

**Fungos aquáticos do Rio Tocantins (Imperatriz-MA):
abundância e diversidade**

Aquatic fungi of the Tocantins River (Imperatriz-MA):
abundance and diversity

Hongos acuáticos del Río Tocantins (Imperatriz-MA):
abundancia y diversidad

Ivaneide de Oliveira Nascimento

Doutora em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Professora do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.
ivaneide@uemasul.edu.br / <http://orcid.org/0000-0001-7095-7092>

Samara Reis Goveia

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.
samaragoveia.20200008982@uemasul.edu.br / <http://orcid.org/0009-0005-1760-0744>

Gabriel Guzzard Santos da Cruz

Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.
gabrielcruz.201704607@uemasul.edu.br / <http://orcid.org/0009-0007-1060-4747>

Leonardo de Jesus Machado Gois de Oliveira

Doutor em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão. Bolsista de Pós-doutorado Júnior do CNPq da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.
leonardo_jesus@hotmail.com / <http://orcid.org/0000-0002-6022-9283>

Marcelo Francisco da Silva

Doutor em Biologia de Agentes Infecciosos e Parasitários pela Universidade Federal do Pará – UFPA. Professor do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.
silvamf@uemasul.edu.br / <http://orcid.org/0000-0002-9148-6725>

Recebido: 21/02/2024; Aceito: 26/05/2024; Publicado: 28/06/2026.

Resumo

O presente trabalho analisou a qualidade da água, a abundância e a diversidade de fungos filamentosos aquáticos no Rio Tocantins, na zona urbana de Imperatriz (MA), identificados por morfologia e estrutura molecular. As coletas da água foram feitas em diferentes pontos do Rio Tocantins, entre setembro e outubro de 2021 (período de estiagem); em fevereiro (período chuvoso) e junho (período de estiagem) de 2022; e entre janeiro e maio de 2023 (período chuvoso), com o uso de frascos de vidro esterilizados de 500 ml. As análises macro e microscópica dos fungos aquáticos isolados permitiu a identificação de 8 gêneros (*Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Alternaria* e *Aphanomyces*) e de características de hifas e conídios. A

partir da identificação molecular, foram determinadas as espécies *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum*, *Penicillium rolsii*, *Cladosporium sp.*, *Fusarium incarnatum* e *Trichoderma sp.* pertencentes ao clado Harzianum. Sete gêneros pertencem ao filo *Ascomycota*. Também notou-se a presença de fungos comuns em solo, como *Trichoderma* e *Fusarium*.

Palavras-chave: Ecossistema Aquático; Identificação; Molecular.

Abstract

The present work analyzed water quality, abundance and diversity of filamentous fungi in the Tocantins River, in the urban area of Imperatriz, Maranhão, identified by morphology and molecular structure. Water collections were carried out at different points on the Tocantins River, in the months of September to October 2021 (dry period) and in the months of February (rainy period), June (dry period) of 2022 and in the months of January to May 2023 (rainy season), using sterilized 500 ml glass bottles. Macro and microscopic analysis of isolated aquatic fungi allowed the identification of 8 genera of fungi (*Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Alternaria* and *Aphanomyces*) and characteristics of hyphae and conidia. From molecular identification, were determined the species *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum*, *Penicillium rolsii*, *Cladosporium sp.*, *Fusarium incarnatum* and *Trichoderma sp.*, all of them belonging to the Harzianum clade. Seven genera belong to the phylum *Ascomycota*. The presence of common fungi in soil, such as *Trichoderma* and *Fusarium*, was noticed as well.

Keywords: Aquatic Ecosystem; Identification; Molecular.

Resumen

Las cuencas hidrográficas sufren presiones antrópicas que provocan estrés ambiental, como el El presente trabajo analizó la calidad del agua, abundancia y diversidad de hongos filamentosos acuáticos en el río Tocantins, en el área urbana de Imperatriz - Maranhão, identificándolos por morfología y molecular. Se realizaron recolecciones de agua en diferentes puntos del río Tocantins, en los meses de septiembre a octubre de 2021 (período seco) y en los meses de febrero (período lluvioso), junio (período seco) de 2022 y en los meses de enero a mayo 2021. 2023 (época de lluvias), utilizando botellas de vidrio esterilizadas de 500 ml. Los análisis macro y microscópicos de hongos acuáticos aislados permitieron la identificación de 8 géneros de hongos (*Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Alternaria* y *Aphanomyces*) y las características de las hifas y conidios de los hongos. A partir de la identificación molecular se determinaron las especies *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum*, *Penicillium rolsii*, *Cladosporium sp.*, *Fusarium incarnatum* y *Trichoderma sp.*, pertenecientes al clado Harzianum. Siete géneros pertenecen al phylum *Ascomycota*, se observa la presencia de hongos comunes en el suelo, como *Trichoderma* y *Fusarium*.

Palabras clave: Ecossistema Acuático; Identificación; Molecular.

Introdução

Os fungos ocorrem numa grande diversidade de ambientes: terrestre, marinho, dulçaquícola e aéreo, com uma distribuição global, das regiões temperadas às polares. Apresentam grande diversidade de formas, de ciclos de vida e de modo de vida. Os fungos na sua maioria são sapróbios, mas também existem fungos parasitas (de animais, de plantas e de outros fungos), simbiontes mutualistas (como líquenes, micorrizas e ainda associações com insetos e outros animais) e predadores de animais microscópicos (Azevedo, 2018).

Os fungos considerados verdadeiros fungos aquáticos são os ingoldianos, por sua dependência exclusiva de água para reprodução e conídios adaptados para dispersão nos

ecossistemas aquáticos. Normalmente, são encontrados em águas limpas e claras, porém, há casos de fungos encontrados em ambientes lênticos ou eutrofizados (Schoenlein Crusius *et al.*, 2014).

Outro conjunto de fungos são os aquático-terrestres, também conhecidos como geofungos. Estes organismos terrestres podem ser introduzidos nos ecossistemas aquáticos por meio de ventos, chuvas, escoamento de águas superficiais e assoreamento causado pelo solo marginal. São reconhecidos por colonizar substratos submersos e desempenhar um papel ativo na decomposição desses materiais (Crusius; Moreira, 2010).

Atualmente, já foram descritas 100.000 espécies de fungos, porém, estima-se que haja mais de cinco milhões delas (Santos, 2015). A grande maioria dos fungos conhecidos tem presença predominante em ambientes terrestres. Contudo, é importante notar a existência de diversos grupos de fungos adaptados a ambientes aquáticos, tanto no meio marinho quanto em águas doces e salobras (Dandolini; Royer, 2013). Os fungos aquáticos são polifiléticos e dividem-se em quatro grupos, com base na morfologia e no estilo de vida: aquáticos-facultativos, aquáticos-terrestres, ingoldianos e aeroaquáticos (Souza, 2016).

São organismos indispensáveis ao ecossistema, pois realizam atividade sapróbia nos ambientes aquáticos e são fundamentais na ciclagem de elementos essenciais, mineralização, acumulação de materiais tóxicos e desintoxicação ambiental. Além disso, são excelentes indicadores biológicos do delicado equilíbrio aquático e das interações com outros organismos (Silveira, 2012).

A pesquisa taxonômica e ecológica dos fungos de água doce é atualmente limitada, com poucos especialistas dedicados a esse campo no Brasil. Dada a relevância econômica e ecológica desses fungos, torna-se prioritário conduzir estudos de biodiversidade em níveis genético e específico. Esses estudos, associados à investigação ecológica, são essenciais para uma compreensão mais profunda e a preservação adequada dos fungos de água doce no país (Lewinsohn, 2005).

A identificação e a pesquisa abrangente de espécies micológicas têm impulsionado progressos científicos significativos. Um exemplo notável é a identificação do fungo *Penicillium chrysogenum*, que resultou na criação do primeiro antibiótico, a penicilina (Oliveira, 2013).

O Rio Tocantins tem sua origem na Estação Ecológica de Águas Emendadas, no Distrito Federal. Ele percorre os estados de Goiás, Tocantins, Maranhão e Pará e deságua no golfo Amazônico, próximo a Belém, onde se encontra a ilha de Marajó (Castro, 2017). Na região sudoeste do estado do Maranhão, na sua margem direita, encontra-se o município de Imperatriz, situado a 630 km da capital São Luís. A cidade ocupa a posição de

segundo maior centro político, cultural e populacional do estado, além de deter o segundo maior Produto Interno Bruto (PIB) do estado. No cenário nacional, Imperatriz ocupa a 165ª posição, com um PIB de R\$7.126.746,00 milhões (castro, 2017).

O estudo supracitado é especialmente importante para a Imperatriz, que se beneficia significativamente do Rio Tocantins, que oferece vantagens financeiras e alimentares à comunidade local por meio da pesca e do turismo durante a temporada de praias. Além disso, suas águas desempenham um papel vital na produção de energia elétrica pela Usina Hidrelétrica de Estreito. Portanto, é imperativo conduzir estudos aprofundados sobre o ecossistema aquático local para garantir sua preservação e sua sustentabilidade.

A pesquisa aqui desenvolvida foi fundamental para o conhecimento da abundância e da diversidade populacional de fungos aquáticos do Rio Tocantins em Imperatriz. Espera-se, assim, que seus resultados possam subsidiar medidas de manejo e monitoramento para a conservação da biodiversidade regional.

Material e métodos

Área de estudo

As coletas foram realizadas em 10 (dez) pontos amostrais do Rio Tocantins, no perímetro urbano de Imperatriz, nas coordenadas geográficas 5° 31' 32" latitude Sul; 47° 26' 35" longitude a Oeste, com altitude média de 92 m acima do nível do mar (PREFEITURA DE IMPERATRIZ, 2021) nos períodos de estiagem e chuvoso. Os pontos de coleta ao longo do rio foram em -5,83176° latitude Sul; - 47,07010° longitude a oeste. (Figura 1).

Figura 1 - Pontos de coleta no Rio Tocantins em Imperatriz -MA.



Fonte: Google Maps (2023).

Coleta e armazenamento da água

A coleta da água foi feita utilizando frascos de vidro esterilizados de 500 mL. Em todos os procedimentos de coleta, foram incluídos controles de viagem por meio de frascos com 500 mL de água estéril que acompanharam o deslocamento dos recipientes durante a amostragem para monitorar possíveis contaminações. Após a coleta, os frascos foram transportados em uma caixa de isopor com gelo até o local destinado às análises. Antes de serem analisadas, as amostras foram mantidas refrigeradas, com temperatura inferior a 10 °C por um período máximo de 24 horas. Cada amostra foi analisada em triplicata, de acordo com as metodologias descritas por Filizola, Gomes e Souza (2006); Faia (2011); e Ottoni e Yamaguchi (2014).

As coletas foram realizadas no período da manhã entre às 08h00 às 10h00 em barco num percurso entre a praia do Cacau até a praia do Meio, distanciadas por 4,5 km uma da outra, numa profundidade de mais ou menos 30 cm, em dez pontos diferentes, nos períodos de estiagem e chuvoso. De cada ponto amostral realizou-se aferição dos parâmetros físico-químicos como Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), Turbidez (NTU), Salinidade (PPT) e Condutividade (COND) da região superficial do corpo hídrico. Esses parâmetros foram medidos no laboratório em função da pequena distância da coleta ao laboratório com sonda multiparâmetros da marca Hidrolab, modelo DS5, calibrada antes de cada campanha de coleta.

Método de filtração por membrana filtrante

A filtração por membrana foi usada em condições estéreis para detectar a presença de fungos filamentosos e leveduras em diversas amostras de água. Para cada amostra, 100 mL de água foram filtrados em triplicata, com membranas estéreis de diâmetro de poro de 0,45 µm (Millipore®).

Após a filtração, as membranas foram transferidas para o meio de cultura BDA (ágar, batata, dextrose) suplementado com cloranfenicol, na concentração de 30 mg/100 mL, e as placas incubadas de forma não invertida para favorecer o crescimento de fungos em estufa de crescimento (B.O.D) a 25 ±1 °C, para avaliação da diversidade fúngica e do isolamento das culturas. As placas foram examinadas a partir do terceiro dia, e o número de unidades formadoras de colônias (UFC) por 100 ml de amostra foram avaliadas até o décimo dia, período no qual procedeu-se o registro diário do crescimento de colônias nas placas. Após o crescimento, as placas foram conservadas a uma temperatura inferior a 10 °C. As placas que apresentaram crescimento foram submetidas à contagem de colônias com base em seu aspecto morfológico.

Identificação clássica

As colônias morfológicamente semelhantes foram isoladas por repicagens sucessivas e separadas em meio BDA (ágar, batata, dextrose) suplementadas com cloranfenicol. Após 5 e 7 dias de crescimento, foi feito um registro fotográfico das características macroscópicas observadas. Características como rebordo, zonação ou rugosidade foram classificadas a partir da presença ou da ausência no fungo filamentosos em estudo.

Para identificação ao nível de gênero das colônias de fungos filamentosos isolados, foi feita a observação macroscópica das colônias (cor, textura, bordos) e microscópica dos esporos (arranjo, forma, tamanho, septos, pigmentação) e os tipos de hifas dos fungos. Os dados obtidos foram comparados com a descrição das espécies em bibliografias específicas.

As preparações microscópicas para visualização ao microscópio consistiram em retirar do rebordo da colônia uma amostra e colocá-la numa gota de azul de algodão (1g/L em ácido láctico 88%), entre a lâmina e a lamínula. Para visualização dos fungos filamentosos, cujas colônias não eram muito pulverulentas, usou-se fita-adesiva, colocada sobre a colônia e transportada para a lâmina com uma gota de azul de algodão. Por fim, para a dispersão dos esporos, foi usada uma gota de álcool 98% na lâmina.

Identificação genética

Após o isolamento e a obtenção de culturas puras, foi feita a extração de DNA com o kit *Dneasy Plant Mini Kit* (Pró-Análise), de acordo com as recomendações do fabricante. Posteriormente, fez-se à amplificação pela técnica de reação em cadeia da Polimerase (PCR), da região correspondente ao espaçador interno transcrito (ITS) ITS1 – 5,8S – ITS2. Para a amplificação da região ITS, foi usado 30 mg de DNA total, e adicionou-se 5 µL de tampão 5X; 0,3 µL de GoTaq DNA Polimerase (5U/µL) (Promega); 0,5 µL de dNTP (10 mM); 0,5 µL de cada primer (10 µM) e água milli-Q para completar o volume de reação (25 µL). Em seguida, essa mistura foi submetida à amplificação com o seguinte ciclo: etapa de desnaturação inicial a 94 °C por 5 minutos; 35 ciclos com desnaturação a 94 °C por 30 segundos; anelamento a 60 °C por 1 minuto; e extensão a 72 °C por 10 minutos. Foram usados os primers ITS1 (5' TCCGTAGGTGAACCTGCGG 3'), ITS4 (5' TCCTCCGCTTATIGATATGC 3'), 5F2 (5' 'CGGTCTGAACSTATAACSTGYT 3'), Cal 235f (5'TYTTCTGGTGGCATTCG 3'), BT2A (5' CAGTTGGCACGGACTGACC 3') e EF1 (5' CCCGACGCTGCCGTC 3') 728f (5' GCCACAACAACGGACTATC 3') segundo White *et al.* (1990).

As amostras amplificadas foram submetidas ao sequenciamento, e os

eletroferogramas foram usados para a construção de contigs no programa DNAdragon e a montagem final de cada sequência com auxílio do programa MegaX (Kumar et al., 2018).

Análise de dados

Para avaliar a diversidade dos fungos, foi usado o índice de diversidade de Shannon (H'), calculado de acordo com a equação: $H' = -\sum p_i \ln(p_i)$, em que p_i é o número de fungos de cada espécie em 100ml de água/ número total de fungos de todas as espécies.

A frequência de ocorrência (FO) das espécies foi calculada pela equação: $F_i = J_i/k$, onde F_i = frequência de ocorrência da espécie i ; J_i = número de amostras onde a espécie i ocorreu; e k = número total de amostras. As espécies foram ordenadas em quatro categorias baseadas em sua frequência de ocorrência (FO), segundo Zhang (2004): espécie dominante ($FO > 0,50$); espécie mais comum ($0,50 > FO > 0,31$); espécie comum ($0,30 > FO > 0,10$); e espécies raras ($FO < 0,10$).

Resultados

De acordo com os resultados, as quantidades de sais dissolvidos nos diferentes pontos de coletas nos períodos seco e chuvoso são semelhantes e o teor de sólidos totais (TDS) nos pontos de coleta 1, 2, 3, 5, 6, 9 e 10 foram maiores no período chuvoso. Os valores de turbidez foram maiores no período chuvoso em todos os pontos, com exceção do ponto 2. Quanto à condutividade, nos pontos 1, 2, 5, 6 e 9, os valores foram maiores no período chuvoso, e para os pontos 3, 4, 7, 8 e 10, os valores foram maiores no período de estiagem (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros de qualidade das amostras de água coletadas no Rio Tocantins.

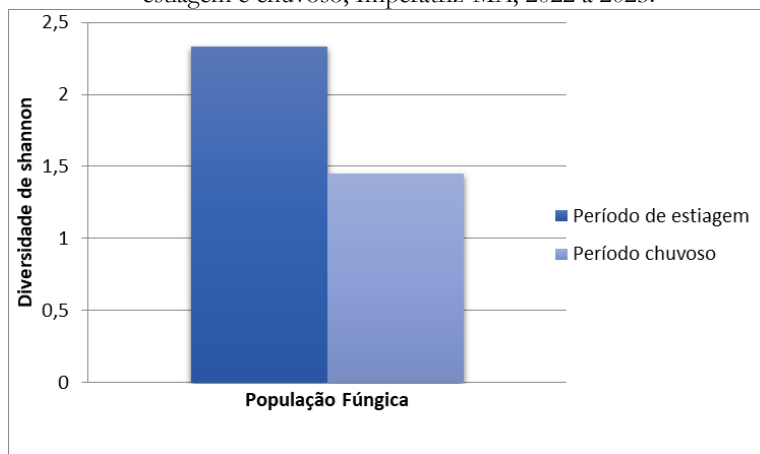
	Período estiagem				Período chuvoso			
	TDS (g L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	SAL (PPT)	COND (us/cm)	TDS (g L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	SAL (PPT)	COND (us/cm)
ponto 1	0,038	27,5	0,02	47	0,311	30,1	0,01	53,2
ponto 2	0,036	40	0,01	46	0,051	34,8	0,02	46,8
ponto 3	0,01	36,3	0,01	51,3	0,032	38	0,02	41,4
ponto 4	0,031	32,2	0,02	50	0,031	38,1	0,01	46,6
ponto 5	0,03	25,7	0,01	43	0,133	32,1	0,01	46,7
ponto 6	0,031	27,2	0,01	47	0,067	31,4	0,01	59,1
ponto 7	0,031	23,7	0,01	49	0,029	41,6	0,03	44,3
ponto 8	0,034	22,4	0,01	54,1	0,033	35	0,03	38,3
ponto 9	0,035	21,4	0,02	42,1	0,177	29	0,01	45,4
ponto 10	0,022	26	0,01	60,2	0,035	28	0,01	52,3

Legenda: TDS=Total de Sólidos Dissolvidos; NTU=Turbidez; PPT=Salinidade; COND.=Condutividade.

Organização: Autores (2023).

As quantidades de colônias de fungos aquáticos encontradas nas amostras de água do Rio Tocantins foram maiores no período de estiagem, de acordo com o índice de diversidade de Shannon (H'), no qual se quantificou menor teor de sólidos totais e menor turbidez e maior condutividade nos pontos 3, 4, 7, 8 e 10 (Tabela 1 e Figura 2).

Figura 2 - Índice de diversidade de Shannon (H') de fungos aquáticos do Rio Tocantins, nos períodos de estiagem e chuvoso, Imperatriz-MA, 2022 a 2023.



Fonte: Autor (2023).

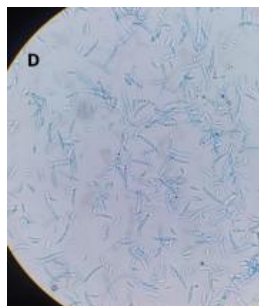
De acordo com os dados morfológicos, foram identificados 13 isolados de fungos, distribuídos em 8 gêneros: *Fusarium sp.*, *Trichoderma sp.*, *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Curvularia sp.*, *Alternaria sp.* e *Aphanomyces sp.* (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização e imagens macro e microscópicas dos fungos nas amostras do Rio Tocantins de acordo com os gêneros identificados.

Gênero *Fusarium sp.*

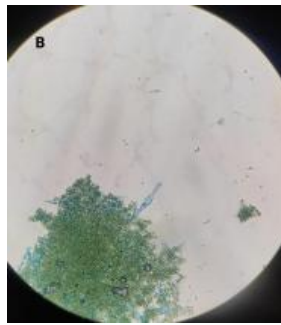


Fusarium sp. apresenta colônia em forma de bolor na cor branca (A); esporos, apenas um tipo de conídio e hifas hialinas septadas (B).

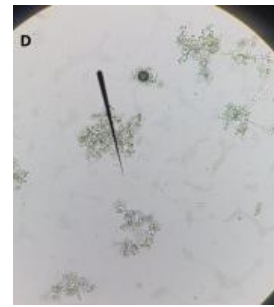


Fusarium sp. apresenta coloração branca em forma de bolor e com crescimento igual na placa (C); hialinas septadas, esporos e um tipo de conídio (D).

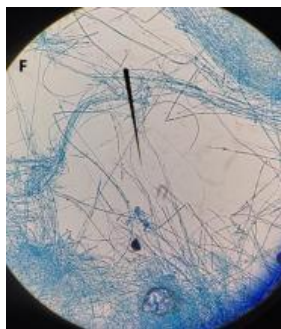
Gênero *Trichoderma sp.*



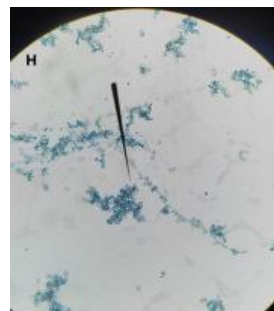
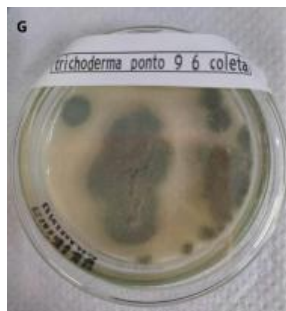
Trichoderma sp. apresenta colônia de micélio na textura verde escuro (A); hifas septadas e conídios ativos e inativos e crescimento espiral (B).



Trichoderma sp. apresenta colônia verde musgo (C); hifas septadas com conídios ativos e inativos (D).

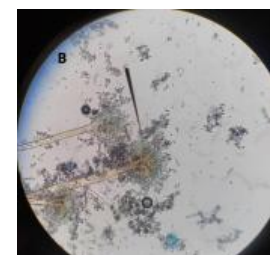
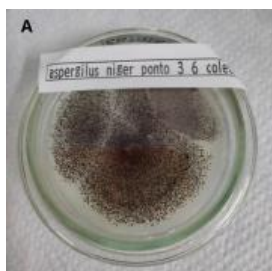


Trichoderma sp. apresenta colônia de micélio na cor amarelada (E); hifas não septadas e conídios ativos (F).

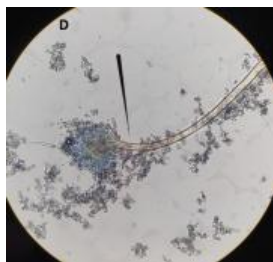
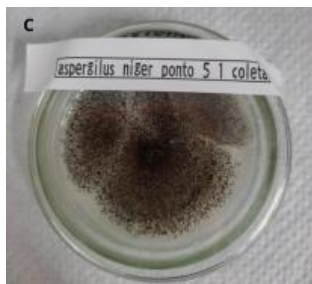


Trichoderma sp. apresenta colônia de micélio verde musgo (G); hifas septadas e conídios ativos e inativos (H).

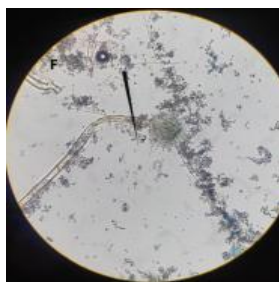
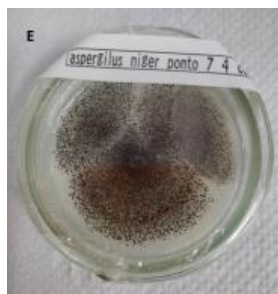
Gênero *Aspergillus*



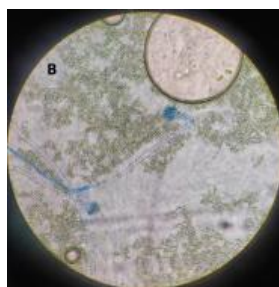
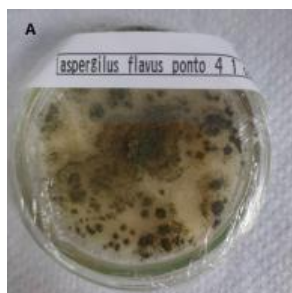
Aspergillus niger apresenta colônia de micélio marrom escuro (A); vesícula globosa, com conídios simples e ramificados, ativos e inativos (B).



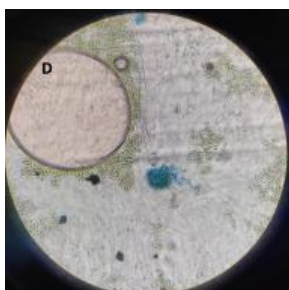
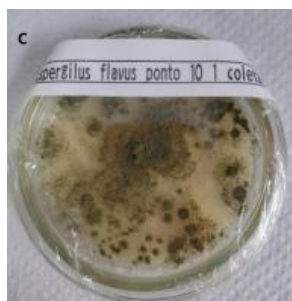
Aspergillus niger apresenta coloração da colônia de micélio marrom escuro (C); vesícula globosa, com conídios simples e ramificados (D).



Aspergillus niger apresenta coloração da colônia de micélio marrom escuro (E); conídios simples e ramificados, com vesícula globosa (F).

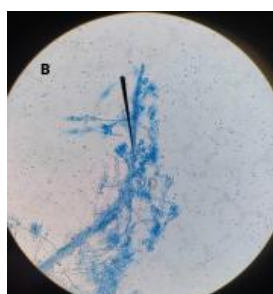
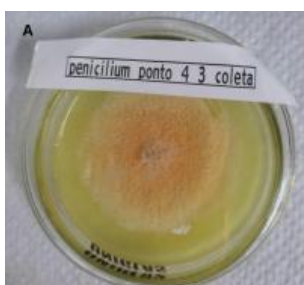


Aspergillus flavus apresenta colônia de micélio na textura esverdeada (A); hifas não septadas, com conídios ativos e inativos ramificados e vesícula globosa (B).

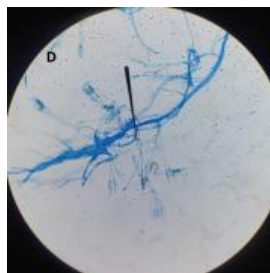


Aspergillus flavus apresenta colônia de micélio na textura esverdeada (C); hifas não septadas, com conídios ativos e inativos ramificados e vesícula globosa (D).

Gênero *Penicillium*

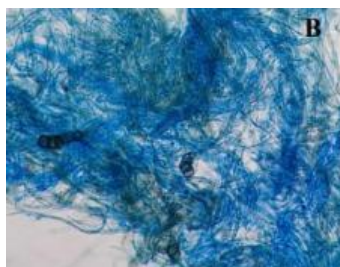
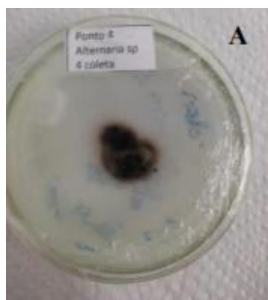


Penicillium sp. apresenta coloração amarelo (A); hifas septadas, conídios inativos e ativos (B). Durante o crescimento fúngico, ocorre alteração na cor do meio BDA, que se tornou amarelada.



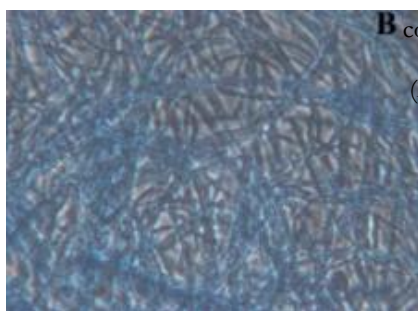
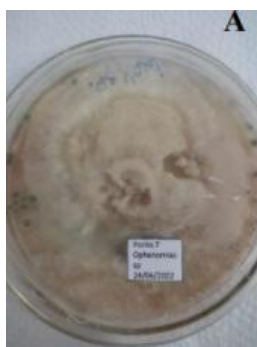
Penicillium sp., colônia de textura amarela; ocorreu alteração na cor do meio durante o crescimento (C); hifas septadas e conídios ativos (D).

Gênero *Alternaria*



Alternaria sp. apresenta colônia de micélio em formato de bolor, com coloração marrom (A); conídios em forma de clava ou pera invertida (B).

Gênero *Aphanomyces*

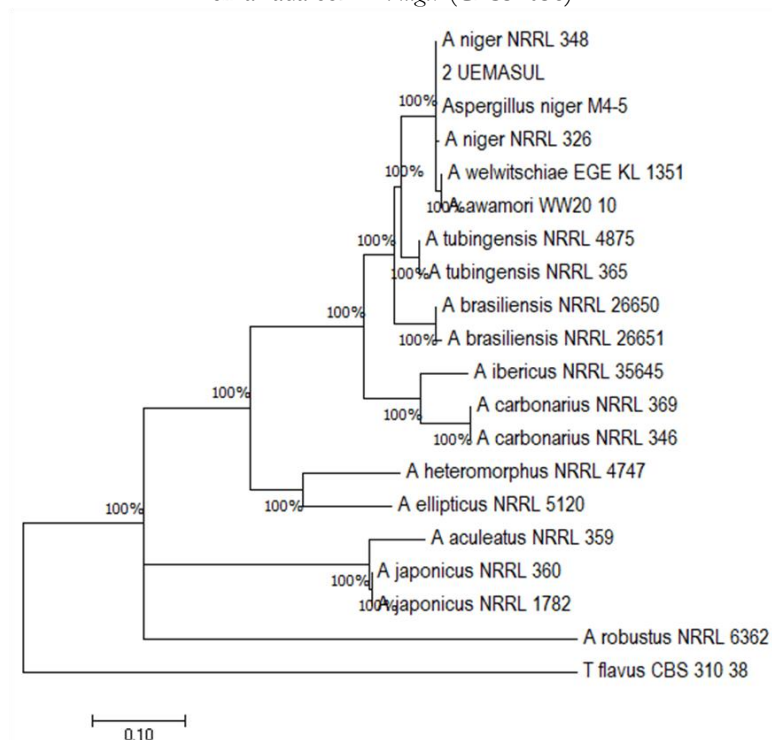


Aphanomyces sp. apresenta colônia de micélio em forma de bolor, com coloração branca (A). Tem hifas cenocíticas (B).

Fonte: Autor (2023).

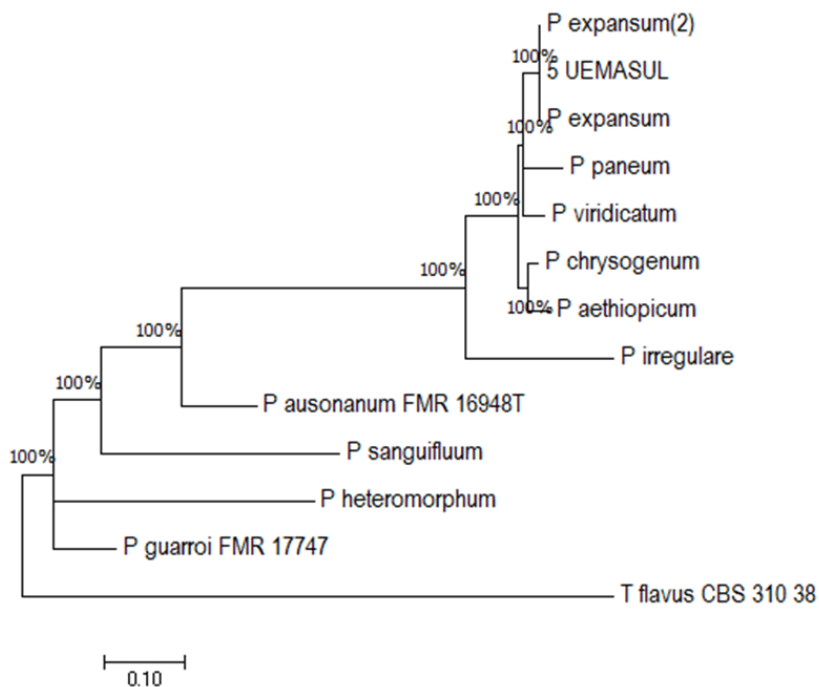
A partir da identificação molecular, foram determinadas as espécies *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum*, *Penicillium rolfsii*, *Cladosporium sp.*, *Fusarium incarnatum* e *Trichoderma sp.* pertencente ao clado Harzianum. Os valores acima dos ramos indicam o suporte com base em *bootstrap*/probabilidade posterior (*neighbour joining*/bayesiana). A espécie isolada do presente estudo está representada por “UEMASUL” (Árvore filogenética Figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8).

Figura 3 - Árvore filogenética de espécies do gênero *Aspergillus* sp. baseada em inferência bayesiana e enraizada com *A. niger* (CBS31038).



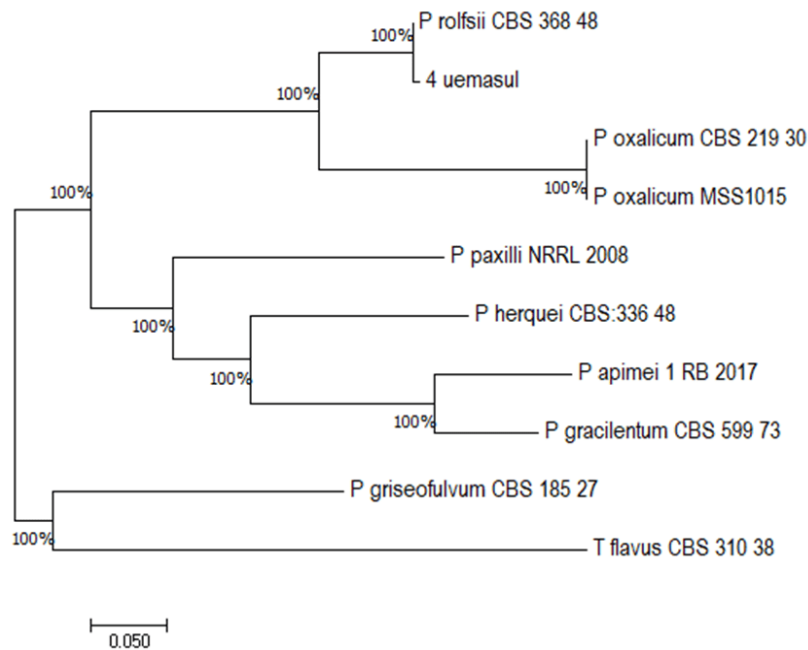
Fonte: Autor (2023).

Figura 4 - Árvore filogenética de espécies do gênero *Penicillium* sp. baseada em inferência bayesiana e enraizada com *Penicillium expansum*.



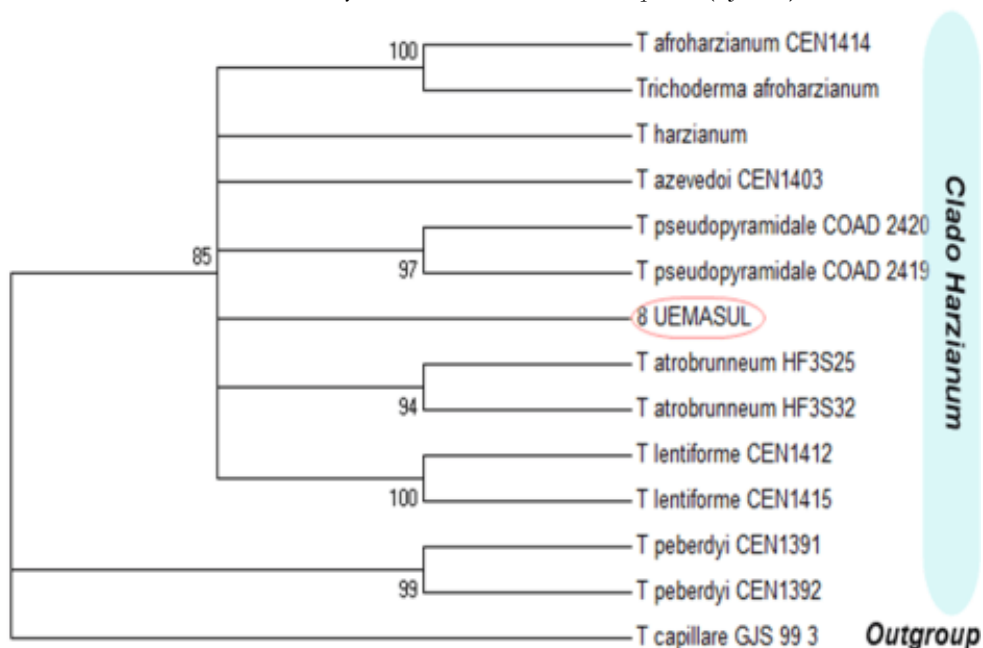
Fonte: Autor (2023).

Figura 5 - Árvore filogenética de espécies do gênero *Penicillium* sp. baseada em inferência bayesiana e enraizada com *P. rolfsii* (CBS36848).



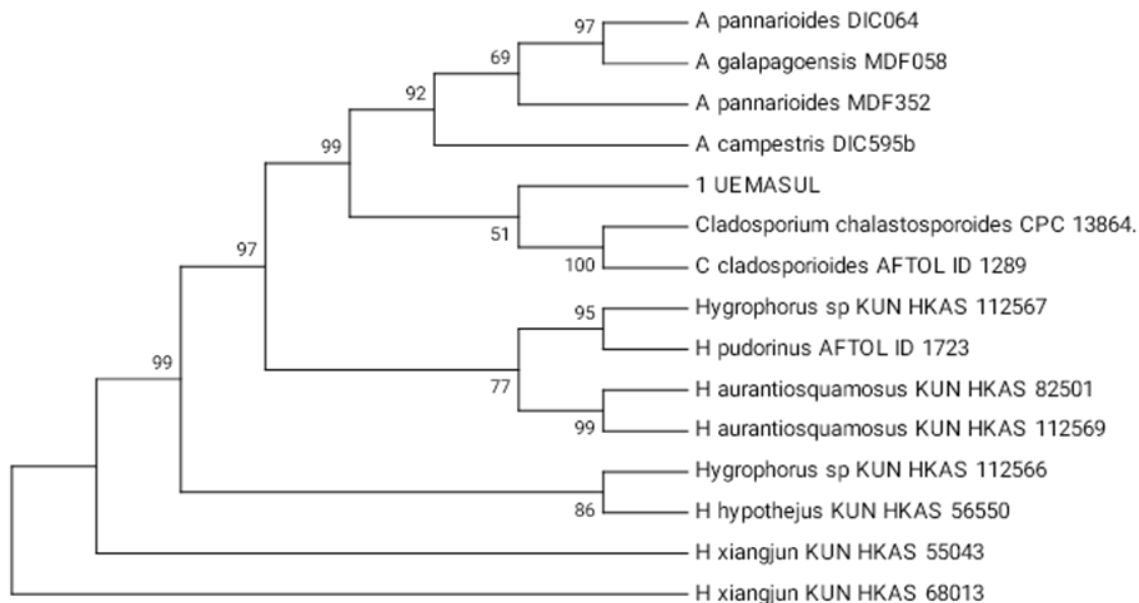
Fonte: Autor (2023).

Figura 6 - Árvore filogenética de espécies do gênero *Trichoderma* sp pertencente ao clado Harzianum baseada em inferência Bayesiana e enraizada com *T. capillare* (CJS993).



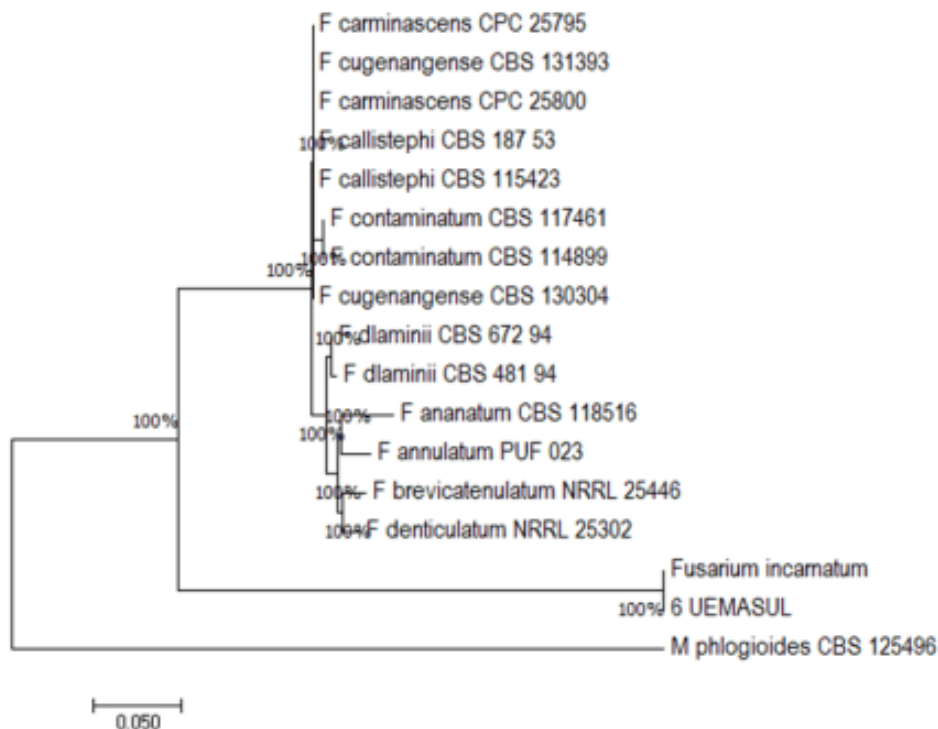
Fonte: Autor (2023).

Figura 7 - Árvore filogenética de espécies do gênero *Cladosporium* sp. baseada em inferência bayesiana e enraizada com *H. xiangjun* (KUNHKAS68013).



Fonte: Autor (2023).

Figura 8 - Árvore filogenética de espécies do gênero *Fusarium* sp. A espécie isolada de *Fusarium incarnatum* do presente estudo está representada por “UEMASUL”.

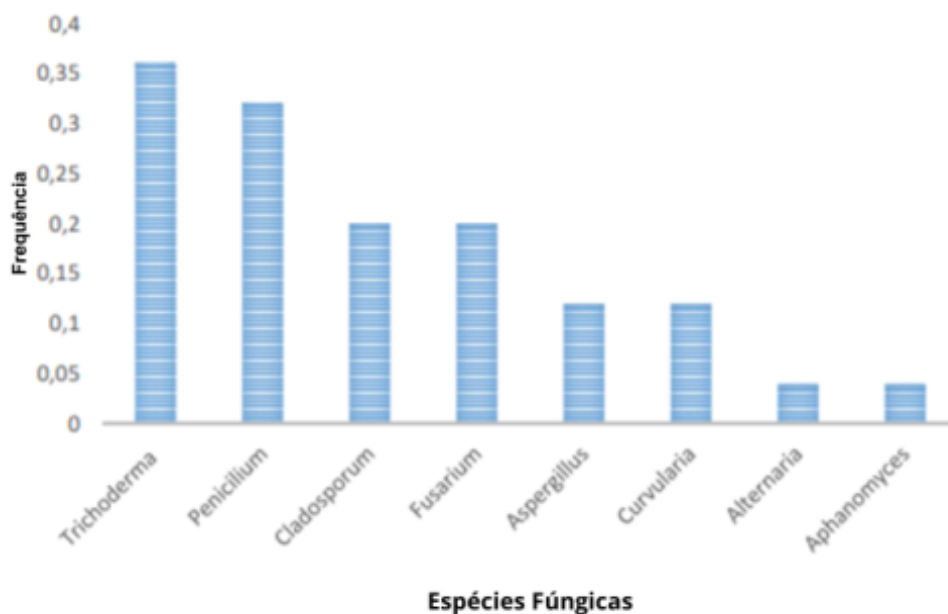


Fonte: Autor (2023).

A Figura 9 apresenta os gêneros de fungos e suas respectivas frequências de ocorrência em todos os pontos de coleta no Rio Tocantins. Observa-se que o gênero *Alternaria* e *Aphanomyces* são consideradas espécies raras, e não há espécie dominante para o estudo conduzido no Rio Tocantins. Os fungos do gênero *Trichoderma* e *Penicillium* são

espécies comuns em todos os pontos de coleta, as espécies *Cladosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus* e *Curvularia* são classificados como mais comuns.

Figura 9. Frequência de ocorrência dos fungos identificados no Rio Tocantins. O gráfico apresenta a frequência de ocorrência de espécies, onde não há uma espécie dominante, gêneros como *Trichoderma* e *Penicillium* são mais comuns.



Fonte: Autor (2023).

Discussão

No Rio Tocantins, o teor de sólidos totais (TDS) está nos padrões adequados: variaram de 0,1 a 41,4 mg.L⁻¹, visto que a Portaria do Ministério da Saúde n.º 2914/2011 estima que o padrão para consumo humano aceitável da presença dessas substâncias na água é de até 1000 mg/L. Já a Resolução n.º 357, de 2005, do Ministério do Meio Ambiente, determina que o padrão indicado para consumo humano deve ser menor que 500 mg/L.

Os valores de turbidez para as amostras de água do Rio Tocantins variaram de 21,1 a 43,0 UNT (esse último observado somente em um único ponto na coleta 1), dentro dos padrões adequados, uma vez que, de acordo com a Resolução Conama n.º 357/2005, os valores de turbidez para rios de classe I não devem ultrapassar 40 NTU.

Os parâmetros ambientais do Rio Tocantins influenciaram o número de colônias fúngicas: observou-se uma maior quantidade de colônias de fungos aquáticos no período seco e quente, no qual se quantificou um menor teor de sólidos totais e menor turbidez, bem como maior condutividade nos pontos de coletas 3,4,7,8 e 10 (Tabela 1 e Figura 2).

O índice de diversidade de fungos aquáticos foi mais elevado durante o período seco. Os fungos do gênero *Trichoderma* e *Penicillium* são espécies comuns em todos os pontos de coleta; as espécies *Cladosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus* e *Curvularia* são classificadas como mais comuns, enquanto as espécies *Alternaria* e *Aphanomyces* são tidas como raras (Figura 9).

O *Trichoderma sp.* se destaca pela maior diversidade. É considerado um biofungicida natural que reduz em até 100% as chances de qualquer outro fungo atingir a cultura (Menezes *et al.*, 2010). Já o gênero *Penicillium sp.* é o segundo com maior diversidade. Esses fungos podem sobreviver no solo ou no interior das sementes e grãos e causar problemas de saúde e intoxicações em seres humanos e animais (Braz *et al.*, 2017).

Com exceção do gênero *Aphanomyces*, os demais pertencem ao filo *Ascomycota*. A classe *Dothideomycetes* foi a mais comum entre os gêneros identificados. Os gêneros *Curvularia* e *Alternaria* se diferenciam apenas ao nível de gênero, ou seja, as demais classificações (filó a família) são as mesmas. As análises macro e microscópica dos fungos aquáticos isolados (Figura 9) permitiu a identificação de 8 gêneros de fungos (*Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Alternaria* e *Aphanomyces*) e características de hifas e conídios, importantes para identificação de espécies.

As espécies do gênero *Aspergillus sp.* são geralmente inofensivas para os seres humanos. Algumas variedades, no entanto, podem induzir doenças devido à produção e ação de micotoxinas. As espécies mais prevalentes incluem *A. fumigatus*, *A. flavus* e *A. niger* (Costa *et al.*, 2020).

O gênero *Penicillium sp.*, amplamente identificado, é extensivamente empregado na indústria farmacêutica devido à sua capacidade de produzir micotoxinas com propriedades bactericidas. Uma das descobertas genéticas mais significativas relacionadas a esse fungo foi sua habilidade de sintetizar a penicilina, identificada por Alexander Fleming em 1928 (Braz *et al.*, 2017).

Os fungos pertencentes ao gênero *Alternaria sp.* identificados têm a capacidade de persistir entre diferentes cultivos em resíduos de cultura infectados, bem como em hospedeiros intermediários. Sua sobrevivência estende-se a equipamentos agrícolas, estacas e caixas utilizadas, e até mesmo sementes (Silva; Melo, 1999). Por sua vez, o gênero *Fusarium* apresenta grande importância econômica, pois são fitopatógenos de ampla distribuição mundial que causam devastadoras perdas na agricultura, como a podridão em vegetais (Zacaroni, 2009).

O gênero *Aphanomyces* sp. são responsáveis por uma variedade de doenças de plantas, inclusive *Aphanomyces euteiches*, que causa podridão da raiz de ervilhas-inglesas, e *A. cochloda*, agente causador da podridão radicular em beterraba-sacarina (Islam; Tahara, 2001).

Quanto à identificação molecular dos fungos isolados do Rio Tocantins, foram identificadas as espécies *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum*, *Penicillium rolfsii*, *Trichoderma* sp. pertencentes ao clado Harzianum; *Cladosporium* sp. e *Fusarium incarnatum*. (Árvore filogenética 3, 4, 5, 6, 7 e 8).

O *Penicillium expansum* é uma espécie sem estudos certos em bacias próximas ao Rio Tocantins e, como mostra a árvore, apresentou ocorrência. No entanto, seu gênero foi identificado por Takahashi (2009) em um estudo de fungos em águas do Parque Municipal do Ibirapuera, em São Paulo – SP.

A espécie *Penicillium rolfsii* é uma espécie sem ocorrência nessa região de águas doces, seus únicos estudos são em ambientes terrestres, uma vez que é considerada um patógeno de plantas. No entanto, seu gênero também já foi descrito no trabalho de Takahashi (2009).

O *Fusarium incarnatum* não apresenta ocorrência em trabalhos na região de estudo, seu gênero já foi identificado em outras bacias, como em águas de rios doces, no trabalho de Florindo (2019), onde cinco isolados foram identificados como *Fusarium* sp. Nesse gênero, há muitas espécies que produzem diferentes metabólitos secundários biologicamente ativos (Moretti, 2009).

Conclusão

As análises físico-químicas dos parâmetros de qualidade da água do Rio Tocantins constatarem que a água pertence à Classe I, a qual é destinada ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas, e de frutas que se desenvolvem rente ao solo e são ingeridas cruas sem remoção de película; à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana, dentro dos limites determinados nas Resoluções do CONAMA (2011) e do recomendado pelo Ministério da Saúde. Contudo, faz-se necessária a continuidade da pesquisa com abrangência de pontos e coletas que promovam maior segurança.

Os parâmetros ambientais do Rio Tocantins influenciaram o número de colônias fúngicas: observou-se maior diversidade de espécies no período seco, período de baixa precipitação, quente, no qual se quantificou menor teor de sólidos totais e menor turbidez.

Na água do Rio Tocantins, no perímetro urbano de Imperatriz (MA), foram identificados fungos pertencentes aos gêneros *Trichoderma*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Curvularia*, *Alternaria* e *Aphanomyces*, e sete pertencem ao filo *Ascomycota*. Notou-se a presença de fungos comuns em solo, como *Trichoderma* e *Fusarium*, que, inferiu-se, ocorrer devido ao desmatamento das margens e às enxurradas, cujo conteúdo é carregado rio adentro.

A partir da identificação molecular, foram determinadas as espécies *Aspergillus flavus*, *Penicillium expansum*, *Penicillium rolszii*, *Cladosporium sp.*, *Fusarium incarnatum* e *Trichoderma sp.* pertencentes ao clado Harzianum. Muitos desses não apresentam ocorrência de trabalhos na região de estudo, como é o caso do *Fusarium incarnatum*.

Os gêneros *Alternaria* e *Aphanomyces* são consideradas espécies raras e não há espécie dominante para o estudo conduzido no Rio Tocantins.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, ao CNPq pela concessão de bolsa PIBIC/CNPq, e a todos os integrantes do Laboratório de Microbiologia e Saúde e do Núcleo de Pesquisa Aplicada aos Estudos Químicos, Ambientais, Microbiológicos e Epidemiológicos - NUPQAME da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão.

Referências

AZEVEDO, E.; BARATA, M. Diversidade no reino Fungi e aplicações à Indústria. **Revista de Ciência Elementar**, v. 6, n. 4, 2018. 7. doi.org/10.24927/rce2018.077

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2011. Disponível em: <[http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914danos à saúde de seus usuários](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914danos%20a%20saude%20de%20seus%20usuarios)>. Acesso em: 20 jan. 2024.

BRAZ, S. M.; CORTEZA, D. V.; GONÇALVES, D. B.; CASTRO, H. F. Seleção de espécies do gênero *Penicillium* produtoras de lipase ligada ao micélio para aplicação em

hidrólise de óleos vegetais. **Química Nova**, v. 40, n. 4, p. 427-435, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170033>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

CASTRO, W. **Conheça o Rio Tocantins**: Vista para Beira Rio na altura do Cais do Porto. Prefeitura de Imperatriz - MA, 2022. Disponível em: <<https://imperatriz.ma.gov.br/blog/nossa-cidade/conheca-o-rio-tocantins.html>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

COSTA, B. E. G. N. Contaminações alimentares por *Aspergillus spp.* e o papel do nutricionista: uma revisão. **Evidência**, v. 20, n. 1, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.18593/eba.24708>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

DANDOLINI, A. H. P.; ROYER, M. R. Fungos: estudo sobre suas contribuições à biosfera. **Cadernos PDE**, v.1, Terra Rica – PR, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.educacao.pr.gov.br/lib/pdfjs/web/viewer.php?ref=39250&search=&order_by=field12&offset=19340&restypes=&starsearch=&archive=&per_page=240&default_sort_direction=ASC&sort=&context=Root&k=&curpos=&file=https%3A%2F%2F%2F%2F%2Fpages%2Fdownload.php%3Fref%3D39250%26size%3D%26ext%3Dpdf%26page%3D1%26alternative%3D-1%26k%3D%26noattach%3Dtrue>. Acesso em: 01 ago. 2024.

LEWINSOHN, T. M. **Avaliação do estado do conhecimento da biodiversidade brasileira**. Brasília: MMA, 2005. v. 1 e 2. 520 p.

ISLAM, M. T.; TAHARA, S. Chemotaxis of fungal zoospores, with special reference to *Aphanomyces cochlioides*. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1933-1948, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1271/bbb.65.1933>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

FAIA, A. M. **Isolamento e identificação de fungos filamentosos e leveduras em alguns pontos de uma rede de distribuição de água**. 2011. 52 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Biotecnologia). Universidade de Lisboa. Lisboa, 2011.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, A. F.; SOUZA, M. D. **Manual de amostra em área agrícola para análise da qualidade ambiental**: solo, água e sedimentos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

FLORINDO, R. H. S. **Bioprospecção de metabólitos secundários bioativos produzidos por fungos endofíticos associados à *Piper sp.* coletada no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais**. 2019.

KUMAR, S.; STECHER, G.; LI, M.; KNYAZ, C.; TAMURA, K. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. **Molecular Biology and Evolution**, v. 35, p.1547-1549, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

MENEZES, J. P.; JUNGES, E.; BLUME, E.; PEREIRA, M. E. Toxicologia do biopreparado a base de *Trichoderma sp.* (isolado UFSM T17) administrado em mamífero. **Revista da FZVA**, v. 17, n. 1, p. 38-50, 2010.

MORETTI, A. Taxonomy of *Fusarium genus*: A continuous fight between lumpers and splitters. **Zbornik Matice srpske za prirodne nauke**, Eslovênia, n. 117, p. 7–13, 2009.

MOREIRA, C. G. SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H. **Fungos em ambientes aquáticos continentais**. 2010. Disponível: <<http://botanicaonline.com.br/geral/arquivos/Fungos>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

OLIVEIRA, K. S. **Atividade antimicrobiana de metabólitos provenientes de fungos isolados do solo**. 2013. Monografia (Bacharelado em Biomedicina) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2013. 44 p.

OTTONI, L.C.C.; YAMAGUCHI, J.O.; YAMAGUCHI, N.U. Ocorrência de fungos em água para consumo humano. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 3426, 2014.

PREFEITURA DE IMPERATRIZ; 2021. Disponível em: <<https://imperatriz.ma.gov.br/portal/imperatriz/localizacao-distancias.html>>. Acesso em: 05 jan. 2024.

SANTOS, E. R. D. **Material Complementar ao livro Sistemática Vegetal I: Fungos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H.; MOREIRA C. G.; TAKAHASHI, J. P. GOMES, E. P. C. Riqueza dos fungos ingoldianos e aquáticos facultativos no Parque Municipal do Ibirapuera, São Paulo, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 41, n. 1, p. 61-76, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S2236-89062014000100006>>. Acesso em: 05 jan. 2024.

SILVA, C. M. S.; MELO I. S. Requisitos nutricionais para o fungo *Alternaria alternata*. **Pesquisa Agropecuária Brasil**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 499-503, 1999.

SILVEIRA, E.S. **Fungos e leveduras na água e plantas macrófitas em decomposição da região estuarina da Lagoa dos Patos e Praia do Cassino**. 2012. 126 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2012.

SOUZA, B. P. **Diversidade fúngica aquática do Açude Engenheiro Ávidos (Boqueirão) de Cajazeiras - PB**. 2016. 25f. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras - PB, 2016.

TAKAHASHI, J. P. Diversidade de geofungos em águas do Parque Municipal do Ibirapuera na cidade de São Paulo, SP, Brasil. 2009.

WHITE, T.J.; BRUNS, T.; LEE, S.; TAYLOR, J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. IN: INNIS, M. A.; GELFAND, D. H.; SNINSKY, J. L.; WHITE, T. J. (Ed.). **PCR Protocols: a guide to methods and applications**. San Diego: Academic, 1990. p. 315-322.

ZACARONI, L. M.; CARDOSO, M. G.; SOUZA, P. E. *et al.* Potencial fungitóxico do óleo essencial de *Piper hispidinervum* (pimenta-longa) sobre os fungos fitopatogênicos *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium oxysporum* e *Colletotrichum gloeosporioides*. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 193-198, 2009.

ZHANG, Y.; GUI, L. D.; LIU, R. J. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in the subtropical region of Duijiangyan, Southwest China. **Plan Soil.**, v. 261, p. 257-263, 2004. DOI:10.1023/B:PLSO.0000035572.15098.f6

Como citar:

ABNT

NASCIMENTO, I. de O. [et al.]. Fungos aquáticos do Rio Tocantins (Imperatriz-MA): abundância e diversidade. **Interespaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 12, n. 01, e23131, 2026. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e23131>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

APA

Nascimento, I. de O. [et al.]. Fungos aquáticos do Rio Tocantins (Imperatriz-MA): abundância e diversidade.. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 12, n. 01, e23131, 2026. Recuperado em 28 junho, 2026, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e23131>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.
Copyright © 2026, Universidade Federal do Maranhão.

