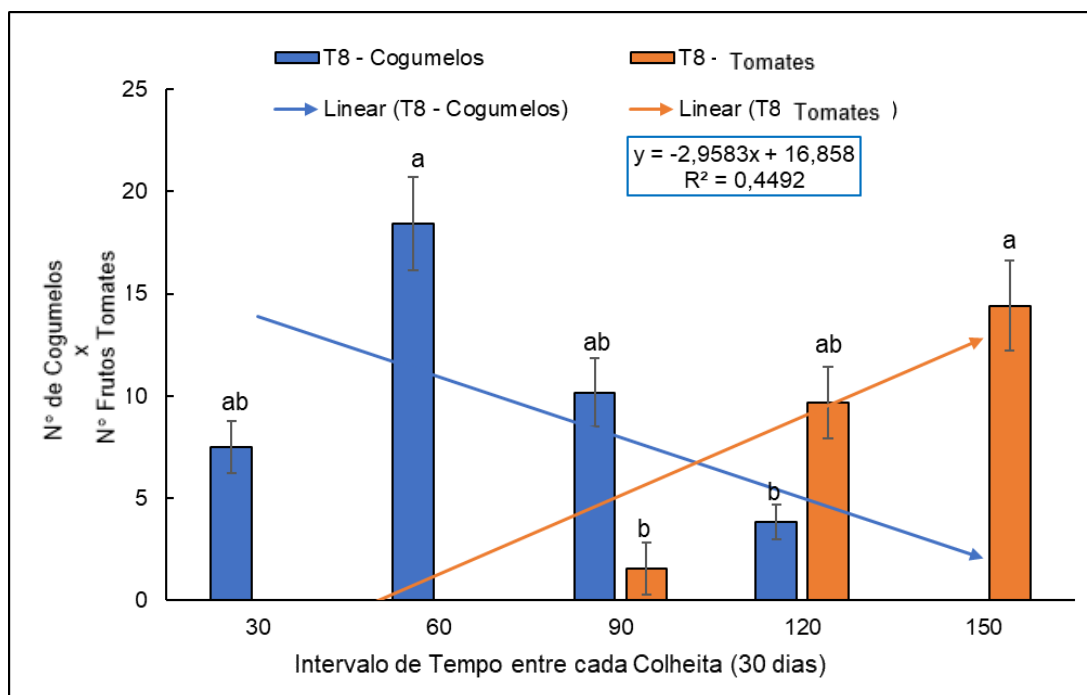
Corroborando com os resultados, Soldateli et al. (2019), utilizando diferentes substratos orgânicos em casa de vegetação no cultivo do tomate cereja chegou a uma produção média de 2 a 16 frutos de tomate por planta com massa fresca entre 4 a 6,59 g por unidade.

#### 4.4 Comparativo da produção média de número de cogumelos e frutos de tomate dos tratamentos com co-cultivo T7 e T8, coletados no intervalo de 30 dias ao longo do tempo até 150 dias de experimento em casa de vegetação

A produção de cogumelos e frutos de tomates dos tratamentos com co-cultivo T7 e T8 ocorreram em tempos diferentes após a implementação do experimento em casa de vegetação (**Figura 12 e Figura 13**). No dia 27 de setembro iniciou-se a primeira colheita de cogumelos e no dia 27 de novembro a primeira colheita de frutos de tomate, conferindo assim uma produção contínua até 150 dias de cultivo.



**Figura 12.** Número de cogumelos e frutos de tomates por planta, do tratamento T7, produzidos ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação. As letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Análise estatística teste T LSD onde  $p < 0,05$ .



**Figura 13.** Número de cogumelos e frutos de tomates por planta, do tratamento T8, produzidos ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação. As letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Análise estatística teste T LSD onde  $p < 0,05$ .

Aos 30 e 60 dias após a implementação do experimento em casa de vegetação houve predominância de produção de cogumelos enquanto as mudas de tomates estavam no estágio vegetativo em crescimento. Aos 60 dias, para ambos os tratamentos com co-cultivos os cogumelos atingiram sua máxima produção e após é observada queda no número de cogumelos produzidos.

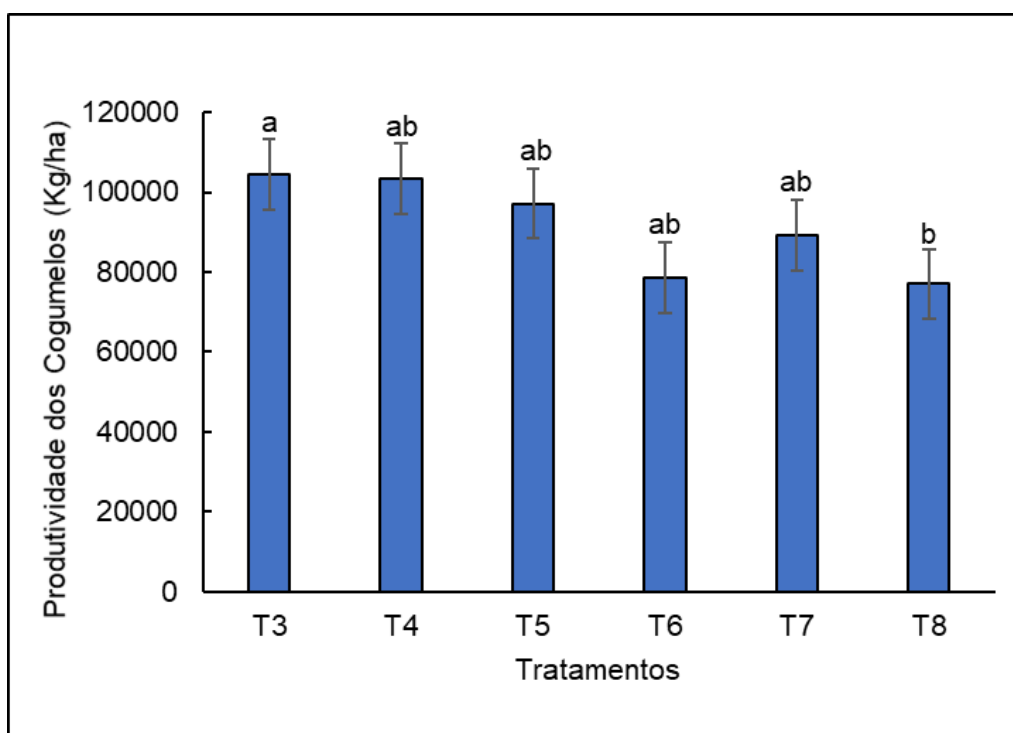
Aos 90 e 120 dias houve uma queda expressiva na produção de números de cogumelos para ambos os tratamentos T7 e T8 e iniciou-se as colheitas dos tomates. Nessas datas houve colheita de cogumelos e frutos de tomates conjuntamente. No período de 90 dias o tratamento T7 obteve sua maior produção de frutos de tomate e no período de 120 dias os cogumelos pararam sua produção.

Aos 150 dias, houve aumento na produção de números de frutos de tomate para o tratamento T8 e diminuição na produção de números de frutos de tomate para o tratamento T7 em relação à produção no período anterior de 120 dias.

O ponto de encontro das retas de produção de números de cogumelos e produção de números de frutos de tomate no tratamento T7 e no tratamento T8 foram diferentes. No T8 o encontro das retas aconteceu próximo aos 90 dias produção e no T7 o encontro aconteceu próximo dos 120 dias.

#### 4.5. Produtividade dos cogumelos e tomates em kg ha<sup>-1</sup>

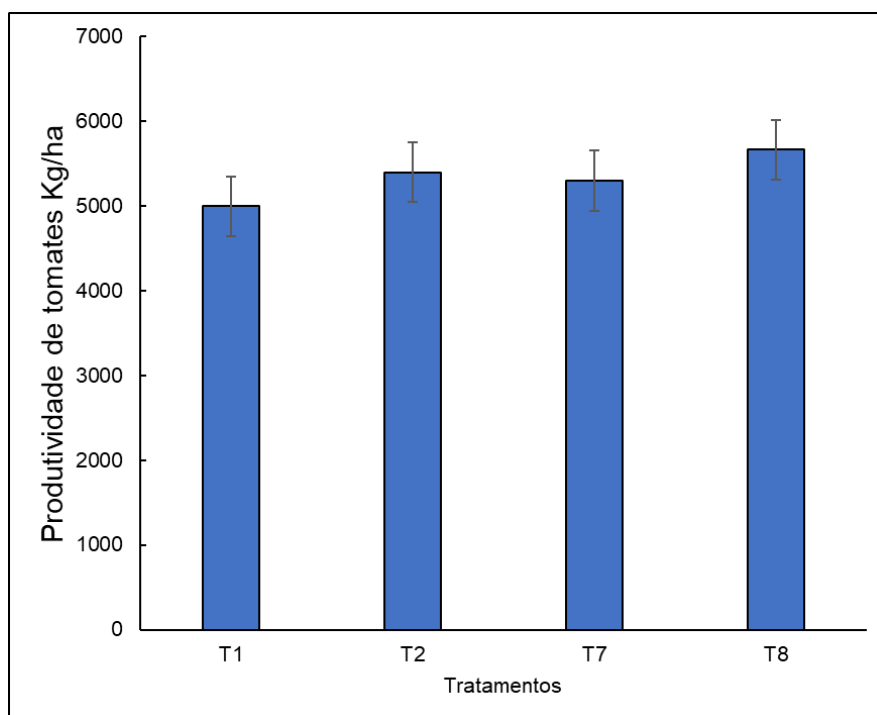
Aos 150 dias de experimento em casa de vegetação, observou-se uma alta produtividade de cogumelos. Os tratamentos T3, T4 e T5, T6 e T7 apresentaram quantidades semelhantes, com 104.375,7 kg ha<sup>-1</sup>, 103.316,2 kg ha<sup>-1</sup>, 97.076,1 kg ha<sup>-1</sup>, 78.513,2 kg ha<sup>-1</sup>, 89.206,1 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O tratamento T3 obteve a maior produtividade com 104375,7 kg ha<sup>-1</sup> e o tratamento T8 a menor com 77.010,7 kg ha<sup>-1</sup>, como apresentado na **Figura 14**.



**Figura 14.** Produtividade média total em kg/ha de cogumelos produzidos ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação. As letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Análise estatística teste T LSD onde  $p < 0,05$ .

Steffen et al. (2023) encontrou valores similares de produtividade de cogumelos utilizando outras fontes de substratos orgânicos. Segundo Steffen et al. (2020), a produtividade de cogumelos frescos pode ser estimada com base na massa úmida do substrato, sendo que a maioria dos substratos proporciona produção de cogumelos frescos na faixa de 20% da massa úmida do substrato utilizado, e cada unidade de produção com 1 kg de substrato úmido produzirá aproximadamente 200 gramas de cogumelos frescos durante o ciclo produtivo de 60 dias. Também afirma que um produtor em uma sala de 12 metros quadrados com capacidade média para 600 kg de substrato, ao final de 60 dias de cultivo terão sido produzidos em torno de 120 kg de cogumelos frescos.

Com relação à produtividade de tomate em  $\text{kg ha}^{-1}$  e os tratamentos T1, T2, T7 e T8 apresentaram quantidades que foram semelhantes entre si, não apresentando diferenças estáticas, cujo valores respectivos foram  $4.997 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $5.399 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $5.299 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $5.663 \text{ kg ha}^{-1}$ , como apresentado na **Figura 15**. Corroborando com os resultados, Soldateli et al. (2019) utilizando diferentes substratos orgânicos em casa de vegetação no cultivo do tomate cereja chegou a produtividade de até  $6.000 \text{ kg ha}^{-1}$ .



**Figura 15.** Produtividade média total em  $\text{kg/ha}$  de tomate produzido ao longo de 150 dias de experimento em casa de vegetação. As letras iguais não diferem entre si estatisticamente. Análise estatística teste T LSD onde  $p < 0,05$ .

#### 4.6 Avaliação e caracterização dos cogumelos e frutos de tomates

A composição química das amostras de cogumelos e frutos de tomate foi realizada por meio do perfil nutricional e análise bromatológica completa (parâmetros de umidade e voláteis, proteína bruta, matéria mineral, extrato etéreo e carboidratos livres, incluindo lactose, sacarose, rafinose, maltose, glicose, frutose, galactose e xilose. Para avaliar as amostras nutricionalmente e sua biofortificação, foram determinados nitrogênio total, macro e micronutrientes como fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e selênio (Tabela 3 e 4). Além disso, investigou-se a segurança das amostras de cogumelos, a fim de garantir a sua qualidade e a ausência de metais pesados tais como chumbo, cádmio, mercúrio e arsênio (Tabela 3).

#### 4.6.1 Avaliação nutricional e caracterização dos cogumelos

Os parâmetros analisados das amostras de cogumelos foram a composição e caracterização nutricional completa, correlacionando os compostos bioativos e de qualidades funcionais de cada UE e a sua segurança alimentar, a fim de garantir a sua qualidade e a ausência de metais pesados (**Tabela 3**).

**TABELA 3.** Composição, caracterização nutricional e segurança das amostras de cogumelos de cada UE.

Ensaio	Incerteza (média)	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Umidade e Voláteis (%)	±1,02	10,35	9,57	10,33	10,12	9,66	9,43
Proteína bruta (%)	±1,675	25,82	26,48	26,37	26,03	27,64	25,26
Extrato etéreo (%)	±0,38167	1,92	0,83	1,95	1,15	1,02	0,61
Nitrogênio (%)	-	4,13	4,24	4,22	4,16	4,42	4,04
Matéria Mineral (%)	±0,77833	8,83	9,15	8,39	8,72	8,33	8,94
Cálcio (%)	±0,1,87	30,26	0,01	19	19,53	35,16	0,01
Fósforo (%)	±0,24167	1,01	1,05	1,04	1,04	1,07	1,05
Potássio (%)	±0,61667	4,00	4,01	3,96	3,83	3,82	4,02
Magnésio (%)	±0,04	0,18	0,19	0,17	0,18	0,18	0,18
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	±39,395	118,17	122,83	118,63	118,28	165,27	206,34
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	±8,51167	29,38	47,48	57,77	31,67	33,41	32,53
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	±14,2917	79,17	80,56	78,37	80,22	99,12	82,44
Selênio (mg kg <sup>-1</sup> )	-	0,21	0,22	0,17	0,20	0,08	0,13
Glicose Livre (%)	-	1,46	1,43	1,77	0,57	1,74	1,10
Frutose Livre (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Sacarose (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lactose (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Rafinose (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Maltose (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Galactose Livre (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Xilose Livre (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Soma dos Carboidratos Livres (%)	-	1,46	1,43	1,77	0,57	1,74	1,10
<b>Segurança Alimentar</b>							
Arsênio (mg kg <sup>-1</sup> )	±0,1	0,11	0,21	0,10	0,18	0,11	0,26
Cádmio (mg kg <sup>-1</sup> ) (LQ)	±0,176	0,36	0,30	0,27	0,27	0,28	<0,02
Chumbo (mg kg <sup>-1</sup> ) (LQ)	-	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Mercúrio (mcg kg <sup>-1</sup> )	±13,0017	30,18	30,62	55,81	61,12	26,70	56,95

T3 - Monocultivo de cogumelo, solo com substrato comercial e com adubação; T4 - Monocultivo de cogumelo, solo com substrato comercial e sem adubação; T5 - Monocultivo de cogumelo, solo com substrato de fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* e com adubação; T6- Monocultivo de cogumelo, solo com substrato de fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* e sem adubação T7 - Co-Cultivo de tomate e cogumelo, solo com substrato comercial e com adubação; T8 - Co-cultivo de tomate e cogumelo, solo com substrato fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* e com adubação. LQ= Limite de Quantificação. Ensaios realizados nas instalações do laboratório CBO e em laboratórios parceiros.

Na avaliação do perfil nutricional completo das amostras de cogumelos, observou-se que todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes de proteína bruta, com média em torno de 25%. Também foram encontrados teores próximos para os macronutrientes nitrogênio (4%), fósforo (1%), potássio (3,8%) e magnésio (0,17%). Os tratamentos T3 (30,26%) e T7 (35,16%) destacaram-se com os maiores teores de cálcio. Quanto ao ferro, os tratamentos com co-cultivo T7 e T8 apresentaram os maiores valores, com 165,27 mg kg<sup>-1</sup> e 206,34 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Os maiores teores de cobre foram observados nos tratamentos T4 (47,48 mg kg<sup>-1</sup>) e T5 (57,77 mg kg<sup>-1</sup>). O tratamento T7 apresentou maior concentração de zinco (99,12 mg kg<sup>-1</sup>), porém o menor teor de selênio (0,08 mg kg<sup>-1</sup>) entre todos os tratamentos. Por fim, o tratamento T6 apresentou o menor teor de glicose livre e de soma de carboidratos livres, com 0,57%.

Em relação à segurança do alimento, todos os tratamentos com cogumelos apresentaram presença de metais pesados em sua composição. O tratamento T8 destacou-se por apresentar a maior concentração de arsênio com 0,26 mg kg<sup>-1</sup>. Já os tratamentos T5, T6 e T8 apresentaram os maiores teores de mercúrio, com valores 55,81 mcg kg<sup>-1</sup>, 61,12 mcg kg<sup>-1</sup> e 56,95 mcg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A Resolução ANVISA/DC N° 88 DE 29/06/2016, estabelece níveis de metais pesados em amostras de produtos alimentícios: 50 mg kg<sup>-1</sup> para soma dos teores de cobre e zinco; 25 mg kg<sup>-1</sup> de zinco; 3 mg kg<sup>-1</sup> de arsênio; 10 mg kg<sup>-1</sup> de chumbo; 2 mg kg<sup>-1</sup> de mercúrio e 2 mg kg<sup>-1</sup> de cádmio. Sendo assim, todos os tratamentos apresentaram níveis aceitáveis de arsênio, chumbo, cádmio e mercúrio, já os teores da soma de cobre e zinco das amostras de cogumelos dos tratamentos T1, T2, T7 e T8 foram superiores aos exigidos pela normativa.

Assim, é preciso de maior atenção na aplicação de soluções com cobre no controle fúngico de doenças do tomateiro, para que o cogumelo não apresente doses superiores permitido pela legislação vigente. Caso haja necessidade de aplicação de calda bordalesa para que se resolva o desbalanço nutricional é sugerido que se reduza da solução de micronutrientes o teor de cobre e zinco da fertirrigação.

#### 4.6.2 Avaliação nutricional e caracterização dos frutos de tomate

Outro parâmetro analisado foi a composição e caracterização nutricional completa, correlacionando os compostos bioativos e de qualidades funcionais das amostras com frutos de tomate de cada UE (TABELA 4).

**TABELA 4.** Composição e caracterização nutricional das amostras de tomates de cada UE.

Ensaio	Incerteza (média)	T1	T2	T7	T8
Umidade e Voláteis (%)	±1,3025	14,93	15,57	14,31	13,78
Proteína bruta (%)	±0,8175	6,17	9,51	7,51	7,92
Extrato etéreo (%)	±0,7925	3,28	3,99	4,21	4,32
Nitrogênio (%)	-	0,99	1,52	1,20	1,27
Beta Caroteno (mg kg <sup>-1</sup> )	-	37,74	37,53	41,93	36,17
Matéria Mineral (%)	±0,71	5,01	5,56	6,57	6,25
Cálcio (%)	±0,02	0,09	0,09	0,09	0,12
Fósforo (%)	±0,0725	0,28	0,32	0,29	0,28
Potássio (%)	±0,51	2,63	2,68	2,87	2,49
Magnésio (%)	±0,03	0,14	0,16	0,14	0,15
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	±8,9425	38,65	30,83	38,88	38,62
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )	±4,97	10,79	10,30	10,95	9,69
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	±11,0875	37,94	29,23	31,96	27,94
Selênio (mg kg <sup>-1</sup> )	-	0,04	0,06	0,07	0,07
Vitamina A (UI/g) (LQ)	-	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Vitamina E (Alfatocoferol) (mg kg <sup>-1</sup> )	-	145,33	156,07	120,25	133,19
Vitamina E (Betatocoferol) (mg kg <sup>-1</sup> )	-	2,03	1,96	1,68	1,58
Vitamina E (Deltatocoferol) (mg kg <sup>-1</sup> )	-	1,82	3,17	2,21	2,60
Vitamina E (Gamatocoferol) (mg kg <sup>-1</sup> )	-	45,58	65,52	55,31	57,15
Tocoferóis Totais (mg kg <sup>-1</sup> )	-	194,76	226,72	179,45	194,52
Vitamina C (Ácido Ascórbico) (mg kg <sup>-1</sup> )	±996,46	3318,15	3035,42	3039,15	2955,43
Glicose livre (%)	-	10,73	17,23	18,88	19,90
Frutose livre (%)	-	13,05	21,88	24,20	25,52
Sacarose (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Lactose (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Rafinose (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Maltose (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Galactose Livre (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Xilose Livre (%) (LQ)	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Soma dos Carboidratos Livres (%)	-	23,78	39,11	43,08	45,42

T1 - Monocultivo de tomate sem adubação; T2 - Monocultivo de tomate com adubação; T7 - Co-Cultivo de tomate e cogumelo, solo com substrato comercial e com adubação; T8 - Co-cultivo de tomate e cogumelo, solo com

substrato fermentado a base de *Flavodon flavus* e *Panus neostrigosus* e com adubação. LQ= Limite de Quantificação. Ensaio realizado nas instalações do laboratório CBO Análises Laboratoriais Ltda e em laboratórios parceiros - São Paulo.

Na avaliação do perfil nutricional das amostras de tomate, o tratamento T2 apresentou maior teor de proteína bruta com 9,51%, superando os teores dos tratamentos T1 com 6,17%, T7 com 7,51% e T8 com 7,92%.

Todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes para os principais macronutrientes e minerais, com teores aproximados de 1% para o nitrogênio, 0,28% de fósforo, 2,49% de potássio, 5% de matéria mineral, 0,9% de cálcio, 0,14% de magnésio, 30% de ferro e 9% de cobre.

Em relação aos compostos bioativos, o tratamento T7 apresentou o maior teor de betacaroteno (41,93%), seguido por T1 (37,74%), T2 (37,53%) e T8 (36,17%). T1 (37,94%) e T7 (31,96%) destacaram-se com os maiores teores de zinco, enquanto T2 (29,23%) e T8 (27,94%) apresentaram valores mais baixos. Quanto ao selênio, os tratamentos com co-cultivos T7 e T8 apresentaram os maiores. Os tratamentos com co-cultivos T7 (0,07%) e T8 (0,07%) apresentaram maiores quantidades de selênio em relação aos outros tratamentos T1 (0,04%) e T2 (0,06%).

O tratamento T2 apresentou maior quantidade de Vitamina E (Alfatocopherol) com 156,07 mg kg<sup>-1</sup>, Vitamina E (Deltatocopherol) com 3,17 mg kg<sup>-1</sup>, Vitamina E (Gamatocopherol) com 65,52 mg kg<sup>-1</sup> e Tocoferóis Totais com 226,72 mg kg<sup>-1</sup> em relação aos outros tratamentos. Os tratamentos T7 e T8 apresentaram maiores porcentagens de glicose, frutose e soma de carboidratos livres em comparação aos tratamentos T1 e T2.

A Resolução ANVISA/DC Nº 88 DE 29/06/2016 estabelece níveis de metais como cobre e zinco em amostras de produtos alimentícios e a soma dos teores de cobre e zinco não pode ultrapassar 50 mg kg<sup>-1</sup>. Sendo assim, os teores de cobre e zinco das amostras de tomate dos tratamentos T1, T2, T7 e T8 se enquadram nos teores exigidos pela normativa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, observa-se que os tratamentos com co-cultivo T7 e T8 produziram cogumelos e frutos de tomates viáveis e semelhantes aos tratamentos controles no período de 150 dias de análise. Houve uma pequena tendência de melhor produção e produtividade de tomate e cogumelo no tratamento T7 composto por solo e substrato comercial em relação ao tratamento T8 composto de solo com mistura de fermentados em estado sólido. Não foi

observada contaminação por metais pesados nos tomates e cogumelos, porém é preciso cuidado na aplicação de soluções com cobre no controle fúngico de doenças do tomateiro, para que o cogumelo não apresente doses superiores permitido pela legislação vigente. Caso haja necessidade de aplicação de calda bordalesa, para que se resolva o desbalanço nutricional de cobre, é sugerido que se reduza da solução de micronutrientes da fertirrigação os teores de cobre e zinco. Observou-se que existe potencial para o co-cultivo e que é preciso aprimorar a técnica e sua aplicação para melhores resultados.

A adubação não foi um fator que aumentou ou estendeu a produção de cogumelos, uma vez que tratamentos sem adubação produziram cogumelos viáveis no mesmo intervalo de tempo que os tratamentos com adubação, mas a adubação foi fundamental para o desempenho das plantas de tomate. Cabe acrescentar que o estímulo de múltiplos cultivos em um mesmo espaço pode atender nicho de mercado diferenciado e que pode se refletir em maior segurança para o produtor.

O manejo adotado para controle de doenças, como as ocasionadas por oídio, permitido pela legislação de orgânico (com a utilização das técnicas fornecidas pelas fichas agroecológicas de número 12 e 13 do MAPA (solução a base leite, bicarbonato de sódio e água) e a ficha agroecológica de número 1 (solução de calda bordalesa), com aplicações semanais, após os 60 dias da implantação do experimento em casa de vegetação, foram fatores determinantes para a recuperação das plantas do tratamento T8 que respondeu com crescimento e produção de frutos até a estabilização da produção.

O co-cultivo, em especial, entre o tomateiro e *Pleurotus ostreatus*, enfrenta desafios como: as exigências nutricionais diferentes; o manejo diferenciado das duas culturas; umidade; temperatura e luz. Apesar disso, com planejamento adequado e uma montagem cuidadosa dos cultivos, é possível atender as necessidades de ambas as culturas, o que pode se refletir na produção e produtividade.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSORÇÃO ATÔMICA - 1-Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v.1: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4ed. Brasília. 2005. p.740.2 - Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists.14 ed. p.164, 1984.

AGIUS, C.; TUCHERB, S.V.; POPPENBERGERA, B.; ROZHONA, W. **Quantification of sugars and organic acids in tomato fruits**. MétodosX, Volume 5, Páginas 537-550. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.05.014>, 2018.

ALMEIDA, L. T. Economia verde: a reiteração de ideias à espera de ações. **Estudos Avançados**, v.26, n.74, p.93-103, 2012.

American Oil Chemists Society. 2017. AOCS. Oficial Procedure. Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction. Am 5-04. p. 1-4.; ANKOM Technology Method 12-12-05.; **Compêndio Brasileiro de Nutrição Animal**. Guia de Métodos Analíticos. Método n. 12 p.75-77, 2017.

ANDLAR, M. et al. Lignocellulose degradation by *Pleurotus ostreatus*: Enzyme production and applications. **Biotechnology Advances**, 36(4), 1071-1085 , 2018.

ANDLAR, M.; REZIC, T.; MARĐETKO, N.; KRACHER, D.; LUDWIG, R.; ŠANTEK, B. Lignocellulose degradation: An overview of fungi and fungal enzymes involved in lignocellulose degradation. **Eng Life Sci**. 18(11):768–778. doi: 10.1002/elsc.201800039, 2018.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analyses of Chemists. AOAC Official Method 965. **Phosphorus in Animal Feed and Pet Food**. 21 ed. 2019. Ch.4. p.69 48.14. Regulamento (CE) no. 152/2009. Comissão de 27 de janeiro de 2009 de Fósforo Total - Método Fotométrico L54/55, 2009.

ATIWESH, G. et al. Sustainable valorization of agro-industrial waste using white-rot fungi. **Waste Management**, 140, 45-58, 2022.

ATIWESH, G.; PARRISH, C.C.; BANOUB, J.; LE, T.T. Lignin degradation by microorganisms: A review. **Biotechnol Prog**. 38(2):e3226. doi: 10.1002/btpr.3226, 2022.

BANU, JR; KAVITHA, S.; TYAGI, V.K; GUNASEKARAN, M.; KARTHIKEYAN, O.P.; KUMAR, G. Lignocellulosic biomass based biorefinery: A successful platform towards circular bioeconomy. **Fuel**. 302:121086. doi: 10.1016/j.fuel.2021.121086, 2021

BAPTISTA, F.; ALMEIDA, M.; PAIÉ-RIBEIRO, J.; BARROS, AN; RODRIGUES, M. **Unlocking the potential of spent mushroom substrate (SMS) for enhanced agricultural sustainability: from environmental benefits to poultry nutrition**. 2023, 13, 1948. <https://doi.org/10.3390/life13101948>

BAPTISTA, P. et al. Global trends in mushroom production and their nutritional benefits. **Journal of Fungi**, 9(2), 123-135, 2023.

BLANCHETTE, R. A. Wood decomposition by *Phellinus* (Fomes) pini: A scanning electron microscopy study, **Canadian Journal of Botany** (Can J Bot). 58(13):1496- 1503, 1980

BLASI, A.; VERARDI, A.; LOPRESTO, C.G.; SICILIANO, S.; SANGIORGIO, P. Lignocellulosic agricultural waste valorization to obtain valuable products: An overview. **Recycling**, 8(4):61. doi: 10.3390/recycling8040061, 2023.

BRITO JÚNIOR, F.P. **Produção de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) reutilizando substratos sob cultivo protegido no município de Iraduba-AM**. Dissertação em parcerias com Poder Executivo, Ministério da Educação, Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical. Pgs. 5 a 16, 2012.

CARMO, D.L.; SILVA, C.A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.4, p.1211-1220,. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015>, 2012

CARVALHO, J.L. E PAGLIUCA, L.G. Tomate: Um mercado que não para de crescer globalmente. **Revista Hortifruti Brasil**, vol. 58, p. 6-14, 2007

COHEN, R., PERSKY, L., & HADAR, Y. Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 58(5), 582-594, 2002.

Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. **Métodos Analíticos**. 4ed. Sindirações. Método no. 40. p.180-185, 2017.

Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. **Métodos Analíticos**. 5ed., São Paulo: Sindirações. Método no45. p. 204-206. 2017.

Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. **Métodos Analíticos**. Métodos Físico-Químicos n. 5 p. 42-43 – modificado, 2017.

Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal. **Métodos Analíticos**. Método n.53. p.247-248, 2017.

COWLING, E.B. Comparative biochemistry of the decay of sweetgum by white rot fungi and brown rot fungi. (Washington, USA: USDA), 1961

DHIMAN, S. et al. Bioremediation potential of *Pleurotus ostreatus* in agro-industrial waste management. **Environmental Science and Pollution Research**, 31(4), 5678-5690, 2024.

DHIMAN, S.; KAUR, P.; NARANG, J.; MUKHERJEE, B.; THAKUR, B.; KAUR, S. **Fungal bioprocessing for circular bioeconomy: Exploring lignocellulosic waste valorization**. <https://doi.org/10.1080/21501203.2024.2316824>, 2024

DINIZ, E. M. E BERMANN, C. Economia verde e sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v.26, n.74, p.323-9, 2012

EFFIONG, M.E.; UMEOKWOCHI, C.P.; AFOLABI, I.S.; CHINEDU, S.N. Assessing the nutritional quality of *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom). **Front Nutr.** doi: 10.3389/fnut.2023.1279208, 2024.

EIRA, A.F. Fungos comestíveis. In: Espósito, E.; Azevedo, J.L. (Ed.). **Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia**. Caxias do Sul: Educs, 510p. Capítulo 12, 2004.

EIRA, A.F.; MINHONI, M. T. A. **Manual teórico-prático do cultivo de cogumelos comestíveis**. Botucatu: Fundação de Pesquisa Agropecuária e Florestais, 75p., 1997.

Embrapa Hortaliças. **BRS Zamir: tomate híbrido cereja 'grape' rico em licopeno**. Folder. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2016.

ERIKSSON, KL; ROBERT, B.; PAUL, A. **Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components**; Springer: Berlim/Heidelberg, Alemanha, Volume 9, p. 407, 1990.

FAN, L.; SOCCOL, A.T.; PANDEY, A.; SOCCOL, C.R. Cultivation of *Pleurotus* mushrooms on Brazilian coffee husk and effects of caffeine and tannic acid. **Micologia Aplicada International**, v.15, p.15-21, 2003.

FAOSTAT. FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAOSTAT Crops, 2018. Disponível em: <<https://data.un.org/Data.aspx?d=FAO&f=itemCode%3a388>> acesso em 01 de janeiro de 2025.

FAOSTAT. FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAOSTAT Crops, 2023. Disponível em: <<https://data.un.org/Data.aspx?d=FAO&f=itemCode%3a388>> acesso em 01 de janeiro de 2025.

FERNANDES, C. **Produção de tomate em diferentes substratos com parcelamento da fertirrigação sob ambiente protegido**. Jaboticabal - SP, 71 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal – UNESP, 2001.

FERRAZ D, PYKA A. Circular economy, bioeconomy, and sustainable development goals: a systematic literature review. **Environ Sci Pollut Res Int.** 2023 Sep 13. doi: 10.1007/s11356-023-29632-0.

FERREIRA G V, PIÉ L, TERCEÑO A. A systematic literature review of bio, green and circular economy trends in publications in the field of economics and business management. **Sustainability.** 10(11):4232. doi: 10.3390/su10114232, 2018.

FURLAN JÚNIOR E J.; MÜLLER, A. A. **A agricultura familiar e a dendeicultura na Amazônia**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2003.

FURLAN JÚNIOR. **Dendê: Manejo e Uso dos Subproduto**. Documentos 246. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; Embrapa Amazônia Oriental e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. ISSN 1517-2201. L, 2006.

GAO, L.; LIU, G.; ZHAO, Q.; XIAO, Z.; SUN, W.; HAO, X.; LIU, X.; ZHANG, Z.; ZHANG, P. Customized optimization of lignocellulolytic enzyme cocktails for efficient conversion of pectin-rich biomass residues. **Carbohydrate Polymers**, volume 297, ISSN 0144-8617, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120025>, 2022

GORE, V. U. E MALI, V. P. **Diversity in host susceptible of *Flavodon flavus* from aurangabad district, Maharashtra [INDIA]**. A Double-Blind Peer Reviewed & Refereed Journal. I J R B A T, Issue (Special-17), pgs- 14-23. e-ISSN 2347 – 517X, 2021.

GRIMM E WÖSTEN, 2018. Mushroom cultivation in the circular economy. **Apl. Microbiol. Biotecnologi**, 102 (18), p. 7795 - 7803 ,10.1007/s00253-018-9226-8, 2018.

HASSAN e outros, 2019; SS Hassan, GA Williams, AK Jaiswal L. Lignocellulosic biorefineries in Europe: current status and perspectives. **Biotechnology Trends**, 37, 3, pp. 231 - 234, <<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2018.07.002>>, 2019

HELM, C.V.; TIMM, T. G.; ULLER, S.E.; LIMA, E. A.; TAVARES, L. B.B. Comunicado Técnico 488 Colombo, PR Junho, 2023. Embrapa

HŘEBEČKOVÁ, T. et al. (2020). Enzymatic potential of *Pleurotus ostreatus* for lignocellulosic waste degradation. **Mycological Progress**, 19(5), 567-579.

HŘEBEČKOVÁ, T.; WIESNEROVÁ, L.; HANČ, A. Change in agrochemical and biochemical parameters during the laboratory vermicomposting of spent mushroom substrate after cultivation of *Pleurotus ostreatus*. **Science of The Total Environment**, volume 739, 140085, ISSN 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140085>, 2020.

**IBGE. Censo agropecuário de 2023.**

<<https://www.ibge.gov.br/explica/producaoagropecuaria/dende/br>>

IPCC. Climate Change 2021: **The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021.

JENSEN, E. S., et al. (2020). Legume-cereal intercropping in temperate regions: Dynamics of nitrogen capture and use. **Field Crops Research**, 245, 107659.

KÜES, U., & LIU, Y. (2000). Fruiting body production in basidiomycetes. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 54(2), 141-152.

KUMAR, A. E CHANDRA, R. Ligninolytic enzymes and its mechanisms for degradation of lignocellulosic waste in environment. **Heliyon**. 6(2):e03170. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03170, 2020.

KUMAR, A., & CHANDRA, R. (2020). Ligninolytic enzymes and their applications in bioremediation and bioconversion of lignocellulosic waste. **Bioresource Technology**, 304, 123-135.

LEIFA, F. **Produção de fungo comestível do gênero Pleurotus em bio-resíduos da agroindústria do café.** 92p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

LIESE, W. Ultrastructural aspects of woody tissue disintegration. **Ann. Rev. Phytopath.** 8: 231-258, 1970.

MARINO, R.H.; ABREU, L.D.; MESQUITA, J.B.; RIBEIRO G.T. Growth and cultivation of different *Pleurotus ostreatus* (jacq.: fr.) kummer strains on coconut-husk sawdust. **Artigo Científico de Arq. Inst. Biol.** 75. Jan-Mar 2008. <<https://doi.org/10.1590/1808-1657v75p0292008>>

MUJTABA, M; FERNANDES, F. L.; FAZELI, M, ET AL. Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: A review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. **J Clean Prod.** 402:136815. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136815, 2023.

MÜLLER, A A. **A cultura do dendê**, Belém, EMBRAPA-CPATU. 24 p. i. (EMBRAPA-CPATU. Miscelânea, 5). COO: 633.851,1980

MWANGI, R.W., MUSTAFA, M., KAPPEL, N. et al. Practical applications of spent mushroom compost in cultivation and disease control of selected vegetables species. **J Mater Cycles Waste Manag** 26, 1918–1933, <https://doi.org/10.1007/s10163-024-01969-9>, 2024.

P. J. STEPHENSON & ANCA DAMERELL. Bioeconomy and circular economy approaches need to enhance the focus on biodiversity to achieve sustainability, **Sustainability**, vol. 14(17), pages 1-20, 2022.

RAIMI, A. et al. Biofertilizer production in Africa: Current status, opportunities, and challenges. **Sustainability**, v. 13, n. 8, 2021.

RASHID e outros, 2018a; Rashid H. M.; Abed, I. A.; Owaid. M.N. **Desempenho do crescimento micelial de *Agaricus bisporus* em meios de cultura de compostos suplementados com palha de *Sesbania sesban* e rocha fosfática.** *Atual. Res. Ambiente. Aplicação Mycol.* , 8, p. 323 - 330. <https://doi.org/10.5943/cream/8/3/4>, 2018

RASHID e outros, 2018b; Rashid, H.M.; Abed, I.A.; Owaid. M.N. Efeito de *Sesbania sesban* no cultivo de *Agaricus bisporus*, Basidiomycota e propriedades do composto de cogumelos usados. **Abra Agric.**, 3, p. 652 - 657 . <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0068>, 2018.

**Resolução ANVISA/DC Nº 88 DE 29/06/2016.**

SANTOS, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos, et al. **Sistema Brasileiro De Classificação De Solos (SIBICS).** 5.ed., rev. E ampl. Brasília, DF: Embrapa. 356 p, 2018.

SETLIFF, E. & W.E. EUDY. **Screening white-rot fungi for their capacity to delignify wood**. In: Lignin Biodegradation microbiology. Chemistry and practical application; p. 135-149; (eds.), 1979.

SHARMA, J. R. **Genera of Polyporaceae**. BSI Kolkata, p.219. 2000.

SHARMA, J.R. Aphyllophorales of Himalaya: Auriscalpiaceae– Tremellodendropsis. **Botanical Survey of India**, Calcutta, p.617. 2012.

SILVA, R.M.; CARMO, C. O.; SOARES, A.C.F. et al. Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated in agroindustrial wastes of palm oil fruits and cocoa almonds. **Arq. Inst. Biol.** 87 <https://doi.org/10.1590/18081657000852018>, 2020 .

SILVA, T.E.; DETMANN, E.; CAMACHO, L.F., et al. Comparação de métodos in vitro para a quantificação da digestibilidade da matéria seca e da fibra em detergente neutro de forragens e concentrados. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.69, n.6, p.1635-1644. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9096>, 2017

SILVA, T.E.; DETMANN, E.; CAMACHO, L.F.; SALIBA, E.O.S.; PALMA, M.N.N.; VALADARES FILHO, S.C. Comparação de métodos in vitro para a quantificação da digestibilidade da matéria seca e da fibra em detergente neutro de forragens e concentrados. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.69, n.6, p.1635-1644, <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9096>, 2017

SILVEIRA, E.B.; RODRIGUES, V.J.L.B.; GOMES, A.M.A.; MARIANO, R.L.R. E MESQUITA, J.C.P. - Pó de coco como substrato para produção de mudas de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, vol. 20, p. 211-216, 2002.

SIMMONS RD., LI Y., BATEMAN CC. & HULCR J. *Flavodon ambrosius* sp. nov., a basidiomycetous mycosymbiont of *Ambrosiodmus ambrosia* beetles. **Mycotaxon** ,131: 277–285, 2016.

SINGH, G.; TIWARI, A.; GUPTA, A.; KUMAR, A.; HARIPRASAD, P.; SHARMA, S. Bioformulation development via valorizing silica-rich spent mushroom substrate with *Trichoderma asperellum* for plant nutrient and disease management. **Journal of Environmental Management**; V 297, <https://doi.org/10.1016/j>, 2021.

SINGH, U. B. ; MALVIYA, D. ; WASIULLAH, K., et al. Earthworm Grazed-*Trichoderma harzianum* biofortified spent mushroom substrates modulate accumulation of natural antioxidants and bio-fortification of mineral nutrients in tomato. **Journal Frontiers in Plant Science**.DOI=10.3389/fpls.2018.01017; ISSN=1664-462X, 2018.

SOLDATELI, F. J.; BATISTA, C.B.; GODOY, F.; MELLO, A.C.; SOARES, F. S.; BERGMANN, M. D.; ETHUR, L. Z. **Crescimento e produtividade de cultivares de tomate cereja utilizando substratos de base ecológica**. <http://journal.unoeste.br/index.php/ca/index>; DOI: 10.5747/ca.2020.v16.n1.a342; ISSN on-line 1809-8215.

STEFFEN, G. P. K. et al. **A importância do solo para a sustentação da vida no planeta Terra**. Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 24p, 2024.

STEFFEN, G. P. K. et al. **Biological efficiency and economic analysis of organic substrates for shimeji cultivation**. CUADERNOS DE EDUCACIÓN Y DESARROLLO, v.15, n.10, p. 11374-11398, 2023. DOI: 10.55905/cuadv15n10-075.

STEFFEN, G. P. K. et al. **Produção de cogumelos comestíveis em substratos orgânicos**. Porto Alegre: DDPA, 2020. (Circular: divulgação técnica, 3).

Suwannarach, N. and Kakumyan, P. Impact of cultivation substrate and microbial community on improving mushroom productivity: A review. **Biology**, 11, 569. <https://doi.org/10.3390/biology11040569>, 2022.

SZILAGYI-ZECCHIN, V. J., MÓGOR, A. F., RUARO, L E RÖDER, C. Tomato seedlings growth (*Solanum lycopersicum*) promoted by bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. plantarum FZB42 in organic system. **Sociedade de ciências agrárias de Portugal (SCAP)**, 2014.

TERASAWAT, A.; PHOOLPHUNDH, S. Simultaneous biological pretreatment and saccharification of rice straw by ligninolytic enzymes from *Panus neostrigosus* I9 and commercial cellulase. **J. Fungi**, 7, 853. <https://doi.org/10.3390/jof7100853>, 2021.

THOMPSON, J. C. (1990). Methods for the determination of carbohydrates by ion chromatography. **In Proc Sugar Process Res Conf**, pp. 381-396, 1990.

THOMPSON. J.C. Methods for the determination of carbohydrates by ion chromatography. proceedings of the 1990 sugar processing research conference. **Sugar Processing Research**, San Francisco. California. USA. May 29-June 1. 381-396, 1990.

URBEN, A. F. Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada. Brasília: Embrapa, 2017. 274p.

VIEIRA, V. O.; ALMEIDA, A.; CUNHA, J.R.B.; MACHADO, A.E V.; ALMEIDA E.G.; DIAS, E.S.; ALCANTARA, M. A.; MILLER, R.N.G.; SIQUEIRA, F.G. A new circular economy approach for integrated production of tomatoes and mushrooms. **Saudi Journal of Biological Sciences**. Volume 29, Issue 4, Pages 2756-2765. <<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.058>>, 2022.

WILCOX, W.W. Anatomical changes in wood cell walls attacked by fungi and bacteria. **Bot. Rev.** 36:128, 1970.

WILLIAMS, L. J.; ABDI, H. **Fisher's Least Significant Difference (LSD) Test**. Encyclopedia of research design, v. 218, n. 4, p. 840–853, 2010.

WONG, D.W.S. Structure and action mechanism of ligninolytic enzymes. Appl. **Biochem. Biotechnol**, 157 , 174–209. 2009

WU, J. Z.; CHEUNG, P. C. K.; WONG, K. H.; HUANG, N. L. Studies on submerged fermentation of *Pleurotus tuber-regium* (Fr.). **Food Chemistry**, v.85, p.101-105, 2004.

YANG, J.; YUE, H. R.; PAN, L. Y.; FENG, J. X.; ZHAO, S.; SUWANNARANGSEE, S.; CHAMPREDA, V.; LIU, C. G.; ZHAO, X. Q. Fungal strain improvement for efficient cellulase production and lignocellulosic biorefinery: Current status and future prospects. **Bioresour Technol.** 385:129449. doi: 10.1016/j.biortech.2023.129449. 2023.

YANG, X. et al. Circular economy approaches in mushroom cultivation: A review. **Sustainability**, 15(3), 789-805, 2023.

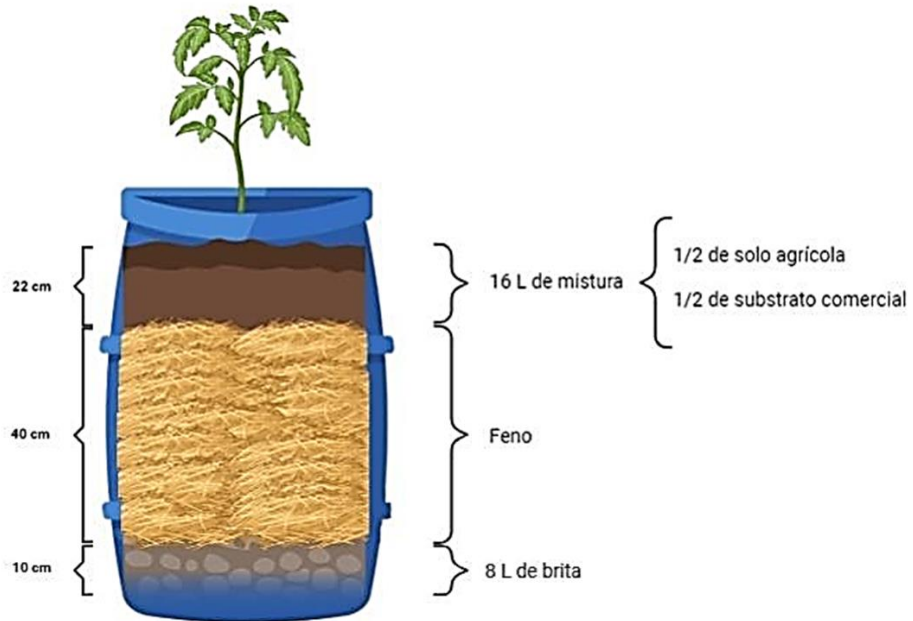
ZADRAZIL, F. E DUBE, H.C. The oyster mushroom. Importance and prospects. **Mushroom Research**, v.1, n.1, p.25-32, 1992.

ZAMBOLIM, L. E QUEZADO-DUVAL, A. M. **Produção integrada do tomateiro tutorado**. Viçosa, MG: UFV, CEAD, 2022

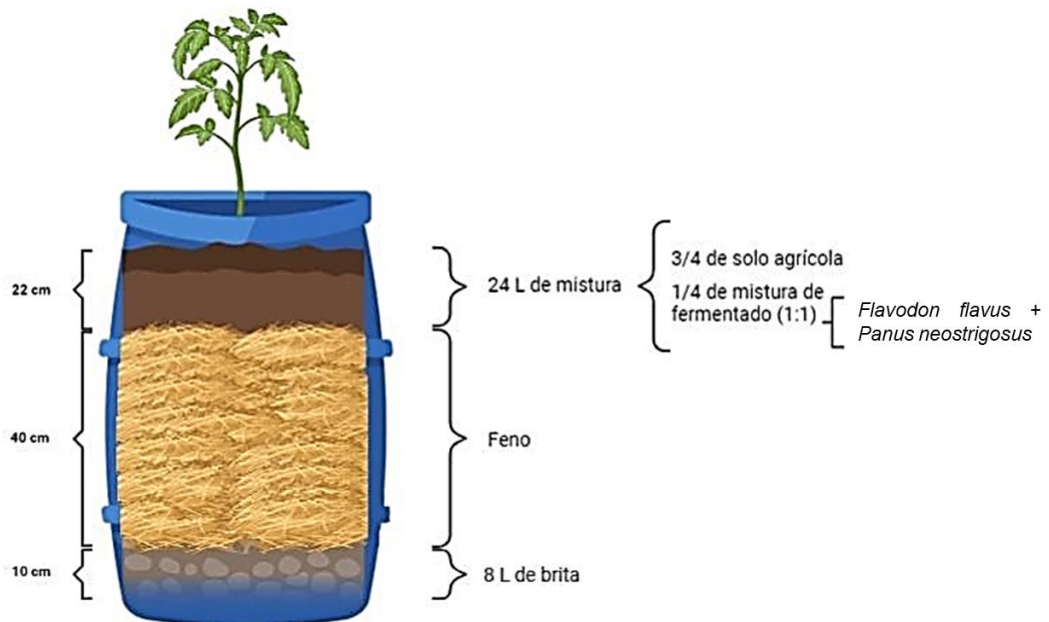
## 7 ANEXO

### Esquemas de montagem das unidades experimentais, por tratamento

**T1 - Monocultivo de tomate (Brs Zamir) + mistura de solo e substrato comercial na camada superior, com adubação recomendada.**



**T2 - Monocultivo de tomate (Brs Zamir) + mistura de solo e substrato comercial na camada superior, com adubação recomendada.**



**T3 - Monocultivo de *Pleurotus ostreatus* + mistura de solo e substrato comercial na camada superior, com adubação recomendada.**



**T4 - Monocultivo de *Pleurotus ostreatus* + mistura de solo e substrato comercial na camada superior, sem adubação.**



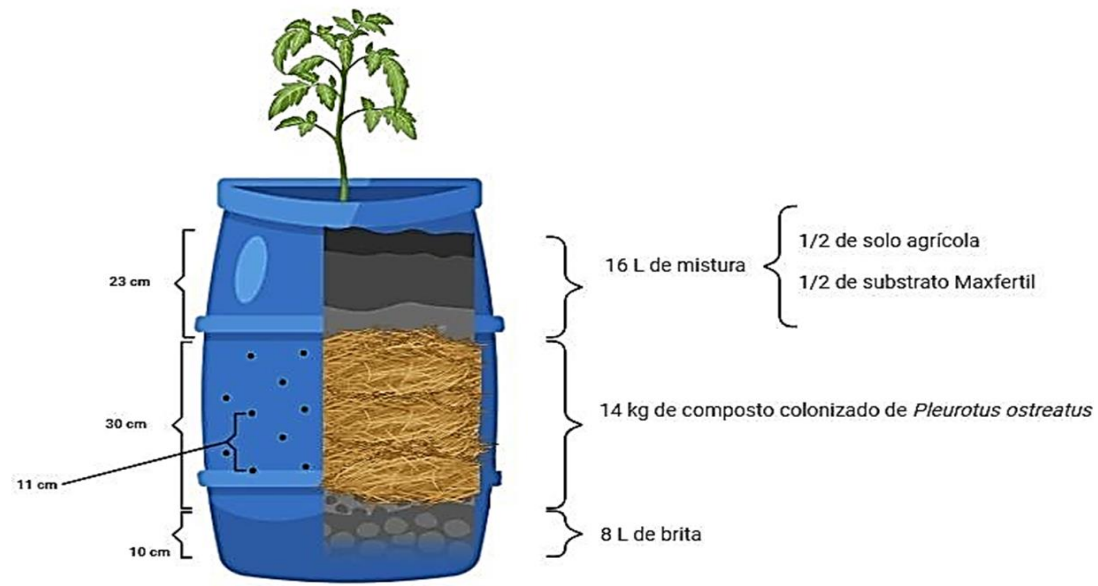
**T5 - Monocultivo de *Pleurotus ostreatus* + mistura de solo com substrato dos fermentados na camada superior, com adubação recomendada.**



**T6 - Monocultivo de *Pleurotus ostreatus* + mistura de solo com substrato dos fermentados na camada superior, sem adubação.**



**T7 - Cultivo integrado (co-cultivo) *Pleurotus ostreatus* e tomate + mistura de solo e substrato comercial na camada superior, com adubação recomendada.**



**T8 - Cultivo integrado (co-cultivo) *Pleurotus ostreatus* e tomate + com substrato dos fermentados na camada superior, com adubação recomendada.**

