



UNIVERSIDADE PARANAENSE – UNIPAR

Recredenciada pela Portaria – MEC n.º 747, de 10/09/2020 – D.O.U. 11/09/2020

Mantenedora: UNIPAR – SOCIEDADE EMPRESARIAL LTDA.

Coordenação de Pós-Graduação *Stricto Sensu* e Pesquisa

Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura

Gabriel Tramontini Pereira

Efeitos da luz no micélio de *Pleurotus albidus*: análise bioquímica e funcional

**Umuarama
2026**

Gabriel Tramontini Pereira

Efeitos da luz no micélio de *Pleurotus albidus*: análise bioquímica e funcional

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do grau de mestre em Biotecnologia Aplicada à Agricultura pela Universidade Paranaense - UNIPAR.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Silveira do Valle

Umuarama
2026

Ficha Catalográfica

P436e Pereira, Gabriel Tramontini.

Efeitos da luz no micélio de *Pleurotus albidus*: análise bioquímica e funcional / Gabriel Tramontini Pereira. – Umuarama : Universidade Paranaense – UNIPAR, 2026. 37 f.

Orientadora: Dr^a. Juliana Silveira do Valle.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Paranaense – UNIPAR.

1. Antioxidantes. 2. Basidiomiceto. 3. Compostos fenólicos. 4. Flavonoides. 5. Inibição da tirosinase. 6. Fator de proteção solar. I. Universidade Paranaense – UNIPAR. II. Título.

(21 ed.) CDD: 579.59

Bibliotecária Responsável Regiane Luiza Campaneli CRB 9/2194

Efeitos da luz no micélio de *Pleurotus albidus*: análise bioquímica e funcional

Dissertação aprovada como requisito obrigatório para obtenção do Grau de Mestre no Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Universidade Paranaense – UNIPAR, pela seguinte banca examinadora:

Dr. Antonio Laverde Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Dr. Thiago Alberto Ortiz

Universidade Paranaense - UNIPAR

Dra. Juliana Silveira do Valle

Universidade Paranaense - UNIPAR

Umuarama, 06 de março de 2026

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, saúde e sabedoria que me permitiram chegar até aqui.

Aos meus pais, Cristina Verônica Tramontini e Eder José Pereira, e a minha irmã, Luísa Tramontini Pereira, pelo amor incondicional, pelo incentivo em cada etapa e por sempre acreditarem no meu potencial. Sem vocês, nada disso seria possível.

À minha família, pelo apoio constante, pelas palavras de encorajamento e pela compreensão nos momentos de ausência.

À minha orientadora, Juliana Silveira do Valle, pela orientação dedicada, pela paciência e por todas as contribuições que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores e colaboradores do programa de Mestrado em Biotecnologia aplicada à Agricultura, que contribuíram, direta ou indiretamente, para o meu crescimento acadêmico e científico.

Aos colegas de laboratório e amigos que fizeram parte dessa trajetória, compartilhando aprendizados, desafios e conquistas. A convivência e a parceria tornaram esse percurso mais leve e enriquecedor.

Aos participantes e parceiros envolvidos neste estudo, pela colaboração essencial para que esta pesquisa pudesse ser realizada.

À instituição UNIPAR e aos órgãos de fomento, CAPES e Fundação Araucária que apoiaram o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq, pelo financiamento deste trabalho com bolsa de estudo.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão desta dissertação. A cada um, o meu sincero muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	07
ABSTRACT	08
INTRODUÇÃO	09
MATERIAL E MÉTODOS	11
Material biológico e cultivo para produção de inóculo	11
Cultivo em meio líquido para produção de biomassa micelial	12
Determinação da biomassa micelial	12
Produção de extratos miceliais	12
Quantificação de fenóis totais	12
Quantificação de flavonoides totais	13
Determinação da atividade antioxidante	13
Método de sequestro dos radicais DPPH•	13
Método de sequestro dos radicais ABTS• ⁺	13
Método de redução do ferro (FRAP)	14
Determinação do fator de proteção solar <i>in vitro</i>	14
Determinação da razão UVA/UVB e comprimento de onda crítico	15
Determinação da atividade anti-tirosinase	17
Determinação da atividade inibidora da α -glicosidase	17
Determinação da atividade anticolinesterásica	18
Análise estatística	18
RESULTADOS	19
DISCUSSÃO	28
CONCLUSÕES	32
AGRADECIMENTOS	33
REFERÊNCIAS	34

Efeitos da luz no micélio de *Pleurotus albidus*: análise bioquímica e funcional

RESUMO: Basidiomicetos apresentam elevada importância ecológica, nutricional e biotecnológica, destacando-se o gênero *Pleurotus* pela rica produção de biomassa e de compostos bioativos com potencial medicinal, alimentar e industrial. Apesar de *Pleurotus albidus* já possuir atividades biológicas descritas, como ação antioxidante, anti-inflamatória e efeitos metabólicos benéficos, ainda não há estudos que avaliam como a luz influencia seu crescimento e metabolismo. O objetivo deste estudo foi investigar os efeitos de distintos comprimentos de onda de luz (azul, verde, vermelho e escuro) sobre o crescimento micelial, a atividade antioxidante e o potencial fotoprotetor do micélio de *P. albidus*. O micélio foi cultivado em meio líquido enriquecido com melão de cana-de-açúcar por 21 dias. Ao final desse período o micélio foi coletado, seco em estufa e submetido à duas extrações sucessivas com etanol (80%). Os extratos foram avaliados para determinação do teor de fenóis e flavonoides totais, da atividade antioxidante pelos métodos de FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*), sequestro dos radicais livres DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) e ABTS•+ (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato)), quanto ao fator de proteção solar (FPS) *in vitro* e potencial para inibição das enzimas α -glicosidase, tirosinase e acetilcolinesterase. A luz não afetou significativamente o crescimento micelial de *P. albidus*, sendo produzido micélio em todas as condições de iluminação. A luz azul promoveu aumento em torno de 30% do teor de fenóis no micélio ($62,68 \pm 5,5 \mu\text{g EAG/mg}$) comparado ao escuro, enquanto as luzes verde e vermelha não diferiram do cultivo sem luz. Já o teor de flavonoides não foi afetado significativamente pela luz e variou de $91,17 \pm 12,65 \mu\text{g EQ/mg}$ (escuro) a $86,80 \pm 4,59 \mu\text{g EQ/mg}$ (luz verde). A atividade antioxidante pelo método FRAP indicou que a luz azul ($23,93 \pm 0,96 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$) aumentou o poder redutor do micélio em 24% comparado ao controle (escuro), enquanto as luzes verde e vermelha não diferiram do cultivo sem luz. As análises de captura de radicais livres demonstraram variação entre os tratamentos, com maior capacidade de sequestro de ABTS•+ pelos extratos da luz azul ($\text{IC}_{50} = 76,50 \pm 2,70 \text{ mg/mL}$). Apesar da neutralização dos radicais DPPH• não ter sido expressiva, observou-se maior atividade antioxidante para os extratos derivados do cultivo na luz vermelha ($\text{IC}_{50} = 109,31 \pm 3,94 \text{ mg/mL}$). Todos os extratos apresentaram FPS, com aumento proporcional à concentração e valores mais elevados nos extratos obtidos sob luz vermelha, que também exibiram excelente relação UVA/UVB (Boot's Star Rating), indicando proteção UVA de alta intensidade. Os extratos exibiram forte inibição da tirosinase ($>80\%$ a 2 mg/mL), com efeito dose-dependente e valores próximos a 100%, destacando-se os cultivos sob luz azul e vermelha. Porém, os extratos não apresentaram atividade inibitória frente à α -glicosidase e à acetilcolinesterase. Esses resultados demonstram que a modulação luminosa constitui uma abordagem promissora para direcionar a produção de bioativos em *P. albidus*, abrindo perspectivas para a caracterização química dos compostos ativos e para a validação de sua aplicação em formulações dermocosméticas e farmacêuticas. Além disso, o uso de um resíduo agroindustrial como melão de cana mostrou-se eficiente no cultivo, sendo uma alternativa sustentável e economicamente viável para a produção de biomassa micelial com aplicações nas indústrias cosmética, farmacêutica e de alimentos funcionais.

Palavras-chave: Antioxidantes. Basidiomiceto. Compostos fenólicos. Flavonoides. Inibição da tirosinase. Fator de proteção solar.

Gabriel Tramontini Pereira

Effects of light on the mycelium of *Pleurotus albidus*: Biochemical and functional analysis

ABSTRACT: Basidiomycetes are of high ecological, nutritional, and biotechnological importance, with the genus *Pleurotus* standing out for its high biomass and bioactive compound production, with medicinal, food, and industrial potential. Although *Pleurotus albidus* has already been described for its biological activities, such as antioxidant and anti-inflammatory actions and beneficial metabolic effects, no studies have yet evaluated how light influences its growth and metabolism. The aims of this study was to investigate the effects of different wavelengths of light (blue, green, red, and absence of light) on mycelial growth, antioxidant activity, and the photoprotective potential of *P. albidus* mycelium. The mycelium was cultivated in liquid medium enriched with sugarcane molasses for 21 days. At the end of this period, the mycelium was collected, dried in an oven, and subjected to two successive extractions with ethanol (80%). The extracts were evaluated to determine the total phenol and flavonoid content, antioxidant activity by FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) methods, scavenging of DPPH• (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and ABTS•+ (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate)) free radicals, in vitro sun protection factor (SPF), and potential for inhibition of α -glucosidase, tyrosinase, and acetylcholinesterase enzymes. Light did not significantly affect the mycelial growth of *P. albidus*, with mycelium being produced under all lighting conditions. Blue light increased phenol content in mycelium by approximately 30% ($62.68 \pm 5.5 \mu\text{g GAE/mg}$) compared to darkness, whereas green and red lights did not differ from the culture without light. The flavonoid content was not significantly affected by light and ranged from $91.17 \pm 12.65 \mu\text{g EQ/mg}$ (dark) to $86.80 \pm 4.59 \mu\text{g EQ/mg}$ (green light). Antioxidant activity by the FRAP method indicated that blue light ($23.93 \pm 0.96 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$) increased the reducing power of the mycelium by 24% compared to the control (dark). In contrast, green and red lights did not differ from the culture grown in the absence of light. Free radical scavenging analyses showed variation between treatments, with the blue light extracts exhibiting a greater capacity to scavenge ABTS•+ ($\text{IC}_{50} = 76.50 \pm 2.70 \text{ mg/mL}$). Although the neutralization of DPPH• radicals was not significant, greater antioxidant activity was observed for extracts derived from cultivation under red light ($\text{IC}_{50} = 109.31 \pm 3.94 \text{ mg/mL}$). All extracts showed SPF, with an increase proportional to concentration and higher values in extracts obtained under red light, which also exhibited an excellent UVA/UVB ratio, indicating high-intensity UVA protection. The extracts showed strong tyrosinase inhibition (>80% at 2 mg/mL), with a dose-dependent effect and values close to 100% in cultivations under blue and red light. However, the extracts did not show inhibitory activity against α -glucosidase and acetylcholinesterase. These results demonstrate that light modulation is a promising approach to direct the production of bioactive compounds in *P. albidus*, opening the way for their chemical characterization and validation of their application in dermocosmetic and pharmaceutical formulations. Furthermore, the use of an agro-industrial residue, such as sugarcane molasses, proved efficient for cultivation, representing a sustainable and economically viable alternative for producing mycelial biomass with applications in the cosmetic, pharmaceutical, and functional food industries.

Keywords: Antioxidants. Basidiomycete. Flavonoids. Phenolic compounds. Sun protection factor. Tyrosinase inhibition.

INTRODUÇÃO

Fungos são o segundo grupo mais diverso de eucariotos, se aproximando dos insetos em número de espécies. Junto com as bactérias, são os maiores decompositores da natureza, sendo essenciais na reciclagem de nutrientes para o planeta (Raghukumar; Raghukumar, 2017). Além disso, contribuem de várias formas para a alimentação e para a produção de compostos bioativos com aplicações medicinais, insumos industriais e químicos (Fitsum *et al.*, 2025). Os fungos produtores de cogumelos do gênero *Pleurotus* (Basidiomycota) situam-se entre os mais cultivados desde a última década, inclusive sendo potenciais suportes na luta contra a má nutrição (Deepalakshmi; Sankaran, 2014).

Os fungos movimentam trilhões de dólares anualmente, sendo fontes primárias na fabricação de produtos medicinais, farmacêuticos, alimentos funcionais, nutracêuticos, pigmentos, entre outros (Niego *et al.*, 2023). Apresentam baixo teor de gorduras e elevado teor proteico e são ricos em compostos biologicamente ativos, como polissacarídeos, além de triterpenos, compostos fenólicos e esteróis. Possuem propriedades antitumorais, antioxidantes, antidiabéticas e imunomoduladora (Łysakowska *et al.*, 2023).

Em basidiomicetos, os corpos de frutificação e o micélio vegetativo produzem metabólitos bioativos. Contudo, as características metabólicas de cada tecido levam à produção de compostos distintos, com atividades biológicas diferentes (Brazkova *et al.*, 2022). O cultivo de micélio vegetativo em meio líquido oferece vantagens significativas em relação à produção de corpos de frutificação, como menor tempo de incubação, cultivo mais simples, menor risco de contaminação e maior produção de biomassa, o que facilita a obtenção de compostos de interesse (Liberal *et al.*, 2023; Rathore *et al.*, 2019).

A maior parte das investigações sobre a produção de bioativos de basidiomicetos se concentra na avaliação de extratos de corpos de frutificação colhidos em habitats naturais ou produzidos em atividade agrícola. Há, portanto, uma lacuna de conhecimento quanto ao potencial de produção de bioativos pelo micélio vegetativo para a maioria das espécies, inclusive as de interesse comercial. Além disso, o cultivo de micélios fúngicos pode ser realizado em resíduos agroindustriais, como melaço de cana-de-açúcar, que possuem custo acessível e são abundantes (Sarris *et al.*, 2026). A biomassa micelial é rica em proteína, baixa em gorduras, livre de colesterol, rica em metabólitos secundários e compostos bioativos (Awasthi *et al.*, 2023). O metabolismo dos fungos pode ser alterado de acordo com as condições de cultivo a que foram expostos, como a composição do meio, a temperatura, o pH e a luz (Marim *et al.*, 2018).

Pleurotus albidus possui atividade antioxidante, sendo capaz também de vasodilatar artérias (Reis *et al.*, 2022), apresenta atividade anti-inflamatória devido a ação de suas glicanas, mitigando a inflamação induzida por lipídeos (Sharma; Sharma; Tripathi, 2021). Da Costa *et al.* (2021) relataram que o extrato hidroalcoólico de *P. albidus* é capaz de auxiliar na redução do peso corporal quando empregado em dietas. Entretanto, não há informações sobre os efeitos da luz no crescimento e no metabolismo de *P. albidus*. Não existem estudos de *P. albidus* que englobam a produção de compostos fenólicos bioativos, como determinação do potencial fotoprotetor, atividade antioxidante ou de inibição enzimática quando o micélio é cultivado sob luz.

A luz é um fator capaz de afetar o metabolismo dos fungos, alterando a atividade e a expressão enzimática, bem como a produção de biomassa micelial e de metabólitos (Villani *et al.*, 2025). Fungos possuem sistemas de fotorrecepção altamente conservados, como proteínas sensíveis à luz desde o ultravioleta até o infravermelho próximo (Corrochano, 2019). Esses sistemas atuam como reguladores de transcrição, integrando sinais luminosos a vias de desenvolvimento, esporulação, formação de corpos de frutificação e produção de metabólitos secundários (Fischer *et al.*, 2018). A manipulação controlada da qualidade e intensidade da luz, portanto, é uma estratégia promissora para modular rotas metabólicas e estimular a síntese de compostos de interesse, incluindo enzimas, polissacarídeos e outros metabólitos, possibilitando a obtenção direcionada de biomassa e bioativos com aplicações nas áreas farmacêutica, alimentícia, cosmética e agrícola (Luo *et al.*, 2026).

Nesse sentido, o cultivo de micélio de *P. albidus* usando subprodutos da agroindústria como fonte de nutrientes é uma estratégia de produção com potencial para melhorar a praticabilidade de produto e de processo operacional, e conseqüentemente a viabilidade de produtos derivados no mercado. Assim, há potencial para o desenvolvimento de bioprocessos economicamente viáveis, sustentáveis e com capacidade de introdução no mercado nacional, além de elucidar a capacidade de produção ao serem expostos a diferentes comprimentos de luz, a fim de obter maior quantidade de bioativos para utilização industrial.

Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar o teor de compostos fenólicos e flavonoides, a capacidade antioxidante, o fator de proteção solar e a capacidade de inibir enzimas dos extratos do micélio de *P. albidus* cultivados sob diferentes comprimentos de luz.

MATERIAL E MÉTODOS

Material biológico e cultivo para produção de inóculo

O fungo basidiomiceto *Pleurotus albidus* (Berk.) Pegler (sinonímia *Pocillaria albida* (Berk.) Kuntze) foi utilizado neste estudo. Foi avaliada a linhagem de *P. albidus* U21-1, depositada na coleção de culturas do Laboratório de Biologia Molecular da UNIPAR, Umuarama – Paraná. A linhagem *P. albidus* U21-1 foi adquirida junto ao Instituto de Botânica de São Paulo (nº CCIBt 2405) e originalmente coletada em Itapeperica da Serra – SP. A linhagem foi registrada no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o número AEF7CE6.

A linhagem foi cultivada em meio sólido ágar-extrato-de-malte (20 g/L) a 28 ± 1 °C, na ausência de luz, para a produção de inóculo. Três discos de 6 mm de diâmetro contendo micélio sem setoriamento foram utilizados para inocular os meios de cultivo destinados à produção de biomassa micelial.

Cultivo em meio líquido para produção de biomassa micelial

Os cultivos do micélio foram realizados em frascos Erlenmeyer (250 mL) contendo 100 mL de meio de cultura líquido composto por 1,5 g/L de KH_2PO_4 , 0,5 g/L de MgSO_4 , 0,5 g/L de KCl, 0,036 g/L de FeSO_4 , 0,035 g/L de ZnSO_4 e 1,0 g/L de extrato de levedura (Almeida *et al.*, 2018) suplementado com melaço de cana-de-açúcar adicionado ao meio de cultivo em volume suficiente para obter 20 g/L de açúcares totais. O meio foi autoclavado a 121 °C por 20 minutos e, após a inoculação com o micélio, os frascos foram mantidos por 21 dias a 28 ± 1 °C em estufas BOD (Demanda Bioquímica de Oxigênio), sem agitação, no escuro ou sob diferentes comprimentos de onda de luz fornecidos por diodos emissores de luz (LED) (Halabura *et al.*, 2023). Como fonte de luz foram utilizados LED azul (450–495 nm), verde (495–570 nm) e vermelho (620–750 nm), com fluxo de fótons de 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, que permaneceram acesos durante todo o período de cultivo. O cultivo na ausência de luz foi utilizado como controle e os frascos de vidro mantidos nessa condição foram cobertos com papel alumínio para evitar qualquer exposição à luz.

Determinação da biomassa micelial

A biomassa micelial foi separada do meio de cultivo no último dia de cultivo. O micélio foi recuperado por filtração e mantido em estufa com circulação de ar a 60 °C até massa constante. Após a secagem, a biomassa foi rapidamente congelada em nitrogênio líquido e triturada em almofariz até a obtenção de um pó fino. Esse pó foi utilizado na obtenção dos extratos.

Produção de extratos miceliais

Os extratos foram produzidos segundo Saltarelli *et al.* (2009). Uma amostra de 5 g de biomassa seca e pulverizada foi submetida a duas extrações sucessivas com 25 mL de solução etanol:água (80:20, v/v) a 50 °C por 45 minutos. Em seguida, e após centrifugação a 4400 g por 20 minutos, o sobrenadante foi transferido para um novo tubo e mantido a -20 °C até o momento das análises (Halabura *et al.*, 2023). Os extratos foram concentrados por evaporação a 45 °C e em seguida ressuspensos em soluções de DMSO (dimetilsulfóxido, 50%) e etanol (80%), nas concentrações de 10, 20, 30 e 40 mg/mL.

Quantificação de fenóis totais

A quantificação de compostos fenólicos no extrato hidroalcoólico do micélio foi realizada pelo método Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). Em uma placa de 96 poços, alíquotas de extrato diluído em etanol de 20 µL foram misturadas com 155 µL de solução aquosa do reagente Folin-Ciocalteu 10% (v/v). Após 5 minutos, 125 µL de carbonato de sódio (75 g/L, m/v) foram adicionados e a placa foi mantida a temperatura ambiente por 60 min. A variação da absorbância foi determinada a 760 nm em um leitor de microplacas *SpectraMax Plus 384* (Molecular Devices, EUA). A mistura de etanol e água foi usada como controle analítico. As concentrações de fenóis foram calculadas a partir de curva padrão de ácido gálico (10 - 700 µM). Os resultados foram expressos em µg equivalentes de ácido gálico (EAG) por mg de micélio.

Quantificação de flavonoides totais

O teor de flavonoides totais dos extratos dos micélios foi determinado pelo método colorimétrico com cloreto de alumínio segundo Alves e Kubota (2013) utilizando-se os extratos ressuspensos em etanol 80%. Uma alíquota (0,5 mL) dos extratos ou de solução padrão de quercetina foram misturadas a 0,5 mL de cloreto de alumínio a 2% em metanol em tubos de ensaio protegidos da luz. Após 10 min à temperatura ambiente a absorbância foi determinada a 425 nm em um leitor de microplacas *SpectraMax Plus 384* (Molecular Devices, EUA). O cloreto de alumínio foi usado como controle. A concentração de flavonoides foi calculada de acordo com curva padrão de quercetina (5 – 40 µg/mL). Os resultados foram expressos em µg equivalentes de quercetina (EQ) por mg de micélio.

Determinação da atividade antioxidante

A atividade antioxidante dos extratos miceliais foi determinada por meio dos métodos de sequestro de radicais livres DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) e ABTS•+ (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato)) e pelo método do poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP, *Ferric Reducing Antioxidant Power*).

Método de sequestro dos radicais DPPH•

Alíquotas de 0,01 mL de cada diluição dos extratos miceliais foram misturadas a 0,29 mL de DPPH (60 µM), preparado em etanol no momento do uso. A mistura foi mantida por 30 minutos a 22 °C, no escuro. A variação da absorbância foi medida a 515 nm em um leitor de microplacas *SpectraMax Plus 384* (Molecular Devices, EUA). Um controle analítico foi preparado substituindo-se o extrato por 0,01 mL de etanol:água. A quantidade de amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical DPPH• (concentração inibitória = IC₅₀) foi calculada segundo Rufino *et al.* (2007a).

Método de sequestro dos radicais ABTS•+

A capacidade de sequestro do radical livre ABTS•+ foi determinada conforme descrito por Rufino *et al.* (2007b). A solução de ABTS foi preparada pela mistura de 5

mL de ABTS 7 mM e 0,088 mL de persulfato de potássio 140 mM. A solução foi mantida no escuro a 25 °C por 16 horas. Antes do uso, a absorvância da solução de ABTS foi ajustada para aproximadamente $0,7 \pm 0,05$ a 734 nm por diluição com etanol:água (80:20, v/v).

As reações foram preparadas misturando-se 0,29 mL da solução de ABTS e 0,01 mL dos extratos miceliais, sendo mantidas no escuro à temperatura ambiente por 30 minutos. Em seguida, a absorvância foi determinada a 734 nm em leitor de microplacas *SpectraMax Plus 384* (Molecular Devices, EUA). A quantidade de amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do radical $ABTS^{\bullet+}$ (IC_{50}) foi calculada.

Poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP)

O reagente FRAP foi preparado inicialmente pela mistura de 25 mL de tampão acetato (300 mM, pH 3,6), 2,5 mL de solução aquosa de TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina, 10 mM) e 2,5 mL de solução aquosa de cloreto ferroso (20 mM). Os extratos (0,01 mL) foram misturados a 290 µL do reagente FRAP, homogeneizados vigorosamente e mantidos a 37 °C por 30 minutos. A absorvância foi determinada a 595 nm, e o percentual de atividade antioxidante foi calculado em relação à curva padrão de sulfato ferroso (2000 µM) (Rufino *et al.*, 2006).

Determinação do fator de proteção solar *in vitro*

Os extratos foram utilizados na determinação do fator de proteção solar *in vitro* conforme Oliveira *et al.* (2021). O extrato foi diluído em etanol:água (80:20, v/v) nas concentrações de 10, 20, 30, 40 e 50 mg/mL. A absorvância de cada diluição foi determinada em três repetições, nos comprimentos de onda de 290 a 320 nm, com incrementos de 5 nm, em leitor de microplacas *SpectraMax Plus 384* (Molecular Devices, EUA). O etanol foi utilizado como controle analítico.

O cálculo do valor do FPS foi baseado na Equação 1:

$$FPS = CF \sum_{290}^{320} EE(\lambda) I(\lambda) Abs(\lambda) \quad (1)$$

Onde: CF = 10 (fator de correção); EE(λ) = espectro do efeito eritemal; I(λ) = espectro de intensidade solar e Abs(λ) = absorvância da amostra no comprimento de onda λ . Os valores de EE(λ) x I(λ) são constantes (Mansur *et al.*, 1986).

Determinação da razão UVA/UVB e comprimento de onda crítico

A razão UVA/UVB é a razão entre as áreas abaixo das curvas do espectro de absorção de UVA (320–400 nm) e de UVB (290–320 nm) (Wu *et al.*, 2020). Quanto mais próxima a proporção estiver da unidade, maior será a classificação de proteção anti-UVA.

Para a determinação da razão UVA/UVB, o extrato foi diluído em etanol:água para obter concentrações de 10, 20, 30, 40 e 50 mg/mL. O espectro de absorção de cada diluição foi determinado em triplicata nos comprimentos de onda de 290 a 400 nm, com incrementos de 5 nm, em leitor de microplacas SpectraMax Plus 384 (Molecular Devices, San Jose, EUA). O etanol foi usado como controle analítico. As razões UVA/UVB foram calculadas de acordo com a equação (2):

$$UVA/UVB = \frac{\int_{320}^{400} A(\lambda)d(\lambda)/\int_{320}^{400} d(\lambda)}{\int_{290}^{320} A(\lambda)d(\lambda)/\int_{290}^{320} d(\lambda)} \quad (2)$$

Onde: A(λ) é a absorvância média em cada comprimento de onda e d(λ) é o intervalo de comprimento de onda entre as medições

Os extratos foram classificados de acordo com os níveis de proteção anti-UVA do sistema *Boot's star rating* (Boots, 2008), conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Graus de proteção anti-UVA segundo o sistema *Boot's star rating*.

Limites UVA/UVB						
	0 – 0,2	0,21 – 0,4	0,41 – 0,6	0,61 – 0,8	0,81 – 0,9	> 0,91
Proteção anti-UVA	Baixa	Moderada	Boa	Superior	Máxima	Ultra

O espectro de absorção também foi utilizado na determinação do comprimento de onda crítico, que representa o comprimento de onda abaixo do qual se encontra 90% da

curva de absorvância. Comprimento de onda crítico maior ou igual a 370 nm indica proteção solar de amplo espectro (Wang *et al.*, 2022).

Determinação da atividade anti-tirosinase

A determinação do potencial dos extratos em inibir a oxidação da L-DOPA (3,4-di-hidroxi-L-fenilalanina) em dopacromo pela tirosinase foi avaliada segundo Macrini *et al.* (2009) com modificações. A tirosinase foi diluída em tampão fosfato (100 mM, pH 6,8) até a concentração de 250 U/mL. As reações enzimáticas foram preparadas utilizando-se L-DOPA (5 mM em tampão fosfato) como substrato enzimático. Em placas de 96 poços foram adicionados 40 µL dos extratos miceliais, 80 µL de tampão fosfato (100 mM, pH 6,8) e 40 µL de tirosinase. As placas foram mantidas a 30 °C por 15 min, em seguida, 40 µL de solução de L-DOPA foram adicionados e após 15 min a absorvância foi determinada a 475 nm em leitor de microplacas *SpectraMax Plus 384* (Molecular Devices, EUA). A mistura de todos os componentes reacionais menos o extrato e a mistura de todos os componentes, menos o substrato, foram utilizados como controles analíticos. A porcentagem de inibição da tirosinase foi determinada segundo a equação 3:

$$\% \text{ de inibição} = \left(\frac{AbsC - AbsE}{AbsC} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde: Abs_C = absorvância do controle positivo e Abs_E = absorvância da amostra com extrato.

Determinação da atividade inibidora da α-glicosidase

A determinação da capacidade dos extratos em inibirem a α-glicosidase foi avaliada segundo Daou *et al.* (2022) e Ombra; Nazzaro; Fratianni (2022) usando o *p*-nitrofenil-α-D-glucopiranosídeo (pNPG) como substrato. Uma solução de 5 mg/mL de α-glicosidase de *Saccharomyces cerevisiae* e uma solução 1 mM de pNPG foram preparadas em tampão fosfato de sódio 100 mM (pH 6,9). A mistura reacional foi preparada contendo 10 µL de α-glicosidase, 25 µL de pNPG e 10 µL de extrato e incubada a 37 °C por 10 min. Em seguida, foram adicionados 80 µL de carbonato de sódio (100 mM) e a absorvância foi determinada a 410 nm em leitor de microplacas *SpectraMax Plus 384* (Molecular

Devices, EUA). A mistura de todos os componentes reacionais menos o extrato e a mistura de todos os componentes menos o pNPG foram utilizados como controles analíticos. A porcentagem de inibição da α -glicosidase foi determinada segundo a equação (4):

$$\% \text{ de inibição} = \left(\frac{AbsC - AbsE}{AbsC} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde: $AbsC$ = absorvância do controle sem extrato e $AbsE$ = absorvância da amostra com extrato.

Determinação da atividade anticolinesterásica

A atividade inibitória da acetilcolinesterase (AChE) foi determinada com o auxílio de um kit de triagem de inibidores da acetilcolinesterase (Sigma-Aldrich), conforme as recomendações do fabricante, empregando-se os extratos diluídos em DMSO (50%). Inicialmente, preparou-se uma mistura (mix) dos componentes básicos da reação contendo tampão de ensaio, iodeto de acetiltiocolina e ácido 5,5'-ditiobis(2-nitrobenzoico) (DTNB). Em placas de 96 poços, adicionaram-se AChE (400 U/L em tampão) e 5 μ L de extrato e a placa foi mantida a 35 °C por 15 min. Em seguida, adicionaram-se 150 μ L de mix reacional. A hidrólise do iodeto de acetiltiocolina foi monitorada a 412 nm em um leitor de microplacas *SpectraMax Plus 384* (Molecular Devices, EUA) pela formação do ânion amarelo 5-tio-2-nitrobenzoato, resultante da reação do DTNB com a tiocolina liberada. A mistura de todos os componentes reacionais, menos o extrato, e a mistura de todos os componentes, menos o substrato, foram utilizadas como controles analíticos. A porcentagem de inibição da AChE foi determinada segundo a equação (5):

$$\% \text{ de inibição} = \left(\frac{AbsC - AbsE}{AbsC} \right) \times 100 \quad (5)$$

Onde: $AbsC$ = absorvância do controle sem extrato e $AbsE$ = absorvância da amostra com extrato.

Análise estatística

Os ensaios para a produção de biomassa seguiram o delineamento inteiramente casualizado e todos os ensaios analíticos foram conduzidos em triplicata. Os resultados

foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre as médias ($p \leq 0,05$) determinadas pelo teste de Scott-Knott com auxílio do software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2014).

RESULTADOS

Todos os diferentes comprimentos de luz foram capazes de promover o crescimento de *P. albidus*, entretanto, não houve diferenças significativas de crescimento em cada um dos estímulos avaliados (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de biomassa micelial de *Pleurotus albidus* cultivado em meio definido enriquecido com melaço de cana, sob diferentes condições de luminosidade.

Tratamento	Produção total de micélio (g/L)
Escuro	7,33 ± 0,52
Azul	7,43 ± 0,13
Verde	5,97 ± 0,26
Vermelho	6,83 ± 0,42
Coefficiente de variação (%)	21,28

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre as médias ($p \leq 0,05$) determinadas pelo teste de Scott-Knott.

Os teores totais de fenóis e flavonoides nos extratos miceliais de *P. albidus* apresentaram respostas distintas às condições de luminosidade (Tabela 3). A luz influenciou significativamente a produção de compostos fenólicos, mas o teor de flavonoides não diferiu entre os tratamentos. Em relação aos fenóis totais, observou-se que o cultivo sob luz azul favoreceu significativamente a produção, apresentando um valor 30% superior quando comparado aos tratamentos no escuro, verde e vermelho, que não apresentaram variações significativas entre si. Por outro lado, o teor de flavonoides totais não foi influenciado de maneira determinante pelos diferentes comprimentos de onda, com valores oscilando entre $86,80 \pm 0,50$ e $110,28 \pm 26,50$ $\mu\text{g EQ/mg}$, sem diferenças estatísticas entre os grupos. As concentrações de flavonoides mostraram-se superiores às de fenóis totais em todos os tratamentos.

Tabela 3. Teor de fenóis totais e de flavonoides totais dos extratos do micélio de *Pleurotus albidus* cultivado sob diferentes condições de luz.

Método	Escuro	Azul	Verde	Vermelho
Fenóis totais (μg EAG/mg)	$48,17 \pm 4,73^b$	$62,68 \pm 5,50^a$	$48,19 \pm 2,73^b$	$49,49 \pm 0,76^b$
Flavonoides totais (μg EQ/mg)	$91,17 \pm 12,65^a$	$96,60 \pm 4,59^a$	$86,80 \pm 0,50^a$	$88,76 \pm 1,55^a$

Os resultados são expressos como média \pm desvio padrão, com três repetições. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Scott–Knott ($p \leq 0,05$).

Os resultados das atividades antioxidantes mostraram que a luz afetou a atividade antioxidante dos extratos de *P. albidus* (Tabela 4). No método do poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP), a luz azul aumentou o poder redutor em 24% comparado ao escuro. Na luz verde e vermelha não houve diferença significativa do controle.

Nas atividades de captura de radicais livres DPPH• e ABTS•+ a incidência luminosa demonstrou interferência na atividade antioxidante dos extratos (Tabela 4). O IC₅₀ para neutralização dos radicais ABTS•+ dos extratos de *P. albidus* mostrou-se mais efetivo do que para neutralização do DPPH•. A luz azul aumentou a atividade antioxidante em relação ao radical ABTS•+ comparado ao escuro, enquanto a luz verde reduziu a atividade antioxidante e a luz vermelha não diferiu do controle. Já frente ao radical DPPH• a luz aumentou a atividade antioxidante em todos os comprimentos de onda, com aumento mais expressivo provocado pela luz vermelha.

Tabela 4. Atividades antioxidantes dos extratos do micélio de *Pleurotus albidus* cultivado sob diferentes condições de luz, determinadas pelos métodos do poder antioxidante redutor de íon férrico (FRAP) e de captura dos radicais livres 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH•) e 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS•+).

Método	Escuro	Azul	Verde	Vermelho
FRAP ($\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$)	19,31 \pm 2,26 ^b	23,93 \pm 0,96 ^a	19,10 \pm 1,42 ^b	19,81 \pm 2,10 ^b
DPPH• (IC ₅₀) (mg/mL)	368,03 \pm 24,75 ^c	141,72 \pm 4,54 ^b	131,97 \pm 2,83 ^b	109,31 \pm 3,94 ^a
ABTS•+ (IC ₅₀) (mg/mL)	87,38 \pm 0,67 ^b	76,50 \pm 2,70 ^a	102,07 \pm 2,62 ^c	87,52 \pm 1,24 ^b

Os resultados são expressos como média \pm desvio padrão, com três repetições. IC₅₀ = concentração inibitória, que representa a concentração de extrato necessária para inibir 50% dos radicais DPPH ou ABTS. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Controles positivos - Quercetina, IC₅₀ = 0,0148 \pm 0,01 mg/mL (DPPH), Trolox, IC₅₀ = 0,003 \pm 0,00 mg/mL (ABTS) e Trolox 10,5 \pm 0,9 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ (FRAP).

Todas as concentrações do extrato hidroalcoólico de *P. albidus* apresentaram fator de proteção solar (FPS) (Tabela 5). Nos micélios cultivados sob luz verde e vermelha, o maior índice de FPS foi atingido nas concentrações de 40 mg/mL de extrato. Nos micélios cultivados sob luz azul e no escuro, os melhores resultados foram obtidos na concentração máxima de 50 mg/mL (Tabela 5). As estatísticas demonstram que houve diferença significativa nos valores de FPS dos extratos do micélio, dependendo do estímulo luminoso, e correlação positiva entre a concentração de extrato e o valor do FPS. A luz vermelha promoveu aumento do FPS quando comparada ao escuro, enquanto na luz azul e verde houve diminuição. Entretanto, quando em concentração de 50 mg/mL, os extratos expostos a luz vermelha e verde apresentaram diminuição quando comparados a concentração de 40 mg/ml, em provável virtude estar muito concentrado em outros componentes além dos que absorvem luz UV. Os demais valores de FPS mostraram dependência da concentração de extrato.

Tabela 5. Fator de proteção solar (FPS) dos extratos hidroalcoólicos obtidos do micélio de *Pleurotus albidus* cultivado em meio contendo melaço de cana e sob diferentes comprimentos de onda de luz.

Concentração do extrato (mg/mL)	FPS			
	Escuro	Azul	Verde	Vermelho
10	6,70 ± 0,13 ^{eA}	4,87 ± 0,25 ^{eC}	5,63 ± 0,27 ^{eB}	6,53 ± 0,42 ^{eA}
20	13,90 ± 0,50 ^{dB}	10,35 ± 0,46 ^{dC}	13,56 ± 0,83 ^{dB}	20,22 ± 0,89 ^{dA}
30	22,96 ± 0,42 ^{cB}	17,10 ± 0,11 ^{cD}	21,98 ± 0,17 ^{cC}	25,62 ± 0,15 ^{cA}
40	25,68 ± 0,42 ^{bC}	19,63 ± 0,10 ^{aD}	30,10 ± 0,23 ^{aB}	37,90 ± 0,29 ^{aA}
50	34,30 ± 0,83 ^{aB}	26,31 ± 0,56 ^{bC}	25,72 ± 0,04 ^{bC}	36,18 ± 0,21 ^{bA}

Os resultados são a média ± desvio padrão de três repetições. Letras minúsculas na mesma coluna comparam médias de FPS das diferentes concentrações de extrato. Letras maiúsculas na mesma linha comparam médias de FPS nas diferentes condições de luminosidade. Médias indicadas por letras distintas diferem significativamente ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

Os quatro gráficos de varredura (Figuras 1, 2, 3 e 4) mostram o espectro de absorção da luz UV dos extratos obtidos a partir do cultivo em diferentes condições de luz. A análise revelou perfis semelhantes de absorção entre 290 e 400 nm, com diferenças na intensidade de absorção associadas à condição de iluminação do cultivo. Pode-se notar que todos absorvem predominantemente a luz UVB (290–320 nm), com redução gradual ao longo da região UVA, comportamento típico de substâncias com potencial fotoprotetor. Os extratos do cultivo no escuro e sob luz vermelha apresentaram máxima absorção na metade da faixa UVB enquanto o extrato produzido sob luz azul apresentou as menores absorbâncias.

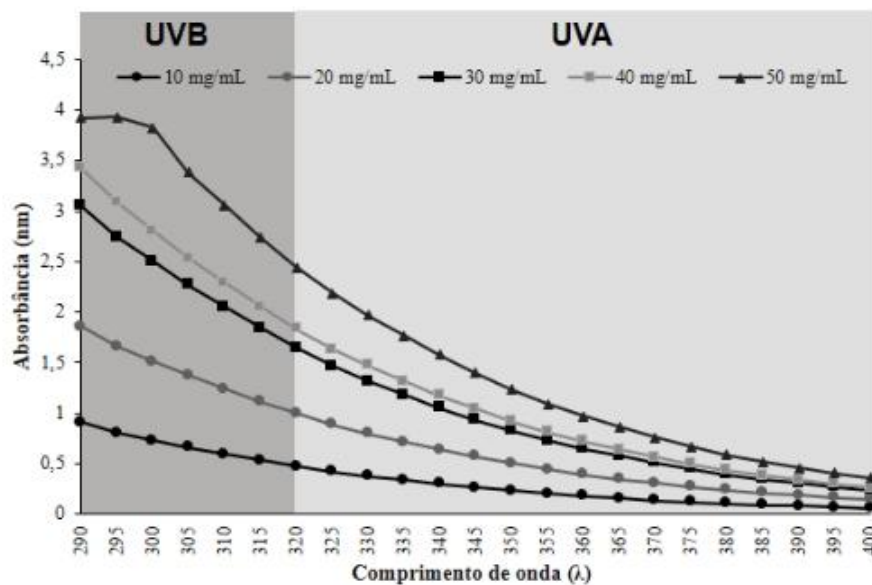


Figura 1. Espectro de absorção nos comprimentos de onda da radiação ultravioleta do extrato hidroalcoólico do micélio de *Pleurotus albidus* cultivado em meio contendo melado de cana e na ausência de luz.

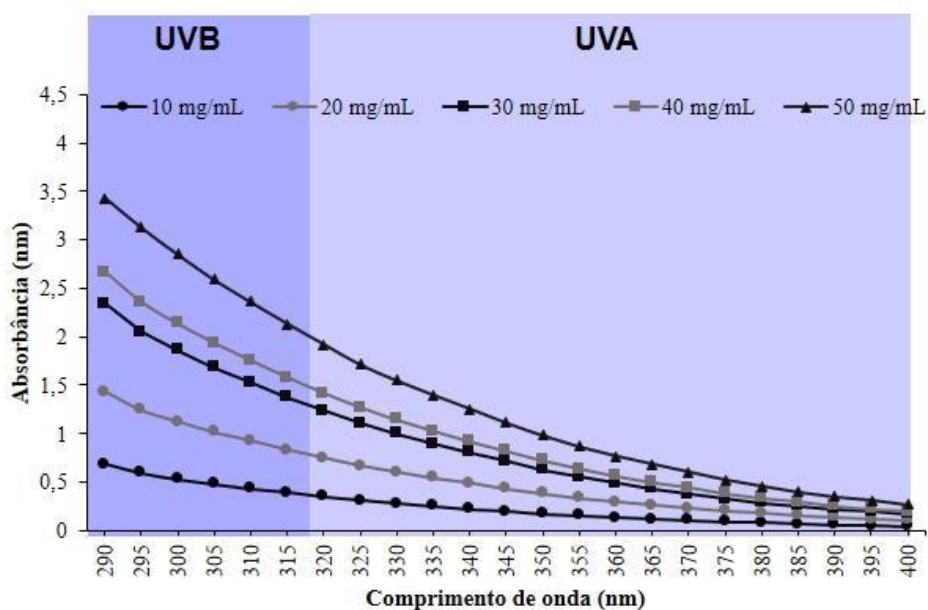


Figura 2. Espectro de absorção nos comprimentos de onda da radiação ultravioleta do extrato hidroalcoólico do micélio *Pleurotus albidus* cultivado em meio contendo melado de cana e sob luz azul.

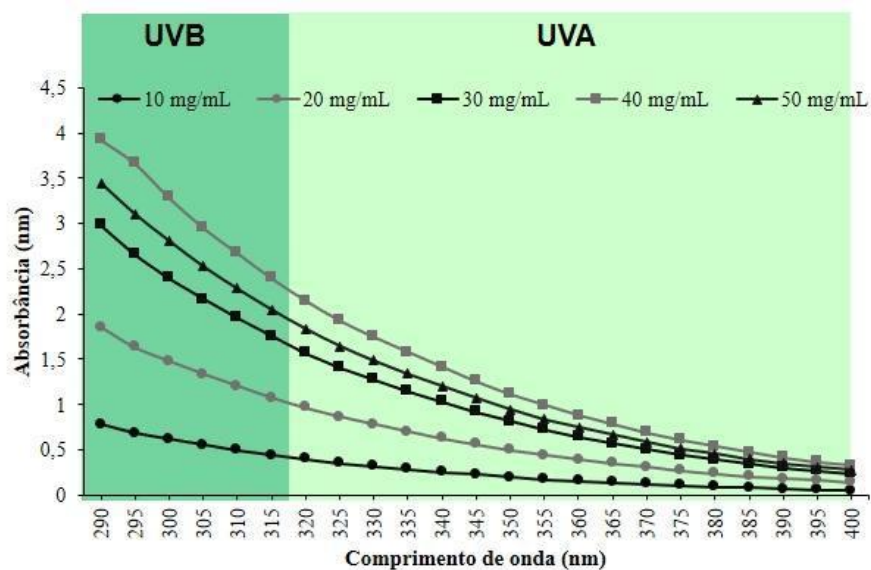


Figura 3. Espectro de absorção nos comprimentos de onda da radiação ultravioleta do extrato hidroalcoólico do micélio de *Pleurotus albidus* cultivado em meio contendo melão de cana e sob luz verde.

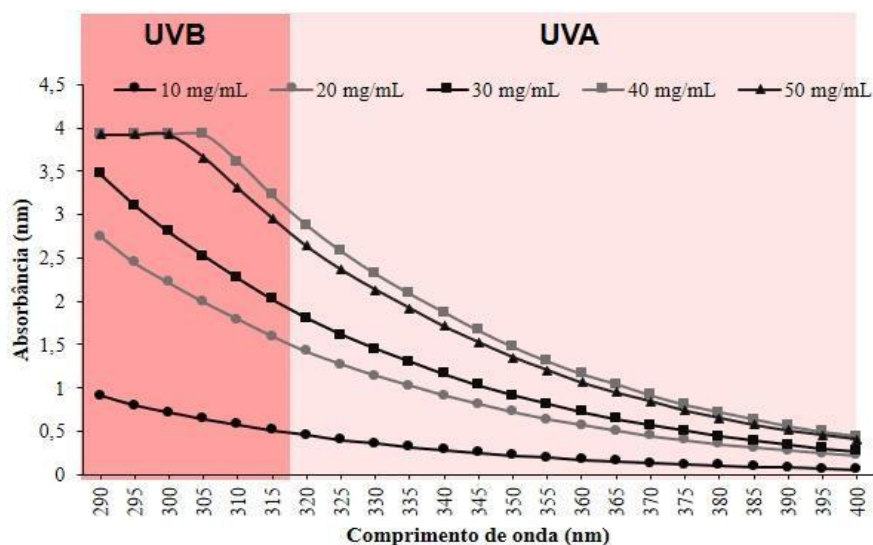


Figura 4. Espectro de absorção nos comprimentos de onda da radiação ultravioleta do extrato hidroalcoólico do micélio de *Pleurotus albidus* cultivado em meio contendo melão de cana e sob luz vermelha.

A razão UVA/UVB dos extratos apresentaram resultados acima de 0,80 em todas as concentrações e em todos os tratamentos, com proteção anti-UVA de quatro estrelas (máxima), de acordo com o sistema Boot's Star Rating, sendo o vermelho o com melhor índice (>0,92), com proteção anti-UVA de cinco estrelas (ultra) nas duas maiores

concentrações (Tabela 6). Além disso, os gráficos demonstram que os extratos são capazes de absorver luz UV em ambas as faixas (UVA e UVB) apesar de maior absorção na faixa UVB. Todos foram classificados como proteção máxima e as maiores concentrações do extrato da luz vermelha como ultra proteção. Entretanto, não podem ser classificados como fator de proteção solar de amplo espectro, uma vez que os comprimentos de onda crítico (Tabela 7) ficaram abaixo de 370 nm.

Tabela 6. Razão UVA/UVB dos extratos hidroalcoólicos obtidos do micélio de *Pleurotus albidus* cultivado em meio com melão de cana e em diferentes comprimentos de onda de luz.

Concentração de extrato (mg/mL)	Escuro		Azul		Verde		Vermelho	
	Razão UVA-UVB	Proteção anti-UVA	Razão UVA-UVB	Proteção anti-UVA	Razão UVA-UVB	Proteção anti- UVA	Razão UVA-UVB	Proteção anti-UVA
10	0,83 ± 0,00 ^{CB}	Máxima	0,84 ± 0,00 ^{CA}	Máxima	0,83 ± 0,00 ^{DA}	Máxima	0,81 ± 0,00 ^{DC}	Máxima
20	0,87 ± 0,01 ^{BA}	Máxima	0,87 ± 0,00 ^{BA}	Máxima	0,87 ± 0,00 ^{CA}	Máxima	0,86 ± 0,00 ^{CA}	Máxima
30	0,87 ± 0,00 ^{BB}	Máxima	0,87 ± 0,01 ^{BB}	Máxima	0,88 ± 0,00 ^{BA}	Máxima	0,86 ± 0,00 ^{CC}	Máxima
40	0,86 ± 0,00 ^{BC}	Máxima	0,87 ± 0,00 ^{BC}	Máxima	0,89 ± 0,00 ^{AB}	Máxima	0,96 ± 0,01 ^{AA}	Ultra
50	0,89 ± 0,00 ^{AB}	Máxima	0,89 ± 0,00 ^{AB}	Máxima	0,88 ± 0,00 ^{BB}	Máxima	0,93 ± 0,00 ^{BA}	Ultra

Os resultados são a média ± desvio padrão de três repetições. Classificação da proteção anti-UVA segundo o *Boot's star rating* (Boots, 2008). Letras minúsculas na mesma coluna comparam as médias de razão UVA-UVB das diferentes concentrações de extrato. Letras maiúsculas na mesma linha comparam as médias de razão UVA-UVB dos extratos obtidos nas diferentes condições de luminosidade. Médias indicadas por letras distintas diferem significativamente ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott.

Tabela 7. Comprimento de onda crítico (λ_c) dos extratos hidroalcoólicos obtidos do micélio de *Pleurotus albidus* cultivado em meio com melão de cana e em diferentes comprimentos de onda de luz.

Concentração de extrato (mg/mL)	λ_c			
	Escuro	Azul	Verde	Vermelho
10	360	360	360	360
20	365	365	365	365
30	365	365	365	365
40	365	365	365	365
50	365	365	365	365

Comprimento de onda crítico $\lambda_c \geq 370$ nm indica proteção solar de amplo espectro.

Os extratos demonstraram capacidade de inibir a tirosinase em todas as condições de luminosidade e dosagens testadas (Tabela 8). Na concentração inicial de 2,0 mg/mL, os índices inibitórios já se mostraram superiores a 80% em todos os tratamentos, com destaque estatístico para os micélios cultivados sob LED azul ($94,18\% \pm 2,38$) e vermelho ($91,80\% \pm 4,48$), que superaram os demais grupos de forma significativa. Verificou-se que o aumento da concentração de extrato potencializou o efeito inibitório, atingindo níveis de inibição plena ($\sim 100\%$) especialmente nos extratos provenientes dos cultivos no escuro e sob luz azul e vermelha.

Tabela 8. Inibição da atividade de tirosinase dos extratos do micélio de *Pleurotus albidus* cultivado sob diferentes condições de luz.

Extrato (mg/mL)	Inibição da tirosinase (%)			
	Escuro	Azul	Verde	Vermelho
2	$85,86 \pm 3,80^{bB}$	$94,18 \pm 2,38^{bA}$	$80,17 \pm 5,83^{bB}$	$91,80 \pm 4,48^{bA}$
4	$91,98 \pm 2,82^{aB}$	$94,74 \pm 1,68^{bB}$	$80,35 \pm 0,30^{bC}$	$98,03 \pm 1,17^{aA}$
6	$91,51 \pm 0,68^{aC}$	$95,15 \pm 1,54^{bB}$	$83,81 \pm 0,94^{bD}$	$100,00 \pm 0,00^{aA}$
8	$93,22 \pm 2,63^{aC}$	$100,00 \pm 0,00^{aA}$	$96,68 \pm 0,47^{aB}$	$100,00 \pm 0,00^{aA}$

Os resultados são a média \pm desvio padrão de três repetições. Médias indicadas por letras diferentes diferem significativamente ($p \leq 0,05$) de acordo com o teste de Scott-Knott. Letras minúsculas na mesma coluna comparam médias de inibição nas diferentes concentrações de extrato. Letras maiúsculas na mesma linha comparam médias de inibição em diferentes condições de luminosidade.

Contudo, os extratos não apresentaram atividade inibitória detectável frente à α -glicosidase e à acetilcolinesterase, independentemente da concentração ou da condição de iluminação durante o cultivo. Em todas as concentrações testadas, os percentuais de inibição foram desprezíveis ou estatisticamente não significativos ($p > 0,05$).

DISCUSSÃO

Esse é o primeiro estudo a realizar uma análise bioquímica e funcional do fungo *Pleurotus albidus* cultivado em meio contendo resíduo agroindustrial e sob diferentes condições de luz. No presente estudo ficaram evidentes os efeitos da luz no metabolismo e produção de compostos bioativos de *P. albidus*, pois diferentes comprimentos de onda de luz afetaram ao mesmo tempo o teor de compostos fenólicos, a atividade antioxidante dos extratos, o potencial fotoprotetor e a inibição da tirosinase, indicando que a luz atua como modulador metabólico para essa espécie

A luz é um fator ambiental que afeta o metabolismo dos fungos, alterando a atividade enzimática, a produção de biomassa micelial e de metabólitos por meio de sistemas fotorreceptores conservados, como proteínas do complexo *White Collar* e fitocromos (Corrochano, 2019). Os fungos utilizam a luz como informação ambiental, ajustando sua fisiologia às condições do ambiente (Dunlap; Loros, 2017). No presente estudo, a ausência de diferenças significativas na produção de biomassa sugere que a luz não afetou o crescimento primário de *P. albidus*, mas modulou predominantemente o metabolismo. Estudos prévios demonstraram que o micélio de outras espécies de *Pleurotus* é suscetível à influência luminosa. Araújo *et al.*, (2021a) evidenciaram uma diminuição na produção de micélio de *Pleurotus* spp. quando cultivado sob a luz verde, mas aumento da atividade de enzimas celulolíticas. Brakatsa *et al.* (2024) relataram o aumento da produção de exopolissacarídeos pelo micélio de *P. ostreatus* sob luz vermelha e verde. Além disso, micélios de *Pleurotus* spp. apresentaram maior crescimento em meio com maior complexidade de açúcares (Araújo *et al.*, 2021b), o que demonstra a possibilidade da utilização de resíduos agroindustriais na produção de *P. albidus*, como evidenciado em nosso estudo.

A luz azul promoveu um aumento significativo do teor de fenóis totais, indicando possível ativação de vias associadas à resposta ao estresse oxidativo. Luz de menor comprimento e maior energia podem induzir mecanismos de defesa celular, estimulando a síntese de compostos fenólicos com capacidade redutora e neutralizadora de espécies reativas (Liberal *et al.*, 2023). Em basidiomicetos, fenóis, policetídeos e pigmentos aromáticos desempenham papel protetor contra radiação e estresse ambiental, atuando como doadores de elétrons e agentes quelantes de metais (Karunarathna *et al.*, 2025).

O teor de flavonoides totais não foi significativamente alterado pelas condições de iluminação, sugerindo que a modulação luminosa afetou preferencialmente grupos específicos de compostos fenólicos. As diferenças observadas entre fenóis totais e flavonoides refletem tanto a composição química do micélio quanto a especificidade metodológica dos ensaios empregados. O método de Folin–Ciocalteu avalia a capacidade redutora total do extrato, sendo mais sensível a fenóis simples, enquanto o método do cloreto de alumínio quantifica metabólitos capazes de formar complexos com íons Al^{3+} , como flavonoides e compostos aromáticos conjugados (Prior *et al.*, 2005). Essa distinção técnica justifica a detecção de concentrações de flavonoides superiores as de fenóis totais em todos os grupos experimentais avaliados e se correlaciona com os resultados de atividade antioxidante (Ferreira *et al.*, 2009; Heleno *et al.*, 2015).

A atividade antioxidante apresentou correlação parcial com o teor de fenóis totais, sendo que a luz azul induziu o maior potencial redutor (FRAP) e a maior capacidade de sequestro de radicais (ABTS $^{\bullet+}$). Tal resposta sugere a presença de metabólitos com mecanismos de ação híbridos (transferência de elétrons e de átomos de hidrogênio), com perfil característico de polifenóis hidrofílicos e de pigmentos protetores (Karunarathna *et al.*, 2025). Em basidiomicetos, esse fenômeno é mediado por fotorreceptores específicos, como o complexo *White Collar*, que ativam vias metabólicas de defesa contra o estresse oxidativo fotoinduzido (Pawlik *et al.*, 2025). Em contrapartida, a menor eficiência sob luz verde e a neutralidade da luz vermelha, exceto pela melhora no resultado do DPPH $^{\bullet}$, indicam que esses comprimentos de onda não ativam as mesmas rotas enzimáticas ou podem desviar o fluxo metabólico para compostos estruturais sem propriedades antioxidantes, reforçando a ideia de que a qualidade da luz modula o perfil funcional do metabolismo fúngico (Yu *et al.*, 2023).

O potencial fotoprotetor demonstrado pelos extratos amplia a relevância biotecnológica dos resultados. Todos os tratamentos apresentaram valores de FPS superiores ao mínimo exigido para produtos multifuncionais (ANVISA, 2022), com destaque para o cultivo sob luz vermelha, que promoveu os maiores valores de FPS e a melhor razão UVA/UVB. A capacidade de absorção predominante na região UVB, associada a uma razão UVA/UVB elevada, indica um perfil promissor para aplicação cosmética (Wontcheu Fotso *et al.*, 2023). Embora o comprimento de onda crítico tenha permanecido abaixo de 370 nm, o que impede a classificação como amplo espectro, os resultados sugerem potencial para uso como coadjuvante fotoprotetor ou ingrediente antioxidante em formulações.

Rahman *et al.* (2021) mostraram que o extrato de *Pleurotus flabellatus* exerceu efeito fotoprotetor em fibroblastos dérmicos humanos, elevando a viabilidade celular e estimulando a migração das células após a exposição à radiação UVA. Em outras espécies, como relatado por Cheng *et al.* (2018), os extratos etanólico e de acetato de etila do micélio de *Cordyceps sinensis* apresentaram expressivo efeito fotoprotetor, alcançando fator de proteção solar de até 25, dessa forma, o extrato de *P. albidus* apresenta maior fator de proteção em comparação.

Embora os resultados *in vitro* indiquem elevado potencial antioxidante e fotoprotetor, estudos adicionais são necessários para avaliar estabilidade, toxicidade e eficácia em modelos celulares ou formulações, uma vez que ensaios espectrofotométricos não reproduzem completamente o comportamento de filtros solares em formulações.

Fungos são uma fonte rica em moléculas bioativas, incluindo compostos inibidores de enzimas (Martins *et al.*, 2023). Este estudo é o primeiro relato sobre a capacidade do extrato da biomassa micelial de *P. albidus* de inibir a tirosinase.

A enzima tirosinase é um importante alvo no controle da pigmentação da pele. Algumas abordagens para modular sua atividade envolvem ajustes na expressão gênica, modificação da enzima e inibição de sua atividade catalítica, visando controlar a síntese de melanina e a pigmentação indesejada da pele (Boo, 2019).

A elevada atividade antitirosinase observada em todos os tratamentos, especialmente sob luz vermelha e azul, reforça o potencial dermocosmético dos extratos. A tirosinase é uma enzima cobre-dependente, e compostos fenólicos com grupos hidroxila aromáticos podem atuar tanto como quelantes do cobre presente no sítio ativo quanto como competidores do substrato (Thring *et al.*, 2009). A resposta dose-dependente observada indica robusta capacidade inibitória, superando valores relatados para outras espécies de *Pleurotus*, como o extrato metanólico de *P. ostreatus* que apresentou atividade inibitória máxima de 59,56% na concentração de 1 mg/mL (Alam *et al.*, 2010). A influência da luz foi mais evidente em concentrações menores, sugerindo que alterações qualitativas no perfil metabólico podem impactar a eficiência específica dos extratos.

A ausência de atividade inibitória sobre α -glicosidase e acetilcolinesterase sugere que a luz direcionou preferencialmente rotas relacionadas à defesa oxidativa e proteção contra radiação, sem impactar significativamente vias metabólicas associadas à produção de inibidores eficazes da α -glicosidase e acetilcolinesterase.

A modulação luminosa observada neste estudo sugere um redirecionamento do metabolismo de *P. albidus* em resposta a diferentes comprimentos de onda,

possivelmente envolvendo regulação mediada por fotorreceptores como White Collar (sensíveis à luz azul) e fitocromos (sensíveis à luz vermelha). A luz azul, associada a maior energia, pode ter induzido rotas de defesa oxidativa, favorecendo a síntese de compostos fenólicos redutores. Por outro lado, a luz vermelha pode ter estimulado a produção de metabólitos aromáticos com maior capacidade de absorção na região UVB, o que explica o aumento do FPS e a inibição da tirosinase. Esses resultados indicam que diferentes comprimentos de onda não apenas modulam quantitativamente a produção de metabólitos, mas também direcionam qualitativamente o perfil funcional da biomassa micelial.

Por fim, o uso de melaço de cana-de-açúcar como substrato demonstra a viabilidade técnica e o alinhamento com princípios de economia circular, reforçando o potencial sustentável do bioprocessamento (Sarris *et al.*, 2026). A combinação entre esse resíduo agroindustrial e a modulação luminosa representa abordagem promissora para obtenção de biomassa micelial com perfil funcional direcionado a diversas aplicações.

CONCLUSÕES

O uso de LED em diferentes comprimentos de onda de luz é uma estratégia eficaz para modular o metabolismo de *Pleurotus albidus* e potencializar a produção de bioativos. A luz azul favoreceu significativamente a síntese de compostos fenólicos e aumentou a capacidade antioxidante, enquanto a luz vermelha otimizou o perfil fotoprotetor e a atividade inibitória da tirosinase. Os extratos apresentaram elevado potencial antioxidante, fotoprotetor e anti-tirosinase, mas não demonstraram atividade relevante frente à α -glicosidase e à acetilcolinesterase. A forte inibição da tirosinase indica o potencial dos extratos como insumos multifuncionais promissores para o manejo de hiperpigmentações e fotoenvelhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES, a UNIPAR, a Fundação Araucária e ao CNPq pelo financiamento do meu trabalho, proporcionando uma oportunidade ímpar de gerar conhecimento científico.

REFERÊNCIAS

ALAM, Nuhu *et al.* Antioxidant activities and tyrosinase inhibitory effects of different extracts from *Pleurotus ostreatus* fruiting bodies. **Mycobiology**, v. 38, n. 4, p. 295-301, 2010.

ALMEIDA, P. H. *et al.* Decolorization of remazol brilliant blue R with laccase from *Lentinus crinitus* grown in agro-industrial by-products. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 04, p. 3463-3473, 2018.

ALVES, Elizângela; KUBOTA, Ernesto Hashime. Conteúdo de fenólicos, flavonoides totais e atividade antioxidante de amostras de própolis comerciais. **Revista de ciências farmacêuticas básica e aplicada**, v. 34, n. 1, 2013.

ANVISA. Resolução - **RDC N° 629**, de 10 de março de 2022. Dispõe sobre protetores solares e produtos multifuncionais em cosméticos e internaliza a Resolução GMC MERCOSUL n° 08/2011. Ministério da Saúde. 2022. <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-629-de-10-de-marco-de-2022-386099957>.

ARAÚJO, Nelma Lopes *et al.* Use of green light to improve the production of lignocellulose-decay enzymes by *Pleurotus spp.* in liquid cultivation. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 149, p. 109860, 2021.

AWASTHI, Mukesh Kumar *et al.* Filamentous fungi for sustainable vegan food production systems within a circular economy: Present status and future prospects. **Food Research International**, v. 164, p. 112318, 2023

BARROS, Lillian *et al.* Phenolic acids determination by HPLC–DAD–ESI/MS in sixteen different Portuguese wild mushrooms species. **Food and Chemical Toxicology**, v. 47, n. 6, p. 1076-1079, 2009.

BOO, Yong Chool *p*-Coumaric acid as an active ingredient in cosmetics: A review focusing on its antimelanogenic effects. **Antioxidants**, v. 8, n. 8, p. 275, 2019.

BOOTS THE CHEMIST. Measurement of UVA: UVB Ratio according to the Boots star rating system (2008 Revision). **The Boots Co.**: Nottingham, UK, 2008.

BRAZKOVA, Mariya *et al.* Bioactive Metabolites from the Fruiting Body and Mycelia of Newly-Isolated Oyster Mushroom and Their Effect on Smooth Muscle Contractile Activity. **Foods**, v. 11, n. 24, p. 3983, 2022.

CHENG, Wai-Yin *et al.* Cosmetic and skincare benefits of cultivated mycelia from the Chinese caterpillar mushroom, *Ophiocordyceps sinensis* (Ascomycetes). **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 20, n. 7, 2018.

CORROCHANO, Luis M. Light in the fungal world: from photoreception to gene transcription and beyond. **Annual review of genetics**, v. 53, n. 1, p. 149-170, 2019.

DA COSTA, Paola Quevedo *et al.* Beneficial effects of *Pleurotus albidus* supplementation on body weight and food intake in healthy C57BL/6 mice. **Journal of Future Foods**, v. 1, n. 1, p. 98-103, 2021.

- DAOU, Mariane et al. In vitro α -glucosidase inhibitory activity of *Tamarix nilotica* shoot extracts and fractions. **Plos one**, v. 17, n. 3, p. e0264969, 2022.
- DEEPALAKSHMI, Krishnamoorthy; SANKARAN, Mirunalini. *Pleurotus ostreatus*: an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. **Journal of Biochemical Technology**, v. 5, n. 2, p. 718-726, 2014.
- DUNLAP, Jay C.; LOROS, Jennifer J. Making time: conservation of biological clocks from fungi to animals. **Microbiology spectrum**, v. 5, n. 3, p. 10.1128/microbiolspec.funk-0039-2016, 2017.
- FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.
- FERREIRA, Isabel CFR; BARROS, Lillian; ABREU, Rui. Antioxidants in wild mushrooms. **Current Medicinal Chemistry**, v. 16, n. 12, p. 1543-1560, 2009.
- FISCHER, Reinhard *et al.* The complexity of fungal vision. **Microbiology Spectrum**, v. 4, n. 6, p. 10.1128/microbiolspec.funk-0020-2016, 2016.
- FITSUM, Solomon; SBHATU, Desta Berhe; GEBREYOHANNES, Gebreselema. Harnessing the nutritional value, therapeutic applications, and environmental impact of mushrooms. **Food Science & Nutrition**, v. 13, n. 7, p. e70611, 2025.
- HALABURA, Marisangela Isabel Wietzikoski *et al.* Light conditions affect the growth, chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of the white-rot fungus *Lentinus crinitus* mycelial biomass. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 22, n. 3, p. 669-686, 2023.
- HELENO, Sandrina A. *et al.* Chemical composition, antioxidant activity and bioaccessibility studies in phenolic extracts of two *Hericium* wild edible species. **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 475-481, 2015.
- KARUNARATHNA, Samantha C. *et al.* Basidiomycete pigments as sustainable food colorants and stabilizers: from fungal biology to industrial potential. **Frontiers in Microbiology**, v. 16, p. 1725536, 2025.
- LIBERAL, Ângela *et al.* Phenolic acids from fungi. In: **Natural Secondary Metabolites: From Nature, Through Science, to Industry**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 475-495.
- LUO, Qingqing *et al.* Effect of different light quality and photoperiod on mycelium and fruiting body growth of *Tricholoma giganteum*. **Life**, v. 16, n. 1, p. 39, 2026.
- ŁYSAKOWSKA, Paulina; SOBOTA, Aldona; WIRKIJOWSKA, Anna. Medicinal mushrooms: their bioactive components, nutritional value and application in functional food production—a review. **Molecules**, v. 28, n. 14, p. 5393, 2023.
- MACRINI, Daclé Juliani et al. Extracts from Amazonian plants have inhibitory activity against tyrosinase: an *in vitro* evaluation. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, p. 715-721, 2009.

- MANSUR, João de Souza *et al.* Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, p. 121-4, 1986.
- MARIM, R. A. *et al.* *Lentinus crinitus* strains respond differently to cultivation pH and temperature. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 10.4238, 2018.
- MARTINS, Tânia *et al.* Antioxidant, antimicrobial and cosmeceutical potential of wild mushroom extracts. **Applied Microbiology**, v. 3, n. 2, p. 562-579, 2023.
- NIEGO, Allen Grace T. *et al.* The contribution of fungi to the global economy. **Fungal Diversity**, v. 121, n. 1, p. 95-137, 2023.
- OLIVEIRA, Mônica B. S. *et al.* Photoprotective and antiglycation activities of non-toxic *Cocos nucifera* Linn. (Arecaceae) husk fiber ethanol extract and its phenol chemical composition. **Industrial Crops and Products**, v. 162, p. 113246, 2021.
- OMBRA, Maria Neve; NAZZARO, Filomena; FRATIANNI, Florinda. Lowering the predicted glycemic index of pasta using dried onions as functional ingredients. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 73, n. 4, p. 443-450, 2022.
- PAWLIK, Anna *et al.* Modulation of *Abortiporus biennis* response to oxidative stress by light as a new eco-friendly approach with a biotechnological perspective. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 12, p. 5482, 2025.
- PRIOR, Ronald L.; WU, Xianli; SCHAICH, Karen. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 10, p. 4290-4302, 2005.
- RAGHUKUMAR, Seshagiri; RAGHUKUMAR, Seshagiri. Fungi: Characteristics and classification. **Fungi in coastal and oceanic marine ecosystems: Marine fungi**, p. 1-15, 2017.
- RAHMAN, Norintan Suhaida Abdul *et al.* Antioxidative and photoprotective effects of *Pleurotus flabellatus* (Pink Oyster Mushroom) polysaccharides Against UVA radiation-induced cytotoxicity in human dermal fibroblast (HS-27) cell line. **Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences**, v. 17, p. 185-191, 2021
- RATHORE, Himanshi *et al.* Medicinal importance of mushroom mycelium: Mechanisms and applications. **Journal of functional foods**, v. 56, p. 182-193, 2019.
- REIS, Eduardo Echer *et al.* *Pleurotus albidus* (Agaricomycetes) antioxidant action induces vasodilation in aorta arteries: The influence of the NADPH/NOS balance. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 24, n. 4, 2022.
- RUFINO, M. D. S. M. *et al.* Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. 2007.
- SALTARELLI, Roberta *et al.* Biochemical characterisation and antioxidant activity of mycelium of *Ganoderma lucidum* from Central Italy. **Food Chemistry**, v. 116, n. 1, p. 143-151, 2009.

SARRIS, Dimitris *et al.* Submerged agitated cultures of edible Ascomycetes and Basidiomycetes grown on carbon-rich waste streams: Mycelial mass production and volatile compound analysis. **Applied Sciences**, v. 16, n. 3, p. 1615, 2026.

SHARMA, Aparajita; SHARMA, Aditi; TRIPATHI, Astha. Biological activities of *Pleurotus spp.* polysaccharides: A review. **Journal of Food Biochemistry**, v. 45, n. 6, p. e13748, 2021.

SINGLETON, Vernon L.; ORTHOFER, Rudolf; LAMUELA-RAVENTÓS, Rosa M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: **Methods in enzymology**. Academic press, 1999. p. 152-178.

THRING, Tamsyn SA; HILI, Pauline; NAUGHTON, Declan P. Anti-collagenase, anti-elastase and anti-oxidant activities of extracts from 21 plants. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 9, n. 1, p. 27, 2009.

VILLANI, Alessandra *et al.* Shedding light on *Pleurotus*: An update on taxonomy, properties, and photobiology. **Microbiological Research**, p. 128110, 2025.

WANG, Tianyou *et al.* Polyphenolic sunscreens for photoprotection. **Green Chemistry**, v. 24, n. 9, p. 3605-3622, 2022.

WONTCHEU FOTSO, Yolande A. *et al.* Extraction, chemical composition, antiradical capacity, and photoprotective effect of *Inonotus obliquus* from Eastern Canada. **Nutraceuticals**, v. 3, n. 3, p. 380-402, 2023.

WU, Y. *et al.* Light color dihydroxybenzophenone grafted lignin with high UVA/UVB absorbance ratio for efficient and safe natural sunscreen. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 39, p. 17057-17068, 2020.

YU, Wenbin *et al.* Light regulation of secondary metabolism in fungi. **Journal of Biological Engineering**, v. 17, n. 1, p. 57, 2023.