



AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA CAPACIDADE LIGNOLÍTICA DO FUNGO BASIDIOMICETO *PLEUROTUS PULMONARIUS* NA BIORREMEDIAÇÃO DE EFLUENTES AGROINDUSTRIAIS

Larissa Alves dos Santos¹; André Rodrigues de Carvalho Júnior²; Iruan dos Santos Medeiros¹; Luíza Helena da Silva Megale¹; Luiz Fernando Romanholo Ferreira²

¹Ciências Biológicas – Universidade Católica de Brasília;

²Programa de Pós-Graduação em Ciências Genômicas e Biotecnologia – Universidade Católica de Brasília.

E-mail: larissadossantos990@gmail.com; andrerc5@gmail.com; iruandossantos1@gmail.com; lhsmegale@gmail.com; luiz.romanholo@p.ucb.br.

RESUMO

A intensificação agroindustrial gera efluentes recalcitrantes com elevado potencial poluidor, demandando alternativas sustentáveis de tratamento, como o uso de fungos basidiomicetos ligninolíticos. Este estudo avaliou o potencial de *Pleurotus pulmonarius* na produção de lacase e manganês peroxidase (MnP) utilizando vinhaça e *pulp wash*. O cultivo ocorreu sob agitação orbital (200 rpm), a 28 °C, no escuro, por 18 dias, com coletas a cada 3 dias para quantificação espectrofotométrica da atividade enzimática. Para MnP, a vinhaça atingiu pico no 9º dia (621,52 U/mL) e o *pulp wash* no 18º dia (68,16 U/mL). Para lacase, a vinhaça apresentou máxima no 15º dia (923,46 U/mL) e o *pulp wash* no 9º dia (1178,60 U/mL). Os resultados evidenciam a capacidade de *P. pulmonarius* na síntese de enzimas ligninolíticas a partir de resíduos agroindustriais, promovendo a biorremediação alinhada à bioeconomia e ao ODS 12.

Palavras-chave: *Pleurotus pulmonarius*. Lacase. Manganês peroxidase.

INTRODUÇÃO

A citricultura possui grande relevância econômica e social, especialmente no Brasil, líder mundial na produção e exportação de suco de laranja. No entanto, o processamento industrial da fruta gera grandes volumes de efluentes líquidos, entre eles o *pulp wash*, um subproduto rico em açúcares, fibras e proteínas, que pode apresentar potencial poluidor quando descartado de forma inadequada no ambiente (FAEG/SENAR, 2019; Garcia-Castello et al., 2022).

De forma semelhante, a intensificação das atividades agroindustriais no setor sucroalcooleiro resulta na geração de grandes volumes de vinhaça, um efluente líquido oriundo da produção de etanol. A vinhaça apresenta elevada carga orgânica, altos valores de demanda bioquímica e química de oxigênio, além da presença de compostos fenólicos e melanoidinas, o que dificulta seu tratamento por métodos convencionais e pode ocasionar impactos ambientais significativos quando manejada de forma inadequada (Freire & Cortez, 2000; Silva et al., 2014; UNICA, 2025).

Diante desse cenário de geração crescente de efluentes agroindustriais com elevado potencial poluidor, torna-se necessária a busca por alternativas sustentáveis capazes de promover o tratamento e a valorização desses subprodutos. Nesse contexto, a bioeconomia propõe o uso de recursos biológicos de forma sustentável, enquanto a economia circular busca reduzir desperdícios por meio da reutilização e valorização de resíduos. A aplicação desses conceitos permite transformar efluentes como vinhaça e *pulp wash* em recursos úteis por meio de processos biotecnológicos.

Entre essas estratégias, destacam-se os fungos basidiomicetos ligninolíticos, capazes de produzir enzimas oxidativas extracelulares que degradam compostos orgânicos complexos. Dentre essas enzimas, a lacase (EC 1.10.3.2) e a manganês peroxidase (EC 1.11.1.13) atuam na degradação



de fenóis, lignina e compostos semelhantes, contribuindo para a redução da toxicidade e da coloração dos efluentes (Baldrian, 2006; Tiwari et al., 2023).

Espécies do gênero *Pleurotus* apresentam elevada versatilidade metabólica e capacidade de crescimento em diferentes substratos lignocelulósicos, sendo amplamente empregadas em estudos voltados à valorização de subprodutos agroindustriais e à mitigação de impactos ambientais (Palmieri et al., 2001; Santana et al., 2023). A produção de enzimas ligninolíticas por esses fungos está associada a mecanismos de resposta ao estresse oxidativo imposto por compostos tóxicos presentes nos meios de cultivo, resultando na ativação de sistemas enzimáticos eficientes para a degradação de moléculas recalcitrantes (Sánchez, 2022).

OBJETIVO

Avaliar comparativamente a capacidade ligninolítica do fungo basidiomiceto *Pleurotus pulmonarius* na biorremediação de efluentes agroindustriais, por meio da quantificação da produção das enzimas lacase (EC 1.10.3.2) e manganês peroxidase (EC 1.11.1.13), cultivado em vinhaça e *pulp wash*, visando à valorização biotecnológica e à mitigação dos impactos ambientais desses resíduos.

MÉTODO

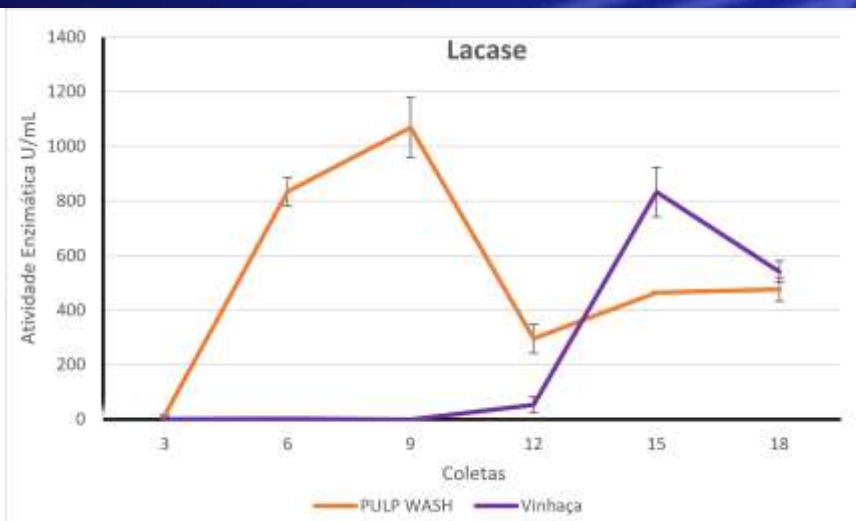
O fungo *Pleurotus pulmonarius*, reativado a partir do método de Castellani, foi cultivado em ágar extrato de malte (MEA) a 28 ± 1 °C por 7 dias, confirmando-se a capacidade ligninolítica com guaiacol (4×10^{-3} mol/L). Para a fermentação submersa, inóculos de cinco discos de micélio (1,5 cm) foram transferidos para vinhaça bruta e *pulp wash* (100 mL, pH 6,0; autoclavados a 121 °C por 15 min), sendo mantidos sob agitação de 200 rpm, a 28 ± 2 °C e no escuro, durante 18 dias. As coletas ocorreram a cada 3 dias, seguidas de centrifugação (9000 rpm, 10 min, 4 °C) para obtenção do sobrenadante bruto. A atividade volumétrica (U/mL) da lacase (EC 1.10.3.2) foi determinada por espectrofotometria pela oxidação do ABTS a 420 nm em triplicata, e a da manganês peroxidase (MnP, EC 1.11.1.13) pela oxidação do vermelho de fenol na presença de MnSO_4 e H_2O_2 a 610 nm (30 °C por 5 min) em quintuplicata, utilizando controles inativados termicamente.

RESULTADOS

A triagem qualitativa em placas de MEA suplementadas com guaiacol revelou a formação de halos avermelhados ao redor do micélio, confirmando a capacidade oxidativa prévia de *Pleurotus pulmonarius*. Nos ensaios de fermentação submersa, a cinética de secreção enzimática variou expressivamente em função do substrato e da classe de enzima analisada. Para a enzima lacase, o comportamento cinético nos dois substratos está ilustrado na Figura 1.

Figura 1

Atividade enzimática de lacase mensurada pela oxidação de ABTS (U/mL) produzida pelo isolado *P. pulmonarius* em intervalo de 72 horas durante 18 dias de cultivo.



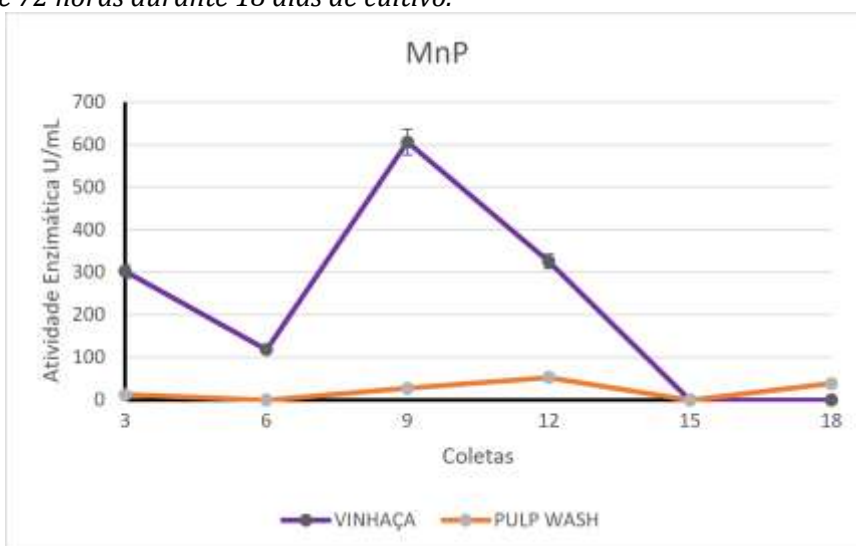
Nota. Médias obtidas a partir de ensaios espectrofotométricos de oxidação do ABTS em triplicata ($n = 3$); barras de erro indicam o desvio-padrão. Valores calculados como negativos devido a interferências analíticas da matriz foram representados graficamente como atividade não detectada (zero).

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

O *pulp wash* proporcionou uma indução mais rápida e com maior atividade máxima para a lacase, alcançando seu pico no 9º dia de cultivo (ponto 3, com 1178,60 U/mL), enquanto na vinhaça a produção máxima ocorreu mais tardiamente, atingindo 923,46 U/mL no 15º dia (ponto 5). Em relação à manganês peroxidase (MnP), o perfil de secreção apresentou dinâmica distinta, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2

Atividade enzimática de manganês peroxidase (MnP - U/mL) produzida pelo isolado *P. pulmonarius* em intervalos de 72 horas durante 18 dias de cultivo.



Nota. Médias obtidas a partir de ensaios em quintuplicata ($n = 5$); barras de erro indicam o desvio-padrão. Valores calculados como negativos devido a interferências analíticas da matriz foram representados graficamente como atividade não detectada (zero).



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A produção de MnP foi expressivamente superior no meio contendo vinhaça bruta, registrando atividade máxima de 621,52 U/mL no 9º dia (ponto 3). Esse valor foi cerca de nove vezes maior do que o pico observado no *pulp wash*, que ocorreu apenas no 18º dia (ponto 6, com 68,16 U/mL). Esse comportamento evidencia que a presença de melanoidinas e compostos fenólicos mais complexos na vinhaça atuou como forte estímulo indutor para a rota oxidativa da MnP, demonstrando a plasticidade fisiológica e o potencial biotecnológico de *P. pulmonarius* na valorização de diferentes matrizes agroindustriais.

CONCLUSÃO

O basidiomiceto *Pleurotus pulmonarius* demonstrou elevada capacidade de adaptação e secreção de enzimas ligninolíticas nos efluentes agroindustriais avaliados. O *pulp wash* atuou como substrato indutor preferencial para a síntese de lacase, com atividade máxima observada no 9º dia de cultivo (1178,60 U/mL), enquanto a vinhaça bruta estimulou predominantemente a produção de manganês peroxidase (621,52 U/mL no 9º dia). Esses resultados confirmam o potencial biotecnológico do fungo na valorização de subprodutos agroindustriais e na biorremediação de matrizes recalcitrantes, integrando-se de forma eficiente aos princípios da economia circular e da bioeconomia.

REFERÊNCIAS

- Baldrian, P. (2006). Fungal laccases – occurrence and properties. *FEMS Microbiology Reviews*, 30, 215–242.
- FAEG/SENAR. (2019). *A importância da citricultura nacional*.
- Freire, W. J., & Cortez, L. A. B. (2000). *Vinhaça de cana-de-açúcar* (Série Engenharia Agrícola, 1). Livraria e Editora Agropecuária.
- Garcia-Castello, E., Rodriguez-Lopez, A., Conidi, C., & Cassano, A. (2022). Valorization of citrus by-products by membrane processes. In *Membrane engineering in the circular economy*. Elsevier.
- Palmieri, G., Moretti, M., Papa, R., Politi, M., Pontieri, P., & Vitale, A. (2001). Differential regulation of laccase gene expression in *Pleurotus sajor-caju*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 56, 594–600.
- Sánchez, C. (2022). Fungal biodegradation of lignocellulosic residues: An overview of the main enzymes involved and industrial applications. *Biotechnology Advances*, 60, 108019. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.108019>
- Tiwari, A., Singh, R., Kumar, P., & Sharma, P. (2023). Laccase in biorefinery of lignocellulosic biomass. *Applied Sciences*, 13(8), 4673.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.