

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO

FERNANDA DOS SANTOS CORREA

PRODUÇÃO DE ENZIMAS A PARTIR DE BIOCOMPÓSITO
DE *Trichoderma koningiopsis* EM BIORREATOR

ERECHIM - RS

2026

FERNANDA DOS SANTOS CORREA

**PRODUÇÃO DE ENZIMAS A PARTIR DE BIOCOMPÓSITO
DE *Trichoderma koningiopsis* EM BIORREATOR**

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Helen Treichel

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Ciência
Biológicas da Universidade Federal da
Fronteira Sul (UFFS), como requisito
para obtenção do título de Biólogo.

ERECHIM

2026

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Correa, Fernanda dos Santos

PRODUÇÃO DE ENZIMAS A PARTIR DE BIOCOMPÓSITO DE
Trichoderma koningiopsis EM BIORREATOR / Fernanda dos
Santos Correa. -- 2026.

24 f.:il.

Orientadora: Professora e Doutora Prof.^a Dr.^a Helen
Treichel

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Ciências Biológicas, Erechim, RS, 2026.

1. Trichoderma koningiopsis; amilase; celulase;
fermentação submersa; biorreator Airlift.. I. Treichel,
Prof.^a Dr.^a Helen, orient. II. Universidade Federal da
Fronteira Sul. III. Título.

FERNANDA DOS SANTOS CORREA

**PRODUÇÃO DE ENZIMAS A PARTIR DE BIOCOMPÓSITO
DE *Trichoderma koningiopsis* EM BIORREATOR**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Ciência
Biológicas da Universidade Federal da
Fronteira Sul (UFFS), como requisito
para obtenção do título de Biólogo.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 02/06/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Helen Treichel (orientadora - membro titular)

Prof.^a Dr.^a Gean Delise Leal Pasquali (membro titular)

Prof.^a Dr. Altemir José Mossi (membro titular)

AGRADECIMENTOS

Nesta caminhada cheia de desafios, descobri maneiras de conciliar a maioria das coisas sozinha, mas o que realmente me ajudou foram as amizades que fiz durante esse curso e as pessoas que permaneceram desde o início e me ajudaram em tantas coisas que achei que não conseguiria. Obrigada por todos que estiveram comigo nesses momentos difíceis, principalmente a Sam que me ouviu e ajudou em todos os momentos e horário independente de tudo e Emely mesmo não estando cursando mais esse curso me fez ver o lado bom e nunca desistir das coisas.

Gostaria de agradecer, principalmente, ao LAMIBI, que me acolheu de braços abertos e me ajudou nessa caminhada; às meninas, que, mesmo nas férias, me ajudaram de tantas maneiras e me mostraram o que é uma equipe unida; e às novas amizades que vieram a se concretizar, em especial à minha orientadora, Helen Treichel, que admiro desde o início da faculdade. Nunca imaginei que seria capaz de fazer parte disto, de que sempre sonhei e de que tinha medo de não conseguir, mas elas me mostraram que era possível e acreditaram em mim.

Não menos importante a minha irmã Laura que mesmo de longe me apoiou e me incentivou a continuar mesmo com as dificuldades e sem saber o amanhã, mesmo depois de tudo continuou comigo para tudo. Mesmo ouvindo o quanto eu estava cansada e não aguentava, estava lá por mim e jamais me deixou desistir. Bom, agradeço a todos que, por algum motivo, me incentivaram e me marcaram para chegar a este momento.

RESUMO

A crescente busca por processos sustentáveis tem ampliado o interesse pela produção de enzimas microbianas com potencial de aplicação industrial e ambiental. Neste trabalho, avaliou-se a produção das enzimas amilase e celulase pelo fungo *Trichoderma koningiopsis* em biorreator do tipo Airlift. O extrato fúngico foi obtido por fermentação submersa em meio de cultura definido, com coletas realizadas após 24 e 48 horas de fermentação. Os resultados demonstraram elevada produção enzimática, especialmente nas primeiras 24 horas, o que destaca o potencial biotecnológico do fungo. A maior atividade observada foi a da enzima amilase, enquanto a celulase apresentou estabilidade ao longo do processo fermentativo. O uso do biorreator Airlift mostrou-se eficiente para a produção enzimática devido à adequada transferência de oxigênio, ao menor estresse mecânico sobre o micélio fúngico e à possibilidade de escalonamento industrial. Dessa forma, os resultados obtidos evidenciam o potencial de *Trichoderma koningiopsis* para aplicações em bioprocessos sustentáveis, na biodegradação de biomassa vegetal e desenvolvimento de bioprodutos associados à economia circular.

Palavras-chave: *Trichoderma koningiopsis*; amilase; celulase; fermentação submersa; biorreator Airlift.

ABSTRACT

The growing demand for sustainable processes has increased interest in the production of microbial enzymes with potential industrial and environmental applications. This study evaluated the production of amylase and cellulase enzymes by the fungus *Trichoderma koningiopsis* in an Airlift bioreactor. The fungal extract was obtained via submerged fermentation in a defined culture medium, with samples collected at 24 and 48 hours. The results demonstrated high enzymatic production, especially during the first 24 hours, highlighting the biotechnological potential of the fungus. The highest activity was observed for amylase, whereas cellulase remained stable throughout the fermentation process. The Airlift bioreactor proved efficient for enzyme production due to its adequate oxygen transfer, lower mechanical stress on fungal mycelium, and its potential for industrial-scale up. Therefore, the obtained results demonstrate the potential of *Trichoderma koningiopsis* for applications in sustainable bioprocesses, plant biomass biodegradation, and the development of bioproducts associated with the circular economy.

Keywords: *Trichoderma koningiopsis*; amylase; cellulase; submerged fermentation; Airlift bioreactor.

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1 Microrganismo.....	12
2.2 Processo de fermentação em biorreator Airlift.....	13
2.3 Obtenção do extrato enzimático.....	14
2.4 Determinação das atividades enzimáticas.....	14
2.4.1 Atividade de amilase.....	14
2.4.2 Atividade de celulase.....	14
2.5 Determinação de proteínas totais.....	15
2.6 Análise estatística.....	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
3.1 Produção de amilase.....	16
3.2 Produção de celulase.....	17
4. CONCLUSÃO.....	18
5. REFERÊNCIAS.....	18

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por processos sustentáveis e tecnologias ambientalmente adequadas tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas biotecnológicas capazes de substituir processos químicos convencionais. Nesse contexto, a produção de enzimas microbianas tem recebido destaque devido ao elevado potencial de aplicação em diferentes setores industriais, ambientais, farmacêuticos e agrícolas. As enzimas apresentam elevada especificidade catalítica, atuam em condições moderadas de temperatura e pH e contribuem significativamente para a redução dos impactos ambientais associados aos processos industriais tradicionais (Zhu et al., 2022; Viñarta et al., 2024).

O mercado global de enzimas industriais vem apresentando crescimento expressivo nas últimas décadas. Relatórios de mercado indicam que o setor de enzimas específicas foi avaliado em aproximadamente 5,6 bilhões de dólares em 2023, com projeções de atingir cerca de 10,7 bilhões de dólares até 2032, o que representa uma taxa de crescimento anual composta de aproximadamente 7,5% (Bhattacharya et al., 2024). Esse crescimento está diretamente relacionado à busca por processos mais eficientes, sustentáveis e alinhados aos princípios da economia circular.

Os microrganismos são as principais fontes de produção enzimática industrial e correspondem à maior parcela do mercado mundial de enzimas. Entre esses organismos, os fungos filamentosos destacam-se pela elevada capacidade de secreção extracelular de enzimas, o que permite a degradação de compostos orgânicos complexos e a produção de metabólitos de interesse biotecnológico (Wösten, 2019). Além disso, os fungos apresentam elevada versatilidade metabólica, podendo ser cultivados em diferentes substratos e condições fermentativas.

As enzimas produzidas por fungos desempenham um papel importante em processos de biodegradação, biorremediação e reaproveitamento de resíduos orgânicos. Diversos estudos demonstram que enzimas fúngicas podem contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa, para a conservação dos recursos naturais e para o desenvolvimento de processos industriais mais sustentáveis (Bibi et al., 2023; Okeke et al., 2024). Entre as principais enzimas produzidas por fungos destacam-se amilases, celulasas, proteases, lipases, peroxidases e lacases, todas amplamente utilizadas em setores industriais e ambientais.

O gênero *Trichoderma* compreende fungos filamentosos pertencentes ao grupo dos ascomicetos, amplamente distribuídos no solo e frequentemente associados à matéria orgânica em decomposição. Espécies desse gênero são reconhecidas pelo potencial biotecnológico, principalmente pela produção de enzimas hidrolíticas, metabólitos secundários e compostos com ação antimicrobiana (Schuster e Schmoll, 2010). Além disso, fungos do gênero *Trichoderma* são amplamente utilizados em programas de controle biológico de fitopatógenos e na promoção do crescimento vegetal (Poveda, 2021).

Entre as espécies de interesse biotecnológico, *Trichoderma koningiopsis* vem sendo investigado devido à elevada capacidade de secreção enzimática e adaptação a diferentes condições ambientais. Estudos recentes demonstram o potencial dessa espécie na produção de metabólitos de interesse agrícola e ambiental, incluindo compostos relacionados ao controle biológico, à degradação de resíduos orgânicos e produção de enzimas extracelulares (Guzmán-Guzmán et al., 2023; Küpper et al., 2023; Bleckwedel et al., 2024).

A produção industrial de enzimas ocorre principalmente por meio de processos fermentativos. Entre esses processos, a fermentação submersa destaca-se pela facilidade de controle operacional, pela elevada produtividade e pela possibilidade de escalonamento industrial. Nesse sistema, os microrganismos desenvolvem-se em meio líquido que contém nutrientes necessários ao crescimento celular e à produção de metabólitos de interesse (Ezeilo et al., 2019).

O desempenho da fermentação está diretamente relacionado às condições operacionais do sistema, incluindo temperatura, pH, disponibilidade de oxigênio, composição do meio de cultura e tipo de biorreator utilizado. Dessa forma, a escolha adequada do sistema fermentativo é fundamental para maximizar a produção enzimática e garantir a viabilidade econômica do processo (Rahimi et al., 2018).

Os biorreatores são equipamentos essenciais em processos biotecnológicos, permitindo o controle adequado das condições fermentativas e maior eficiência produtiva. Entre os diferentes tipos de biorreatores utilizados industrialmente, os sistemas do tipo tanque agitado (STR) são os mais comuns. Entretanto, biorreatores pneumáticos, especialmente os do tipo Airlift (ALR), vêm recebendo atenção crescente devido às vantagens operacionais associadas à transferência de massa e de oxigênio (Chisti, 2000).

Os biorreatores Airlift apresentam configuração estrutural relativamente simples e operam por circulação pneumática, sem necessidade de agitadores mecânicos. Nesse

sistema, a diferença de densidade entre as regiões de subida e de descida promove a circulação contínua do meio, favorecendo a transferência eficiente de oxigênio e a homogeneização do cultivo (Cozma e Gavrilescu, 2012). Entre as principais vantagens desse tipo de biorreator, destacam-se o baixo consumo de energia, o reduzido custo de manutenção, o menor estresse mecânico sobre os microrganismos e a elevada eficiência na transferência de massa e de calor (Behin, 2012).

Essas características tornam os biorreatores Airlift particularmente adequados para cultivos fúngicos, especialmente pela redução do cisalhamento celular e pelo favorecimento do crescimento micelial. Além disso, estudos demonstram que sistemas Airlift apresentam elevada eficiência em processos fermentativos que envolvem a produção de enzimas extracelulares por fungos filamentosos (Sikula et al., 2007; Simcik et al., 2011; Tamhankar et al., 2025).

Outro aspecto relevante associado à produção de enzimas microbianas refere-se à aplicação desses processos em estratégias de economia circular. A utilização de fungos para a produção de enzimas e biocompostos sustentáveis pode contribuir significativamente para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, o tratamento de efluentes e o desenvolvimento de bioprodutos ambientalmente adequados (Orejuela-Escobar et al., 2021; Camargo et al., 2023).

As enzimas produzidas por fungos também apresentam grande potencial em processos de biorremediação ambiental, especialmente na degradação de poluentes orgânicos, pesticidas, hidrocarbonetos e compostos lignocelulósicos. Enzimas oxidativas, como peroxidases e lacases, desempenham um papel importante na degradação de compostos recalcitrantes no ambiente (Mokrani et al., 2024).

Além disso, fungos submetidos a estresse oxidativo podem aumentar significativamente a produção de enzimas antioxidantes, como catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase. Essas enzimas desempenham um papel essencial na neutralização de espécies reativas de oxigênio e na proteção celular contra condições adversas do meio (Kumar e Dwivedi, 2019; Boamah et al., 2021).

Dessa forma, considerando o potencial biotecnológico de *Trichoderma koningiopsis*, as vantagens operacionais dos biorreatores do tipo Airlift e a crescente demanda por processos sustentáveis, o presente estudo teve como objetivo avaliar a produção de enzimas extracelulares por *Trichoderma koningiopsis* em biorreator do tipo Airlift, visando futuras aplicações em bioprocessos industriais, biorremediação e desenvolvimento de bioprodutos sustentáveis.

Os resultados obtidos neste estudo resultaram em um artigo científico publicado na *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)*, intitulado “*Enzyme production by Trichoderma koningiopsis in an airlift bioreactor: potential for sustainable and circular bioproducts*”, evidenciando o potencial biotecnológico do fungo *Trichoderma koningiopsis* para aplicações em bioprocessos sustentáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Microrganismo

O microrganismo utilizado neste estudo foi o fungo filamentosso *Trichoderma koningiopsis*, isolado da planta daninha *Digitaria horizontalis*. O fungo foi mantido no banco de microrganismos do Laboratório de Agroecologia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), no campus de Erechim, no Rio Grande do Sul, Brasil.

Figura 1: Fungo *Trichoderma koningiopsis*



Fonte: A autora (2026).

O cultivo do fungo foi realizado em meio Potato Dextrose Agar (PDA), composto por infusão de batata (4,0 g/L), glicose D(+) (20,0 g/L) e ágar-ágar (15,0 g/L) (Merck, Alemanha). As placas foram incubadas por 7 dias a 28 °C, conforme metodologia previamente otimizada por Camargo et al. (2020).

2.2 Processo de fermentação em biorreator Airlift

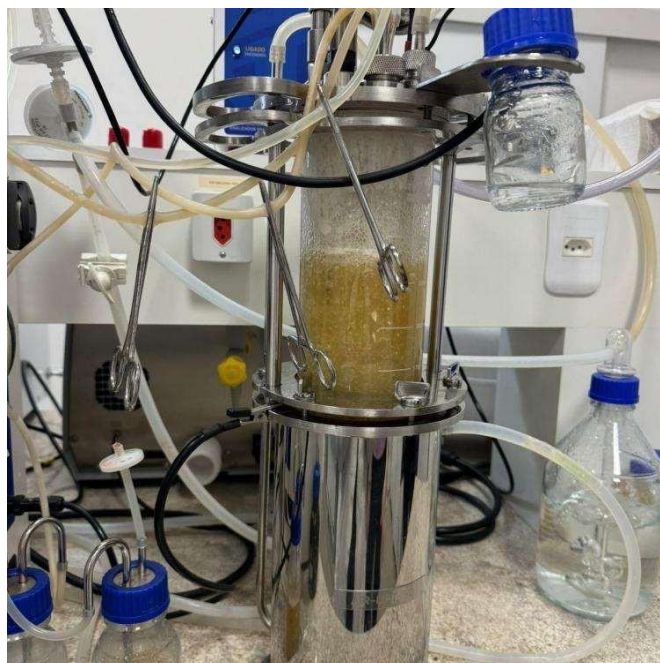
O processo fermentativo foi conduzido em biorreator do tipo Airlift modelo Bio-Tec-Pro-II (Tecnal, Brasil), com volume útil de 3,0 L. A fermentação foi realizada com um volume de trabalho final de 2,5 L.

O meio de cultura utilizado foi composto por:

- 20 g/L de glicose anidra;
- 5 g/L de extrato de levedura;
- 2,5 g/L de peptona bacteriológica;
- 150 mL de agente antiespumante.

O agente antiespumante foi adicionado manualmente durante o processo fermentativo, conforme necessidade operacional.

Figura 2: Biorreator de bancada *Airlift* modelo BioTec-Pro-II.



Fonte: A autora (2026).

As condições de fermentação foram estabelecidas da seguinte forma:

- Temperatura: 28 °C;
- Oxigênio dissolvido: 75%;
- Vazão de ar: 8 L/min;
- pH não controlado.

O biorreator foi previamente esterilizado em autoclave a 120 °C por 30 minutos sob pressão de 1 atm.

Após a esterilização, inoculou-se uma suspensão contendo 10^6 esporos/mL de *Trichoderma koningiopsis*. A contagem dos esporos foi realizada com um contador automático de células (Pixcel, Loccus). O pH inicial do meio foi ajustado para 6,5.

O processo fermentativo teve duração total de 48 horas, com coletas às 24 e 48 horas para posterior análise enzimática.

2.3 Obtenção do extrato enzimático

Ao final do processo fermentativo, o material obtido foi filtrado manualmente por meio de um filtro sintético de nylon para remover as estruturas fúngicas de maior tamanho.

O material sólido retido foi esterilizado e descartado, enquanto o permeado líquido foi submetido à centrifugação em centrífuga NT 815 (Nova Técnica, Brasil), operando a 20.000 rpm, a 4 °C, por 30 minutos.

O sobrenadante obtido após a centrifugação foi utilizado para determinar as atividades enzimáticas.

2.4 Determinação das atividades enzimáticas

As análises enzimáticas foram realizadas em triplicata, avaliando-se exclusivamente as atividades das enzimas amilase e celulase.

2.4.1 Atividade de amilase

A atividade da enzima amilase foi determinada utilizando tampão acetato (100 mM, pH 5,0) contendo amido como substrato. A reação foi conduzida a 38°C durante 10 minutos. Posteriormente, realizou-se a quantificação dos açúcares redutores totais pelo método DNS descrito por Miller (1959), com leitura espectrofotométrica a 540 nm. Os resultados foram expressos em unidades enzimáticas por mililitro (U/mL).

2.4.2 Atividade de celulase

A atividade de celulase foi determinada utilizando tampão acetato (0,2 mM, pH

5,5) como meio reacional, incubado a 50°C. Após a reação, os açúcares redutores totais foram quantificados e os resultados foram expressos em unidades enzimáticas por mililitro (U/mL)

2.5 Determinação de proteínas totais

A concentração de proteínas totais foi determinada pelo método de Bradford (1976), utilizando albumina sérica bovina (BSA) como padrão.

A atividade específica das enzimas foi expressa em U/mg de proteína.

2.6 Análise estatística

Todos os experimentos foram realizados em triplicata e os resultados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão. A análise estatística foi realizada por meio do teste t de Student, com 95% de confiança, no software *Statistica 10.0*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que o fungo *Trichoderma koningiopsis* apresentou capacidade significativa de produzir as enzimas amilase e celulase durante a fermentação submersa em biorreator do tipo Airlift. A atividade enzimática foi avaliada após 24 e 48 horas de fermentação, permitindo observar o comportamento metabólico do fungo ao longo do processo.

A produção de enzimas extracelulares por fungos filamentosos está diretamente relacionada às condições de cultivo, à composição do meio de cultura e disponibilidade de nutrientes. Além disso, fatores como a transferência de oxigênio, a temperatura e o tipo de biorreator influenciam significativamente o rendimento fermentativo (Chisti, 2000; Rahimi et al., 2018).

Os resultados de atividade enzimática obtidos neste estudo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Atividade enzimática e atividade específica das enzimas produzidas por *Trichoderma koningiopsis* em biorreator Airlift

Enzima	Tempo de fermentação (h)	Atividade (U/mL)	Atividade específica (U/mg proteína)
Amilase	24	29.98 ± 2.25 ^a	210.31 ± 2.25 ^A
	48	10.72 ± 0.44 ^b	48,68 ± 10,50 ^B
Celulase	24	12.02 ± 0.68 ^c	95,26 ± 18,41 ^C
	48	11.45 ± 0.12 ^d	258,59 ± 241,14 ^C

Os resultados demonstraram maior produção enzimática nas primeiras 24 horas de fermentação, especialmente da enzima amilase. Esse comportamento pode estar relacionado à elevada disponibilidade inicial de nutrientes no meio de cultura, o que favorece a produção de enzimas hidrolíticas pelo fungo.

3.1 Produção de amilase

A atividade da enzima amilase foi de 29,98 U/mL após 24 horas de fermentação e de 10,72 U/mL após 48 horas. Observou-se redução significativa da atividade enzimática ao longo do processo fermentativo, indicando que a maior produção ocorreu nas fases iniciais do crescimento fúngico.

A amilase é uma enzima responsável pela hidrólise do amido em açúcares menores, sendo amplamente utilizada nas indústrias alimentícias, têxteis, farmacêuticas e de biocombustíveis. Fungos filamentosos são reconhecidos como importantes produtores dessa enzima devido à elevada capacidade de secreção extracelular (Almuhayawi et al., 2023).

Os resultados obtidos neste estudo foram superiores aos relatados por Camargo et al. (2020), que observaram aproximadamente 2 U/mL de atividade amilolítica em fermentação com a mesma espécie fúngica, em biorreator do tipo tanque agitado (STR). Esse resultado evidencia a eficiência do sistema Airlift na produção enzimática, principalmente devido à melhor transferência de oxigênio e ao menor estresse mecânico sobre o micélio fúngico.

Resultados semelhantes foram observados por Ekedegba et al. (2022), que relataram atividades amilolíticas variando de 5,04 a 7,92 U/mL em diferentes espécies fúngicas após 24 horas de incubação. Almuhayawi et al. (2023) obtiveram atividade máxima de 32,61 U/mL com *Rhizopus stolonifer*, valor próximo ao observado neste estudo.

A elevada produção de amilase nas primeiras 24 horas pode estar relacionada à

presença de glicose e de outros nutrientes no meio de cultura, o que favorece o metabolismo inicial do fungo. Além disso, a eficiente transferência de oxigênio promovida pelo biorreator Airlift contribui para uma maior atividade metabólica e para a síntese enzimática (Meneses et al., 2021).

3.2 Produção de celulase

A atividade de celulase foi de 12,02 U/mL após 24 horas e de 11,45 U/mL após 48 horas de fermentação. Embora os valores tenham permanecido relativamente próximos entre os dois períodos avaliados, observou-se maior atividade enzimática nas primeiras 24 horas.

As celulasas são enzimas responsáveis pela degradação da celulose em açúcares menores, desempenhando papel fundamental em processos relacionados à biodegradação de biomassa lignocelulósica, à produção de biocombustíveis e ao reaproveitamento de resíduos agroindustriais (Schuster e Schmoll, 2010).

O gênero *Trichoderma* é amplamente reconhecido como um importante produtor de enzimas celulolíticas. Estudos demonstram que espécies desse gênero apresentam elevada eficiência na degradação de materiais lignocelulósicos devido à produção de complexos enzimáticos extracelulares (Rai et al., 2012).

Os resultados obtidos neste estudo foram superiores aos relatados por Peláez et al. (2021), que observaram atividade de 1,52 U/mL em *Trichoderma reesei*. Camargo et al. (2020) também relataram atividade de aproximadamente 2 U/mL com *Trichoderma koningiopsis* em biorreator STR, reforçando a superioridade operacional do sistema Airlift.

A manutenção da atividade celulolítica ao longo do processo fermentativo demonstra a estabilidade metabólica do fungo durante o cultivo. Além disso, o sistema Airlift favorece condições adequadas de aeração e circulação do meio, contribuindo para o desenvolvimento micelial e a síntese de enzimas extracelulares (Sikula et al., 2007).

Outro aspecto relevante refere-se ao potencial biotecnológico das celulasas produzidas. Essas enzimas apresentam ampla aplicação em processos sustentáveis relacionados à conversão de biomassa vegetal, à produção de bioetanol e reaproveitamento de resíduos orgânicos, contribuindo diretamente para estratégias de economia circular (Orejuela-Escobar et al., 2021).

De forma geral, os resultados obtidos demonstram que *Trichoderma koningiopsis* apresenta elevado potencial para produção de amilase e celulase em fermentação submersa utilizando biorreator Airlift. A elevada atividade enzimática

observada em curto período fermentativo representa uma vantagem importante para aplicações industriais, reduzindo custos operacionais e aumentando a viabilidade econômica do processo.

4. CONCLUSÃO

O fungo *Trichoderma koningiopsis* apresentou elevada capacidade de produção de amilase e celulase durante a fermentação submersa em biorreator do tipo Airlift. Os resultados demonstraram que as maiores atividades enzimáticas foram observadas nas primeiras 24 horas de fermentação, indicando elevada eficiência metabólica do microrganismo em curto período de cultivo.

A enzima amilase apresentou maior atividade enzimática quando comparada à celulase, evidenciando o potencial do fungo para aplicações relacionadas à degradação de amido e produção de compostos de interesse industrial. A celulase também apresentou resultados expressivos, demonstrando potencial para aplicações voltadas à degradação de biomassa lignocelulósica e processos biotecnológicos sustentáveis.

O uso do biorreator tipo Airlift mostrou-se eficiente para a produção enzimática, principalmente devido à adequada transferência de oxigênio, ao baixo estresse mecânico e facilidade de escalonamento do processo fermentativo. Essas características favorecem o crescimento fúngico e contribuem para um maior rendimento na produção de enzimas extracelulares.

Dessa forma, os resultados obtidos evidenciam o potencial biotecnológico de *Trichoderma koningiopsis* para produção de enzimas de interesse industrial e ambiental, contribuindo para o desenvolvimento de processos sustentáveis associados à biotecnologia e à economia circular.

5. REFERÊNCIAS

- ALMUHAYAWI, Mohammed S.; HASSAN, Eman A.; ALKUWAITY, Khalid K.; ABUJAMEL, Talal S.; MOKHTAR, Jamal A.; NIYAZI, Hani A.; ALMASAUDI, Saleh B.; ALAMRI, Turki A.; NAJJAR, Ahmed A.; ZABERMAWI, Nasser M.; AZHAR, Esam I.; HARAKEH, Saleh M. Enzymatic-based hydrolysis of digested potato peel wastes by amylase producing fungi to improve biogas generation. *Catalysts*, Basel, v. 13, n. 5, p. 913, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/catal13050913>.
- BEHIN, Jamal. Deinking in bubble column and airlift reactors: influence of wastewater of Merox unit as pulping liquor. *Chemical Engineering Research and Design*, London,

v. 90, n. 8, p. 1045–1051, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.10.021>.

BHATTACHARYA, R.; ARORA, S.; GHOSH, S. Bioprocess optimization for food-grade cellulolytic enzyme production from sorghum waste in a novel solid-state fermentation bioreactor for enhanced apple juice clarification. *Journal of Environmental Management*, London, v. 358, p. 120781, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120781>.

BIBI, F.; ILYAS, N.; SAEED, M.; SHABIR, S.; SHATI, A. A.; ALFAIFI, M. Y.; AMESHO, K. T. T.; CHOWDHURY, S.; SAYYED, R. Z. Innovative production of value-added products using agro-industrial wastes via solid-state fermentation.

Environmental Science and Pollution Research, Landsberg, v. 30, n. 60, p.

125197–125213, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28765-6>.

BLECKWEDEL, Juliana; MARTÍNEZ, María J.; CLAPS, María Paula; DE LISI, Victoria; GONZÁLEZ, Verónica; PLOPER, Luis D.; REZNIKOV, Sebastián. Biological control of soybean charcoal rot by native *Trichoderma koningiopsis* in Tucumán, Argentina. *Biological Control*, Amsterdam, v. 196, p. 105581, 2024. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2024.105581>.

BRADFORD, Marion M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, New York, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 1976. DOI:

[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).

CAMARGO, A. F.; VENTURIN, B.; BORDIN, E. R.; SCAPINI, T.; STEFANSKI, F. S.; KLANOVICZ, N.; DALASTRA, C.; KUBENECK, S.; PRECZESKI, K. P.; ROSSETTO, V.; WEIRICH, S.; CAREZIA, C.; ULKOVSKI, C.; REICHERT JÚNIOR, F. W.; MÜLLER, C.; FONGARO, G.; MOSSI, A. J.; TREICHEL, H. A low-genotoxicity bioherbicide obtained from *Trichoderma koningiopsis* fermentation in a stirred-tank bioreactor. *Industrial Biotechnology*, New Rochelle, v. 16, n. 3, p. 176–181, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1089/ind.2019.0024>.

CHISTI, Yusuf. Animal-cell damage in sparged bioreactors. *Trends in Biotechnology*, Cambridge, v. 18, n. 10, p. 420–432, 2000. DOI:

[https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01474-8](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01474-8).

COZMA, Petronela; GAVRILESCU, Maria. Airlift reactors: applications in wastewater treatment. *Environmental Engineering and Management Journal*, Iași, v. 11, n. 8, p.

1505–1515, 2012. DOI: <https://doi.org/10.30638/eemj.2012.189>.

EKEDEGBA, F. E.; OGBONNA, A. I.; NWIBARI, B. M. W.; OKOYE, C. T.; OGBONNA, U. S. A.; ONYIMBA, I. A.; MADU, J. M.; NJOKU, A. I. Optimization of amylase production in three fungal species. *Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology*, [s.l.], p. 1–9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajbgmb/2022/v12i4266>.

EZEILO, U. R.; LEE, C. T.; HUYOP, F.; ZAKARIA, I. I.; WAHAB, R. A. Raw oil palm frond leaves as cost-effective substrate for cellulase and xylanase productions by *Trichoderma asperellum* UC1 under solid-state fermentation. *Journal of Environmental Management*, London, v. 243, p. 206–217, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.113>.

GUZMÁN-GUZMÁN, Patricia; KUMAR, Ajay; DE LOS SANTOS-VILLALOBOS, Sergio; PARRA-COTA, Francisco I.; OROZCO-MOSQUEDA, María del Carmen; FADIJI, Ayansina E.; HYDER, Shahid; BABALOLA, Olubukola O.; SANTOYO, Gustavo. *Trichoderma* species: our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases — a review. *Plants*, Basel, v. 12, n. 3, p. 432, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030432>.

JESUS, S. S.; MOREIRA NETO, J.; MACIEL FILHO, R. Hydrodynamics and mass transfer in bubble column, conventional airlift, stirred airlift and stirred tank bioreactors, using viscous fluid: a comparative study. *Biochemical Engineering Journal*, Amsterdam, v. 118, p. 70–81, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.11.019>.

KUBENECK, S.; CAMARGO, A. F.; LONGO, V. D.; ROMANI, L. C.; NERLING, J. P.; BAZOTI, S. F.; PAGNO, C. H.; RODRIGUES, E.; TREICHEL, H. Characterization of enzymatic and metabolic of a biocomposite based on *Trichoderma koningiopsis* and chlorella biomass. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Amsterdam, v. 65, p. 103542, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103542>.

KÜPPER, V.; KORTEKAMP, A.; STEINER, U. Combining *Trichoderma koningiopsis* and chitosan as a synergistic biocontrol and biostimulating complex to reduce copper rates for downy mildew control on grapevine. *Biological Control*, Amsterdam, v. 185, p. 105293, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105293>.

MILLER, Gail Lorenz. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of

reducing sugar. *Analytical Chemistry*, Washington, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.

OKEKE, E. S.; EZUGWU, A. L.; ANADUAKA, E. G.; MAYEL, M. H.; EZIKE, T. C.; OSSAI, E. C. Ligninolytic and cellulolytic enzymes — biocatalysts for green agenda. *Biomass Conversion and Biorefinery*, Heidelberg, v. 14, n. 3, p. 3031–3055, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02777-7>.

OREJUELA-ESCOBAR, Laura; GUALLE, Andrea; OCHOA-HERRERA, Vicente; PHILIPPIDIS, George P. Prospects of microalgae for biomaterial production and environmental applications at biorefineries. *Sustainability*, Basel, v. 13, n. 6, p. 3063, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13063063>.

PELÁEZ, Rubén Darío Romero; WISCHRAL, Daiana; MENDES, Thais Demarchi; PACHECO, Thályta Fraga; URBÉN, Arailde Fontes; HELM, Cristiane Vieira; MENDONÇA, Simone; BALAN, Venkatesh; SIQUEIRA, Felix Gonçalves de. Co-culturing of micro- and macro-fungi for producing highly active enzyme cocktail for producing biofuels. *Bioresource Technology Reports*, Amsterdam, v. 16, p. 100833, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100833>.

POVEDA, Jorge. *Trichoderma* as biocontrol agent against pests: new uses for a mycoparasite. *Biological Control*, Amsterdam, v. 159, p. 104634, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634>.

RAHIMI, M. J.; SITARAMAN, H.; HUMBERT, D.; STICKEL, J. J. Computational fluid dynamics study of full-scale aerobic bioreactors: evaluation of gas–liquid mass transfer, oxygen uptake, and dynamic oxygen distribution. *Chemical Engineering Research and Design*, London, v. 139, p. 283–295, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.08.033>.

RAI, P.; TIWARI, S.; GAUR, R. Optimization of process parameters for cellulase production by novel thermotolerant yeast. *BioResources*, Raleigh, v. 7, n. 4, p. 5401–5414, 2012.

SCHUSTER, André; SCHMOLL, Monika. Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Berlin, v. 87, n. 3, p. 787–799, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2632-1>.

SIKULA, I.; JURAŠČÍK, M.; MARKOŠ, J. Modeling of fermentation in an internal

loop airlift bioreactor. *Chemical Engineering Science*, Oxford, v. 62, n. 18–20, p. 5216–5221, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2007.01.050>.

SIMCIK, M.; MOTA, A.; RUZICKA, M. C.; VICENTE, A.; TEIXEIRA, J. CFD simulation and experimental measurement of gas holdup and liquid interstitial velocity in internal loop airlift reactor. *Chemical Engineering Science*, Oxford, v. 66, n. 14, p. 3268–3279, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2011.01.059>.

TAMHANKAR, S.; PATIL, C.; KHAN, A.; SHINDE, Y.; RESHAMWALA, S. M. S.; MATHPATI, C.; JOSHI, J. Scaling-up of fungal mycelium cultivation on fabric support in internal loop airlift reactor: CFD and prototype study. *Biochemical Engineering Journal*, Amsterdam, v. 215, p. 109613, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2024.109613>.

VIÑARTA, Sandra Cecilia; ANGELICOLA, María Victoria; GAROLERA, Belén; FERNÁNDEZ, Paula María. Harnessing microbial recycling of organic wastes in a circular waste management system for greenhouse gas reduction. In: *Environmental Engineering and Waste Management*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 391–414. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-58441-1_14.

WÖSTEN, Han A. B. Filamentous fungi for the production of enzymes, chemicals and materials. *Current Opinion in Biotechnology*, London, v. 59, p. 65–70, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.02.010>.

ZHU, X.; QI, J.; CHENG, L.; ZHEN, G.; LU, X.; ZHANG, X. Depolymerization and conversion of waste-activated sludge to value-added bioproducts by fungi. *Fuel*, London, v. 320, p. 123890, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123890>.

APÊNDICE – ARTIGO CIENTÍFICO PUBLICADO

Artigo científico originado deste Trabalho de Conclusão de Curso, publicado na *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)*.

Referência do artigo

AMORIM, Marcelli Powzum; CORREA, Fernanda dos Santos; LONGO, Vitória Dassoler; TREICHEL, Helen. *Enzyme production by Trichoderma koningiopsis in an airlift bioreactor: potential for sustainable and circular bioproducts*. Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB), v. 61, e2816, 2026. DOI:

<https://doi.org/10.5327/Z2176-94782816>.

Link de acesso

<https://doi.org/10.5327/Z2176-94782816>

Print do artigo

Enzyme production by *Trichoderma koningiopsis* in an airlift bioreactor: potential for sustainable and circular bioproducts

Marcelli Powzum Amorim

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - Brazil

<https://orcid.org/0000-0002-5846-7047>

Fernanda dos Santos Correa

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - Brazil

<https://orcid.org/0009-0004-2550-6507>

Vitória Dassoler Longo

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - Brazil

<https://orcid.org/0009-0005-3594-6749>

Helen Treichel

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - Brazil

<https://orcid.org/0000-0002-3810-3000>

DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-94782816>

Keywords: antioxidant enzymes; submerged fermentation; fungal biotechnology; bioprocess scale-up; environmental biotechnology.



[PDF](#) [XML](#)

Published
2026-04-11



Enzyme production by *Trichoderma koningiopsis* in an airlift bioreactor: potential for sustainable and circular bioproducts

Produção de enzimas por *Trichoderma koningiopsis* em um biorreator tipo Airlift: potencial para a obtenção de bioprodutos sustentáveis e circulares

Marcelli Powzum Amorim¹ , Fernanda dos Santos Correa¹ , Vitória Dassoler Longo¹ , Helen Treichel¹ 

Fonte

https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/2816

Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB), 2026.