

COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATIVIDADE ALELOPÁTICA E ANTIFÚNGICA DO EXTRATO BRUTO OBTIDO DE *TRICHODERMA PSEUDODENSUM*

 <https://doi.org/10.56238/arev6n2-018>

Data de submissão: 02/09/2024

Data de publicação: 02/10/2024

Dayane Lira Barros da Silva Araújo
Química ambiental
Universidade Federal do Tocantins

Flávia Alessandra Mota Alves
Mestre em Química
Universidade Federal do Tocantins

Aloisio Freitas Chagas Junior
Doutor em Biotecnologia
Universidade Federal do Tocantins

Vanessa Mara Chapla
Doutora em Química
Universidade Federal do Tocantins

RESUMO

Os fungos do gênero *Trichoderma* são amplamente reconhecidos por suas aplicações biotecnológicas, incluindo o biocontrole, promoção do crescimento vegetal e produção de compostos bioativos. Neste estudo, foi investigado o potencial biotecnológico do fungo *Trichoderma pseudodensum*, que foi incubado em meio líquido MDB (batata e dextrose) por 21 dias. Após o período de incubação, foi realizada a extração dos metabólitos produzidos utilizando acetato de etila (AcOEt) para obtenção do extrato bruto. O extrato bruto foi avaliado quanto à atividade antifúngica contra os fitopatógenos *Curvularia lunata* e *Sclerotinia sclerotiorum*, além de uma análise da atividade alelopática em sementes de alface. Os resultados mostraram que o extrato inibiu significativamente o crescimento dos fitopatógenos, com destaque para a inibição de 74,53% em *S. sclerotiorum*. Adicionalmente, a atividade aleloquímica foi evidenciada pela inibição do desenvolvimento da plântula em 82,8% e das raízes em 93,7% na maior concentração testada (1000 mg L⁻¹). Para a caracterização química dos metabólitos, o extrato bruto foi analisado por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-MS), resultando na identificação de 20 compostos, dos quais dois foram majoritários: o acetato de 22,23-dibromostigmasterol (11,26%) e o ftalato de di-n-octilo (44,46%). Esses resultados indicam que *T. pseudodensum* possui um grande potencial biotecnológico na produção de compostos bioativos, sugerindo sua utilização em práticas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: *Trichoderma pseudodensum*, Fungos filamentosos, Metabólitos bioativos, Atividade antifúngica.

1 INTRODUÇÃO

Existem 375 espécies conhecidas do gênero *Trichoderma* (Cai & Druzhinina, 2021). Esses fungos pertencem à divisão Ascomycota, subdivisão Pezizomycotina, classe Sordariomycetes e ordem Hypocreales (Modrzewska et al., 2022). Membros da família Ascomycota estão associados à presença de indivíduos que se reproduzem assexuadamente (anamorfo) e indivíduos que se reproduzem sexuadamente (teleomorfo) (Kubiak et al., 2023).

Os fungos deste gênero são fungos filamentosos e cosmopolitas, são amplamente distribuídos, ocorrem em todas as zonas climáticas, em diferentes ambientes, como solo, plantas, madeira morta e casca. Os fungos das espécies de *Trichoderma* podem ser facilmente isolados do solo, crescem rapidamente em condições de laboratório e produzem numerosos conídios brancos e verdes (Modrzewska et al., 2022). Eles são considerados organismos saprófitos, capazes de colonizar e decompor matéria orgânica morta. Além disso, exibem propriedades parasitárias em relação a outros fungos, bem como habilidades simbióticas e endofíticas em relação às plantas (Kubiak et al., 2023).

Espécies de *Trichoderma* possuem diversas aplicações biotecnológicas. Podem atuar como biocontrole, como biofungicidas para proteger as plantas contra doenças e como agentes de biorremediação para limpar ambientes contaminados. Além disso, estão envolvidas na produção de enzimas, antibióticos e outros metabólitos, que são essenciais para diversos processos industriais, incluindo a produção de biocombustíveis (Kubiak et al., 2023; Villao-Uzho et al., 2024).

Trichoderma spp. são agentes de biocontrole eficientes que podem proteger as plantas contra vários patógenos fúngicos. Eles utilizam múltiplos mecanismos, como micoparasitismo, competição por nutrientes e espaço, antibiose e indução de respostas de defesa nas plantas (Modrzewska et al., 2022). Cepas de *Trichoderma* eficientes em biocontrole estão sendo desenvolvidas como fungicidas biológicos promissores. Exemplos incluem as cepas de *T. viride* e *T. harzianum*, que possuem diferentes graus de efeitos inibitórios sobre 29 espécies de fungos patogênicos de plantas pertencentes a 18 gêneros, incluindo *Botrytis*, *Fusarium* e *Rhizoctonia* (Yao et al., 2023).

Outro agente de biocontrole de sucesso é o *T. longibrachiatum* T6, possui um bom controle do tombamento de pimentão e pode controlar efetivamente a disseminação da doença. O controle foi de até 54,8%, o que é 12,5% superior ao do pesticida químico carbendazim. Outro exemplo, podemos incluir o *T. harzianum* que demonstrou controle sobre o crescimento por *Phytophthora* em pimentão e batata. Ele pode inibir o crescimento do *Phytophthora* no solo, reduzir o número de fungos patogênicos e reduzir efetivamente a taxa de mudas mortas e o índice de doenças nas plantas (Yao et al., 2023).

As espécies de *Trichoderma* são consideradas uma rica fonte de metabólitos secundários bioativos distintos devido à presença de numerosos clusters de genes biossintéticos, que lhes permitem

se adaptar a diferentes biótopos ecológicos. Vários metabólitos secundários de *Trichoderma* foram isolados, incluindo terpenoides, policetídeos, peptídeos, alcaloides e esteroides. A maioria desses compostos exibiu efeitos antimicrobianos, citotóxicos e antifúngicos (Guo et al., 2023; Schmoll & Schuster, 2010). Khan e colaboradores reportaram mais de 40 compostos produzidos por fungos *Trichoderma ssp.* que exibiram atividade antifúngica contra fungos fitopatogênicos (Khan et al., 2020).

Os metabólitos secundários produzidos pelo *Trichoderma* atuam como moléculas sinalizadoras fundamentais, permitindo a comunicação com o ambiente e interagindo com diversos organismos ao seu redor, como microorganismos benéficos, plantas e patógenos. Esses metabólitos desempenham funções biológicas variadas durante a colonização da rizosfera e das raízes, como proteção do próprio fungo, regulação do crescimento vegetal, aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos, além de limitar a ação de bactérias, nematóides e patógenos filamentosos.

Em resumo, a versatilidade do *Trichoderma* em termos de biocontrole, síntese de metabólitos secundários e promoção do crescimento vegetal fazem desse gênero um enorme potencial biotecnológico em diversas áreas, como agricultura, biocombustíveis e farmacêutica. No intuito de avaliar o potencial biotecnológico dos fungos do gênero *Trichoderma* o fungo filamentoso *Trichoderma pseudodensum*, foi submetido a fermentação utilizando meio líquido e obteve-se o extrato bruto acetato de etila. O extrato bruto foi submetido aos ensaios antifúngico e aleloquímico, bem como cromatografia gasosa para identificação dos metabólitos secundários produzidos pelo fungo.

O fungo *Trichoderma pseudodensum* foi isolado e identificado pela primeira vez do solo coletado na Reserva Natural de Shennogjia, na província de Hubei, China (Chen & Zhuang, 2017). Filogeneticamente, *T. pseudodensum* é relacionado a *T. zayuense*, mas eles diferem na morfologia da colônia e no comprimento das fiáides. Não existem estudos sobre a diversidade química produzida por *T. pseudodensum*, nem estudos das suas propriedades biotecnológicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CULTIVO DO FUNGO EM MEIO LÍQUIDO PARA OBTENÇÃO DO EXTRATO BRUTO

O fungo filamentoso utilizado no presente trabalho foi isolado por Alves (2020), e identificado por biologia molecular como *Trichoderma pseudodensum* (Alves 2020).

O fungo foi crescido em placas de Petri contendo meio BDA (Batata Dextrose Agar) e incubadas em câmara BOD (Biochemical Oxygen Demand) a uma temperatura de 25°C por 7 dias. Logo após foi realizada a inoculação em meio líquido MDB (Meio de Dextrose e Batata) em Erlenmeyers de 500 mL contendo 300 mL de meio de cultivo, os Erlenmeyers foram mantidos em bancada por 21 dias em temperatura ambiente.

Após esse período o caldo foi separado do micélio por filtração a vácuo, utilizando papel filtro e funil de Buchner. O filtrado foi submetido à partição líquido/líquido em triplicata, utilizando clorofórmio (CHCl_3) numa proporção de 2:1. Após o clorofórmio foi evaporado em evaporador rotativo sob pressão reduzida, fornecendo o extrato bruto AcOEt.

2.2 AVALIAÇÃO POR CROMATOGRAFIA GASOSA COM ESPECTRÔMETRO DE MASSAS (CG-EM)

A investigação da composição química do extrato bruto foi realizada via análise de cromatografia gasosa (CG) acoplada a espectrometria de massas (EM), na central analítica da Universidade de São Paulo (USP), utilizando equipamento Shimadzu - Modelo GCMS-QP202. Foi utilizada coluna capilar de grande calibre BP-5 (30 mm x 0,53 mm i.d., 1,0 mm de espessura de filme). O gás Hélio (He) foi utilizado como gás transportador, com vazão de 1,9 mL min⁻¹ e 107 KPa de pressão de entrada. A temperatura do forno da CG foi programada para 0°C a 280°C, com rampa de aquecimento de 2,5 °C min⁻¹. O espectro de massa foi obtido no intervalo de 40-650 amu, operando a 70 eV, e a fonte foi mantida à temperatura de 280°C. Os dados obtidos do espectro de massa foram comparados com os espectros de massas do NIST do banco de dados CG-MS.

2.3 ENSAIO DE ALELOPATIA

O extrato bruto foi submetido a atividade alelopática utilizando sementes de alface (*Lactuca sativa*) da marca Feltrin Sementes. Foram usadas três diferentes concentrações para o ensaio: 100, 500 e 1000 µg mL⁻¹. A concentração de controle não continha extrato bruto e foi chamada de concentração 0.

A aplicação das concentrações foi realizada em triplicata em placas de Petri contendo papel filtro. Após a adição de 1 mL de cada concentração, esperou-se 24 horas para evaporação do solvente e adicionou-se 15 sementes de alface em cada placa. As sementes foram incubadas em torno de 25°C durante 5 dias. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram 2 mm de protusão da radícula. Após o período de 5 dias foi avaliado a porcentagem de sementes germinadas e comprimento da raiz e total das plântulas, medidas com auxílio de um paquímetro. O teste foi realizado em triplicata e os valores do comprimento da raiz e total das plântulas foram submetidos à análise de variância utilizando o programa SISVAR 5.7 e a comparação das médias foi realizada pela regressão linear com 5% de probabilidade.

2.4 AVALIAÇÃO ANTIFÚNGICA

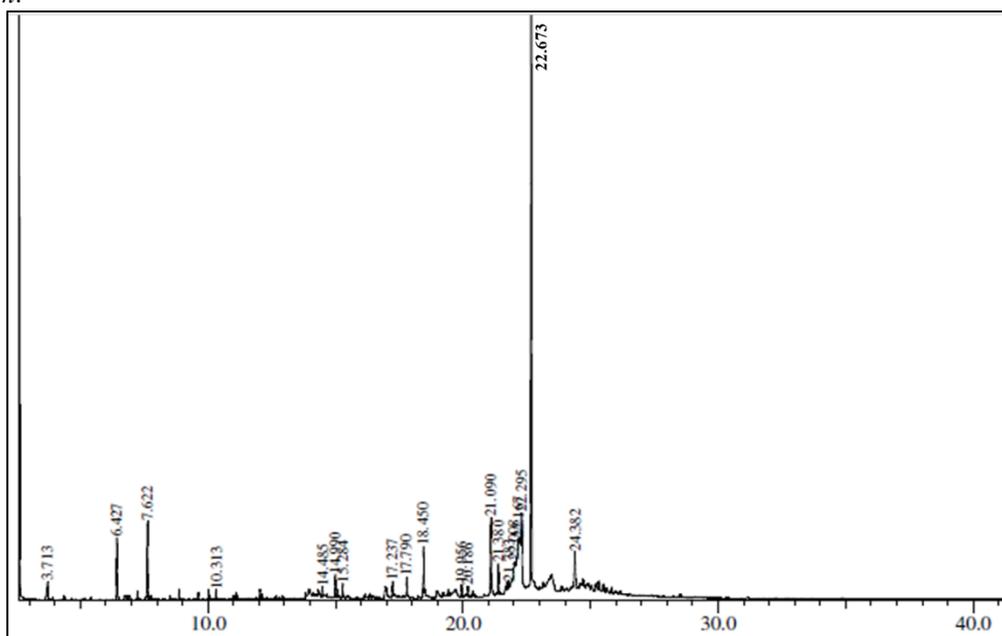
A avaliação de inibição do crescimento micelial foi realizada para os fungos fitopatogênicos *Curvularia lunata* e *Sclerotinia sclerotiorum*. O teste foi realizado em placas de Petri contendo meio BDA. Os extratos brutos com concentração de 5 mg mL⁻¹ foram adicionados (100 µL) na superfície do meio de cultivo BDA e espalhados na superfície do meio com auxílio de uma alça tipo Drigalsky. Posteriormente discos do micélio do fungo fitopatógeno foram inoculados no centro de cada placa. A testemunha continha apenas o fungo fitopatogênico. O teste foi realizado em triplicata. As placas foram incubadas em BOD, a 25 °C, por 5 dias. A avaliação foi realizada medindo – se os diâmetros da colônia de crescimento do fungo fitopatógeno. Calculou – se a porcentagem de inibição de crescimento micelial através da fórmula $PIC\% = (DT - DTRAT) / DT \times 100$, em que DT é o diâmetro da testemunha e DTRAT é o diâmetro da colônia de cada tratamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO EXTRATO BRUTO

A produção de metabólitos secundários do fungo *Trichoderma pseudodensum* foi realizada através de cromatografia gasosa com espectrômetro de massas (CG-EM). A figura 2 mostra o cromatograma obtido da análise.

Figura 2 - Cromatograma obtido por CG-EM do perfil químico do extrato bruto obtido do fungo *Trichoderma pseudodensum*.



Fonte: A autora (2024).

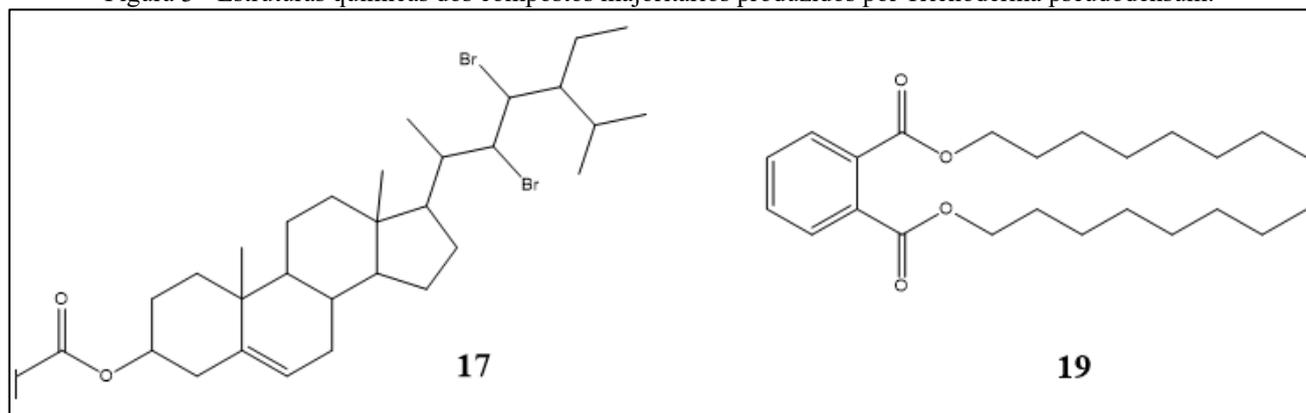
Foram identificados 20 compostos químicos produzidos pelo fungo *T. pseudodensum*, em diferentes tempos de retenção e porcentagem de área (Tabela 1).

Tabela 1 - Compostos químicos do extrato bruto do endófito *Trichoderma pseudodensum*.

Compostos	Nome	Tempo ret. (min)	% Área	Classe do composto
1	Ácido 4-metil-2-pentenóico	3,713	0,57	Ácido carboxílico
2	2-feniletanol	6,427	3,46	Álcool
3	(3E, 5E) -nona-3,5-dien-2-ona	7,622	4,66	Cetona insaturada
4	2-metil-propanoato de 3-hidroxi-2,2,4-trimetilpentila	10,313	0,57	Éster
5	1,7-dimetil-4-(1-metiletil)-spiro[4,5]-dec-6-en-8-ona	14,485	0,65	Cetona
6	Tetra-hidroionona	14,990	1,36	Cetona
7	Benzoato de benzila	15,284	0,79	Éster aromático
8	Ácido palmítico	17,237	0,99	Ácido carboxílico
9	Bisfenol F	17,790	1,27	Fenol
10	Tereftalato de diisobutila	18,450	2,88	Éster
11	2-(3-hidroxifenil)indeno-1,3-diona	19,956	0,71	Fenol
12	Citrato de tributila	20,186	0,55	Éster
13	9Z-Octadecenamida	21,090	5,60	Amida
14	hexanodioato de dioctila	21,380	1,90	Éster
15	acetato de (2,4a,5,8a-tetrametil-1,2,3,4,7,8-hexahidronaftaleno-1-il)	21,783	2,51	Éster
16	fosfato de tris(2-etil-hexil)	22,008	7,03	Fosfato
17	acetato de 22,23-dibromostigmasterol	22,167	11,26	Esteróide
18	(1E,3Z,6E,10Z,14S)-3,7,11-trimetil-14-propano-2-ilciclotetradeca-1,3,6,10-tetraeno	22,295	6,08	Diterpeno
19	Ftalato de di-n-octilo	22,673	44,46	Ftalato
20	bis(2-etil-hexil)benzeno-1,4-dicarboxilato	24,382	2,71	Éster
		Total	100%	

Foram identificados 2 compostos majoritários, nomeados como acetato de 22,23-dibromostigmasterol (17), com tempo de retenção de 22,16 minutos e área de 11,26%. E o Ftalato de di-n-octilo (19) (Figura 3), com tempo de retenção de 22,67 minutos e área de 44,46%. Este presente estudo está em concordância com o reportado por Li e colaboradores (2019), em que alguns compostos similares aos identificados no extrato obtido de *T. pseudodensum* foram isolados de cepas do gênero *Trichoderma*, como o ftalato de dibutil isolado de cepas de *T. citrinoviride* cf-27 (Li et al., 2019). E o estigmasterol e ácido palmítico isolados de *T. harzianum* T-4 e *T. koningii* T-8 (Li et al., 2019).

Figura 3 - Estruturas químicas dos compostos majoritários produzidos por *Trichoderma pseudodensum*.



Fonte: Autor, 2024.

Ésteres de ácido ftálico (PAEs), comumente chamados de ftalatos recentemente, atraíram a atenção global devido ao seu alto volume de produção, uso generalizado em produtos de consumo e efeitos deletérios à saúde. Muito usado como plastificante, ftalatos não são covalentemente ligados à matriz de plástico e podem lixiviar facilmente os produtos para o ambiente circundante. Preocupações de saúde pública desses contaminantes ambientais onipresentes incluem propriedades carcinogênicas, teratogênicas, hepatotóxicas e de desregulação endócrina. Alguns ftalatos já são relatados como reprodutivos e tóxicos para o desenvolvimento em animais e suspeita de doenças endócrinas disruptoras em humanos. Entre outros, di-(2-etilhexil) ftalato (DEHP) e di-n-octil ftalato (Dn-OP) (19), foram listados como poluentes centrais por várias agências reguladoras devido à sua baixa solubilidade em água, alta persistência no ambiente e toxicidade para o fígado, rim, tireóide, e sistema imunológico (Sarkar et al., 2012).

Estigmasterol e sua classe de compostos são conhecidos por possuir várias atividades farmacológicas. Estigmasteróis são uma parte ativa de extratos cianobacterianos que exibem atividades antimicrobianas e citotóxicas. Estigmasteróis com os derivados orgânicos ligados à proteína central, historicamente encontrados por possuir propriedades antifúngicas (Karthik et al., 2015).

3.2 ATIVIDADE ALELOPÁTICA

O ensaio alelopático foi realizado em triplicata utilizando placas de Petri com quatro concentrações 0, 100, 500 e 1000 mg L⁻¹, onde 0 foi denominado como controle (branco). As sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) foram incubadas durante um período de cinco dias.

Um aspecto importante para caracterizar uma atividade alelopática é a influência do extrato no comprimento das plântulas. Logo, após os cinco dias de inoculação foi avaliado a porcentagem de sementes germinadas e realizada a medição dos comprimentos das plântulas onde evidenciou que o

extrato bruto demonstrou atividade de inibição de germinação das sementes de alface. Após realizou – se os cálculos das médias de comprimento da raiz e do comprimento total (Tabela 2) através do programa Sisvar pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

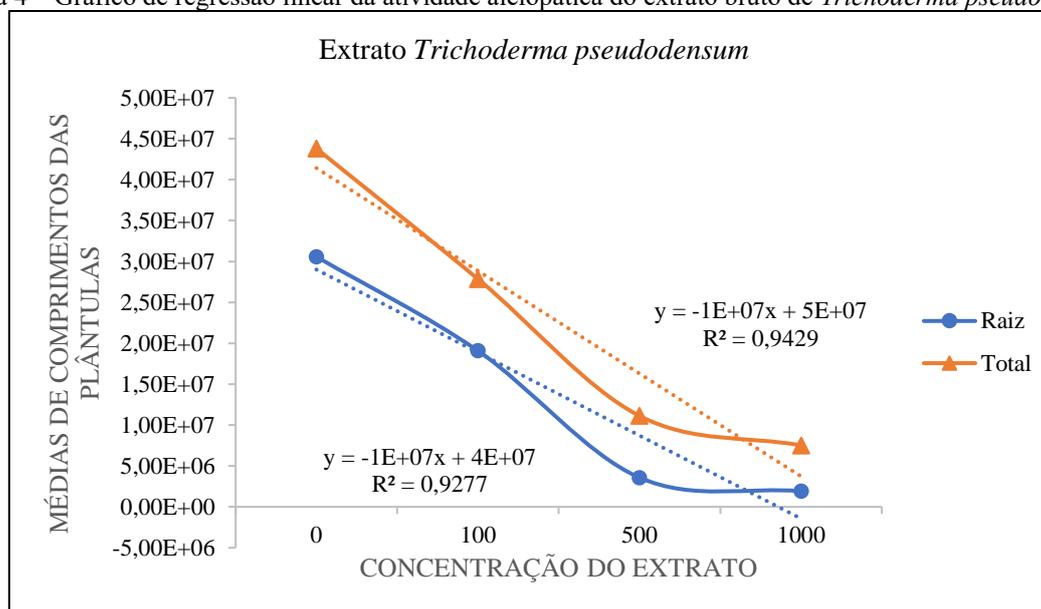
Tabela 2 – Valores médios do comprimento da raiz (mm) e do comprimento total (mm) de plântulas de alface tratadas com o extrato bruto de *Trichoderma pseudodensum*.

	Comprimento médio das raízes (mm)	Comprimento médio total (mm)
Tratamento	Extrato*	Extrato*
Controle	30,58 a3	43,80 a2
100 mg L ⁻¹	19,08 a2 a3	27,85 a1 a2
500 mg L ⁻¹	3,57 a1 a2	11,12 a1
1000 mg L ⁻¹	1,92 a1	7,51 a1
CV (%)**	47,19	40,62

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. **CV = Coeficiente de variação.

As médias de cada concentração do extrato foi submetida também a análise de regressão linear pelo programa Sisvar representado na Figura 4.

Figura 4 – Gráfico de regressão linear da atividade alelopática do extrato bruto de *Trichoderma pseudodensum*.



Fonte: Autor, 2024

O extrato de *Trichoderma pseudodensum* demonstrou significativa atividade inibitória no desenvolvimento de plântulas e raízes de alface. A inibição teve início na menor concentração testada (100 mg L⁻¹) e aumentou progressivamente, atingindo 82,8% de inibição no desenvolvimento das plântulas e 93,7% nas raízes na maior concentração (1000 mg L⁻¹), em comparação ao controle. A análise dos dados revelou uma forte correlação entre a concentração do extrato e o efeito inibitório,

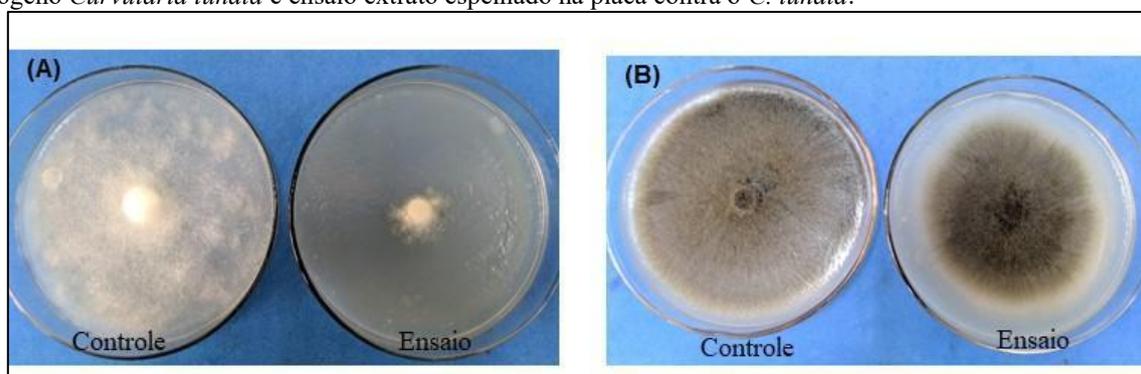
com coeficientes de determinação (R^2) de 0,93 para o comprimento das raízes e 0,94 para o tamanho total das plântulas.

De acordo com Fujii e Hiradate (2007) os efeitos alelopáticos causados em plantas ocorrem por meio de substância produzidas por metabólitos secundários das classes alcaloides, cumarinas e compostos fenólicos, dos quais alguns foram identificados no extrato de *T. pseudodensum*, e podem estar associadas aos efeitos alelopáticos observados.

3.3 ATIVIDADE ANTIFÚNGICA

Foi realizada uma triagem da atividade antifúngica do extrato bruto de *Trichoderma pseudodensum* em meio BDA, frente aos fitopatógenos *Sclerotinia sclerotiorum* e *Curvularia lunata*, em triplicata. A atividade inibitória do extrato foi observada por meio da medição dos diâmetros das colônias. Com os dados obtidos, calculou-se a porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC). O extrato apresentou uma inibição de 74,53% contra *S. sclerotiorum* e 14,72% contra *C. lunata*, evidenciando uma maior atividade antifúngica contra *S. sclerotiorum* (figura 5).

Figura 5 – Ensaio da atividade antifúngica do extrato de *Trichoderma pseudodensum* em meio BDA. (A) controle fitopatógeno *Sclerotinia sclerotiorum* e ensaio extrato espelhado na placa contra o *S. sclerotiorum*. (B) controle fitopatógeno *Curvularia lunata* e ensaio extrato espelhado na placa contra o *C. lunata*.



Fonte: Autor, 2024.

Dentre os fitopatógenos de grande importância agrônômica destaca-se o “mofo-branco” (*Sclerotinia sclerotiorum*) que ataca a parte inferior da planta de soja, milho, sorgo e de legumes, ocasionando lesões de coloração branca com acúmulo de água nos órgãos vegetativos afetados. Este fungo apresenta como forma de resistência o escleródio, que pode ficar viável no solo por até 11 anos. O *S. sclerotiorum* ataca cerca de 400 espécies vegetais em 270 gêneros pertencentes a 75 famílias, dentre estas, grande parte de uso agrícola na produção de óleo, ração e de frutas (Filho et al., 2020).

Cepas do gênero *Trichoderma*, como *T. viride* e *T. harzianum*, são utilizados no controle biológico de *S. sclerotiorum* (Guo et al., 2023; Yao et al., 2023). Geralmente, *Trichoderma* pode invadir

as hifas de *S. sclerotiorum*, aderir e envolver-se nas hifas, e romper até que se desintegram (Yao et al., 2023). Compostos produzidos por cepas de *Trichoderma* apresentaram atividade antifúngica contra *S. sclerotiorum*, como por exemplo, o ácido harzianico, um ácido tretrâmico produzido por *T. harzianum* M10 (Li et al., 2019).

Além disso, Akhtar, Javaid e Qreshi (2020) avaliaram a atividade antifúngica de extratos da planta *Sisymbrium irio* contra o fitopatógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*, causador da doença podridão basal em cultivares de cebola. Os extratos das folhas apresentaram potencial antifúngico devido à presença de compostos bioativos, tais como o γ -sisterol, e o ftalato de di-n-octilo, composto identificado como majoritário produzido por *T. pseudodensum*. O que pode justificar a atividade antifúngica apresentada pelo extrato contra *S. sclerotiorum*.

4 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo destacam o significativo potencial biotecnológico de *Trichoderma pseudodensum*, especialmente no biocontrole de fitopatógenos e na inibição de crescimento vegetal por meio de compostos aleloquímicos. A alta inibição de *Sclerotinia sclerotiorum* de 74,53% e o impacto sobre o desenvolvimento de plântulas de alface com inibição do desenvolvimento da plântula em 82,8% e das raízes em 93,7%, reforçam a capacidade deste fungo em produzir compostos bioativos com aplicações promissoras na agricultura sustentável.

A caracterização química revelou a presença de metabólitos importantes, como o Ftalato de di-n-octilo, que possui atividade antifúngica reportada na literatura. Isto sugere que o extrato bruto de *T. pseudodensum* pode ser explorado como uma ferramenta eficiente tanto no controle de pragas quanto na modulação do crescimento vegetal, oferecendo novas oportunidades para o desenvolvimento de produtos agrícolas mais ecológicos.

AGRADECIMENTOS

A UFT e ao Programa de Produtividade em Pesquisa da PROPESQ/UFT, pelo apoio estrutural e financeiro.

REFERÊNCIAS

- AKHTAR, R.; JAVAID, A.; QURESHI, M. Z. Bioactive constituents of shoot extracts of *Sisymbrium irio* L. against *Fusarium oxysporum* f. sp. cepae. *Planta Daninha*, v. 38, 2020.
- ALVES, F. A. M. Perfil químico e atividade alelopática e antagonista de fungos endofíticos. 2020. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi, curso de pós-graduação em Química, Gurupi – TO, 2020.
- CAI, F.; DRUZHININA, I. S. In honor of John Bissett: authoritative guidelines on molecular identification of *Trichoderma*. *Fungal Diversity*, v. 107, p. 1–69, 2021.
- CHEN, K.; ZHUANG, W. Y. Discovery from a large-scaled survey of *Trichoderma* in soil of China. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07807-3>. Acesso em: 2 out. 2024.
- FILHO, A. C. de M.; CASTRO, F. de S. Perfil químico e atividade antifúngica dos óleos essenciais do talo de folha de *Schinus Mole* L. *Revista de Agroecologia no Semiárido (RAS)*, Sousa - PB, v. 4, n. 5, p. 23-39, 2020.
- FUJII, Y.; HIRADATE, S. *Allelopathy: new concepts & methodology*. New Hampshire: Science Publishers, 2007. p. 382.
- GUO, Q. et al. Structures and biological activities of secondary metabolites from the *Trichoderma* genus (covering 2018-2022). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 71, n. 37, p. 13612–13632, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04540>. Acesso em: 2 out. 2024.
- KARTHIK, R. et al. Isolation, purification, and characterization of avian antimicrobial glycopeptide from the posterior salivary gland of *Sepia pharaonis*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 175, n. 3, p. 1507–1518, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1370-8>. Acesso em: 2 out. 2024.
- KHAN, R. A. A. et al. Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. *Microorganisms*, v. 8, n. 6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060817>. Acesso em: 2 out. 2024.
- KUBIAK, A. et al. Fungi of the *Trichoderma* genus: future perspectives of benefits in sustainable agriculture. *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 13, n. 11, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app13116434>. Acesso em: 2 out. 2024.
- LI, M. F.; LI, G. H.; ZHANG, K. Q. Non-volatile metabolites from *Trichoderma* spp. *Metabolites*, v. 9, n. 3, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/metabo9030058>. Acesso em: 2 out. 2024.
- MODRZEWSKA, M. et al. *Trichoderma* as a biostimulator and biocontrol agent against *Fusarium* in the production of cereal crops: opportunities and possibilities. *Plant Pathology*, v. 71, n. 7, p. 1471–1485, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppa.13578>. Acesso em: 2 out. 2024.
- SAKAR, J.; CHOWDHURY, P. P.; DUTTA, T. K. Complete degradation of di-n-octyl phthalate by *Gordonia* sp. strain Dop5. *Chemosphere*, v. 90, n. 10, p. 2571–2577, 2012.

SCHMOLL, M.; SCHUSTER, A. Biology and biotechnology of Trichoderma. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 87, n. 3, p. 787–799, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2632-1>. Acesso em: 2 out. 2024.

VILLAO-UZHO, L. et al. Biotechnological tools for genetic improvement of Trichoderma. *Scientia Agropecuaria*, v. 15, n. 2, p. 213–223, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.016>. Acesso em: 2 out. 2024.

YAO, X. et al. Trichoderma and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>. Acesso em: 2 out. 2024.