ReGeo ISSN: 2177-3246

CONTAMINAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS EM PIMENTA-DO-REINO (*Piper nigrum* L.) COMERCIALIZADA NO ESTADO DO PARÁ, BRASIL

CONTAMINATION AND CHARACTERIZATION OF FILAMENTOUS FUNGI IN BLACK PEPPER (*Piper nigrum* L.) MARKETED IN THE STATE OF PARÁ, BRAZIL

CONTAMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE HONGOS FILAMENTOSOS EN PIMIENTA NEGRA (*Piper nigrum* L.) COMERCIALIZADA EN EL ESTADO DE PARÁ, BRASIL

https://doi.org/10.56238/revgeov17n2-169

Data de submissão: 23/01/2026 **Data de publicação:** 23/02/2026

Jayanne de Almeida Silva
Graduação em Tecnologia de Alimentos
Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: silvajaytecal@gmail.com

Ana Julia Pantoja Silva
Graduação em Tecnologia de Alimentos
Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: anajuliapantoja611@gmail.com

Danielly Furtado da Silva
Graduação em Engenharia de Alimentos
Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: daniellyfurtado465@gmail.com

Ana Caroline Bernardina da Silva
Graduação em Tecnologia de Alimentos
Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: anacarol9500@gmail.com

Maria Luiza Sousa Martins
Graduação em Tecnologia de Alimentos
Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: marialuizasousamartins01@gmail.com

Evelyn Carolaine Veloso da Silva
Mestrado em Saúde animal na Amazônia
Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: evelynveloso166@gmail.com

João Hamilton Pinheiro de Souza
Instituição: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Análises e Pesquisas em Alimentos e Água (LAPAA), Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: jhpsouza@uepa.br

Alan Reis dos Prazeres
Mestrado em Saúde animal na Amazônia
Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: alan.reisp@gmail.com

Joelson Sousa Lima
Doutorado em Saúde Animal na Amazônia
Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: joelsonbio@live.com

Eliane de Castro Coutinho
Instituição: Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: elianecoutinho@uepa.br

Seidel Ferreira dos Santos
Instituição: Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: seidelsantos@uepa.br

Flávia Cristina Araujo Lucas
Doutorado em Ciências Biológicas (Botânica)
Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: flavia.lucas@uepa.br

Elen Vanessa Costa da Silva
Instituição: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Análises e Pesquisas em Alimentos e Água (LAPAA), Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: elen.vanessa@uepa.br

Josyane Brasil da Silva
Instituição: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Análises e Pesquisas em Alimentos e Água (LAPAA), Universidade do Estado do Pará (UEPA)
E-mail: josybrasil@uepa.br

RESUMO
A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) possui elevada importância econômica para o Brasil, especialmente para o estado do Pará, principal região produtora da especiaria. Entretanto, as etapas de colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento podem favorecer a contaminação fúngica, comprometendo a qualidade microbiológica do produto e representando risco potencial à segurança alimentar. Este estudo teve como objetivo avaliar a contaminação e caracterizar os fungos presentes em amostras de pimenta-do-reino provenientes de uma indústria localizada no estado do Pará, Brasil. Foram analisadas 45 amostras de diferentes lotes de grãos inteiros por meio da contagem de bolores e leveduras e da posterior identificação fúngica. As contagens variaram de $<1{,}0 \times 10^{1}$ a $8{,}1 \times 10^{7}$ UFC/g. Foram identificados os gêneros *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp. e *Fusarium* spp., com predominância de *Aspergillus* spp. Os resultados demonstram a necessidade de maior controle higiênico-sanitário nas etapas pós-colheita, principalmente na secagem e no armazenamento, visando à manutenção da qualidade microbiológica e da segurança do produto.

Palavras-chave: Pimenta-do-reino. Fungos Filamentosos. Bolores e Leveduras. *Aspergillus* spp. Segurança Microbiológica.

ABSTRACT
Black pepper (*Piper nigrum* L.) is of considerable economic importance to Brazil, especially to the state of Pará, the country's leading producing region. However, harvesting, drying, processing, and storage practices may favor fungal contamination, compromising the microbiological quality of the product and posing a potential food safety risk. This study aimed to assess contamination and characterize the fungi present in black pepper samples obtained from a processing industry located in the state of Pará, Brazil. Forty-five samples from different lots of whole peppercorns were analyzed by mold and yeast enumeration followed by fungal identification. Counts ranged from $<1.0 \times 10^1$ to 8.1×10^7 CFU/g. The genera *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp., and *Fusarium* spp. were identified, with *Aspergillus* spp. predominating. The findings demonstrate the need for stricter hygienic and sanitary control during post-harvest operations, particularly drying and storage, to maintain the microbiological quality and safety of the product.

Keywords: Black Pepper. Filamentous Fungi. Molds and Yeasts. *Aspergillus* spp. Microbiological Safety.

RESUMEN
La pimienta negra (*Piper nigrum* L.) posee una elevada importancia económica para Brasil, especialmente para el estado de Pará, principal región productora de la especia. Sin embargo, las etapas de cosecha, secado, beneficiamiento y almacenamiento pueden favorecer la contaminación fúngica, comprometiendo la calidad microbiológica del producto y representando un riesgo potencial a la seguridad alimentaria. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la contaminación y caracterizar los hongos presentes en muestras de pimienta negra provenientes de una industria ubicada en el estado de Pará, Brasil. Se analizaron 45 muestras de diferentes lotes de granos enteros por medio del recuento de mohos y levaduras y de la posterior identificación fúngica. Los recuentos variaron de $<1{,}0 \times 10^1$ a $8{,}1 \times 10^7$ UFC/g. Se identificaron los géneros *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp. y Fusarium spp., con predominancia de *Aspergillus* spp. Los resultados demuestran la necesidad de un mayor control higiénico-sanitario en las etapas postcosecha, principalmente en el secado y en el almacenamiento, con el fin de mantener la calidad microbiológica y la seguridad del producto.

Palabras clave: Pimienta Negra. Hongos Filamentosos. Mohos y Levaduras. *Aspergillus* spp. Seguridad Microbiológica.

1 INTRODUÇÃO

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), integrante da família *Piperaceae* e da ordem Piperales, é uma planta trepadeira perene e semilenhosa frequentemente cultivada em áreas tropicais (Carnevalli; Araújo, 2013). Originária do sudeste asiático, esta especiaria possui valor econômico e cultural expressivo, sendo utilizada tanto na culinária quanto por suas propriedades medicinais e seus compostos bioativos responsáveis pelo aroma e sabor distintivos (Costa, 2021). Ela chegou ao Brasil no século XVII, trazida por portugueses que importaram sementes da Índia. Posteriormente, imigrantes japoneses expandiram seu cultivo para a Região Amazônica, especialmente em Tomé-Açu, Pará (Duarte, 2004). Diante desse contexto, a pimenta-do-reino conquistou relevância socioeconômica, sobretudo para pequenos e médios produtores da região Norte, onde se destaca como uma das principais fontes de renda agrícola (Paes; Cruz, 2022).

As etapas de colheita e pós-colheita são determinantes para a manutenção da qualidade sanitária da pimenta-do-reino. Conforme observado por Dldula *et al.* (2023), a adoção de práticas pós-colheita adequadas é fundamental para assegurar a preservação das características sensoriais e microbiológicas do produto. Diferentes métodos de secagem, como exposição ao sol, estufas sombreadas ou secadores mecânicos, apresentam impactos variados sobre a composição química dos frutos. Taghizadeh *et al.* (2023) e Gialliusi *et al.* (2025) ressaltam que o processo de secagem inadequado, aliado ao manuseio e ao armazenamento impróprios, aumenta significativamente a vulnerabilidade da pimenta-do-reino à contaminação.

A contaminação por fungos na pimenta-do-reino ocorre com frequência e está relacionada a fatores como alta umidade, secagem inadequada e armazenamento deficiente. Essas condições favorecem o desenvolvimento de fungos dos gêneros *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. e *Fusarium* spp. (Picková *et al.*, 2020; Garcia *et al.*, 2018). O armazenamento adequado é fundamental para preservar a integridade física e sanitária dos grãos, especialmente em regiões tropicais, onde a elevada umidade favorece tanto o crescimento de fungos quanto a produção de micotoxinas (Fu *et al.*, 2024; Tang, 2025). Esses microrganismos podem afetar negativamente a qualidade do produto e, sob certas circunstâncias, gerar micotoxinas, substâncias que oferecem riscos à segurança alimentar e à saúde dos consumidores.

A ocorrência desses fungos em especiarias constitui um problema relevante para a segurança alimentar, uma vez que alguns representantes desses gêneros podem produzir compostos como aflatoxinas e ocratoxina A. Essas micotoxinas são metabólitos termoestáveis e podem permanecer ativos mesmo após determinadas etapas de processamento térmico, representando risco potencial ao consumidor (Ramos, 2018). Assim, torna-se evidente a necessidade de desenvolver pesquisas voltadas

à detecção e à caracterização de fungos presentes em pimenta-do-reino, contribuindo para a segurança alimentar, a redução de riscos toxicológicos e a melhoria da qualidade do produto brasileiro, em conformidade com as exigências sanitárias vigentes (Khabbouchi *et al.*, 2024).

Este estudo teve como objetivo avaliar a contaminação por bolores e leveduras e identificar os fungos presentes em amostras de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) provenientes de uma indústria localizada no estado do Pará, Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO E COLETA DAS AMOSTRAS

Trata-se de um estudo experimental, descritivo e quantitativo realizado com amostras de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) adquiridas para beneficiamento por uma indústria localizada no estado do Pará, Brasil. A empresa adquiriu os grãos diretamente de produtores rurais. De cada embalagem original de 50 kg, foi retirada uma porção de 1 kg para a realização do estudo. Ao todo, foram coletadas 45 amostras, acondicionadas em embalagens estéreis de polietileno, devidamente identificadas e transportadas ao Laboratório de Análises e Pesquisas em Alimentos e Água da Universidade do Estado do Pará, Campus de Castanhal, para a contagem de bolores e leveduras e a identificação fúngica.

2.2 CONTAGEM DE BOLORES E LEVEDURAS E IDENTIFICAÇÃO FÚNGICA

A contagem de bolores e leveduras foi realizada conforme a ISO 21527-2:2008. Foram pesados 25 g de cada amostra e adicionados a 225 mL de água peptonada estéril a 0,1%, obtendo-se a diluição inicial de 10^{-1}. Em seguida, foram preparadas diluições decimais seriadas. Alíquotas de 0,1 mL das diluições selecionadas foram inoculadas, em duplicata, pela técnica de plaqueamento em superfície nos meios Dicloran Rosa de Bengala Cloranfenicol (DRBC) e Dicloran Glicerol 18% (DG18). As placas foram incubadas a 25 ± 1 °C por cinco a sete dias. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônias por grama (UFC/g).

A identificação dos fungos foi realizada pela análise das características macroscópicas e microscópicas das colônias desenvolvidas nos meios de cultura, conforme Riddell (1950). Foram avaliados aspectos como coloração, textura, padrão de crescimento e estruturas reprodutivas, o que permitiu identificar os isolados em nível de gênero.

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados das contagens de bolores e leveduras foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise estatística descritiva. Foram determinados os valores mínimo e máximo das contagens microbiológicas, bem como as frequências absoluta e relativa dos gêneros fúngicos identificados. Em razão da ampla variação entre as amostras, as contagens foram transformadas para a escala logarítmica (log10 UFC/g), permitindo melhor visualização da distribuição dos dados. Os resultados foram apresentados em tabelas e gráficos, elaborados no Microsoft Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados das contagens de bolores e leveduras e da identificação fúngica realizadas em 45 amostras de pimenta-do-reino.

Tabela 1. Resultados da contagem de bolores e leveduras e identificação fúngica em amostras de pimenta-do-reino (Piper nigrum L.) de uma indústria no estado do Pará, Brasil.

Amostras	Bolores e leveduras (UFC/g)	Gênero fúngico identificado
A1	**2,7 x10^{6}**	*Cladosporium sp.*
A2	**2,0 x10^{6}**	*Aspergillus sp.*
A3	**1,4 x10^{7}**	*Cladosporium sp.*
A4	**2,4 x10^{4}**	*Penicillium sp.*
A5	**1,6 x10^{6}**	*Aspergillus sp.*
A6	**5,4 x10^{6}**	*Aspergillus sp.*
A7	**<1,0 x10^{1}**	*Penicillium sp.*
A8	**9,0 x10^{5}**	*Aspergillus sp.*
A9	**3,5 x10^{7}**	*Aspergillus sp.*
A10	**1,2 x10^{7}**	*Aspergillus sp.*
A11	**1,8 x10^{5}**	*Cladosporium sp.*
A12	**9,0 x10^{4}**	*Aspergillus sp.*
A13	**2,7 x10^{5}**	*Aspergillus sp.*
A14	**3,6 x10^{6}**	*Aspergillus sp.*
A15	**3,5 x10^{7}**	*Aspergillus sp.*
A16	**<1,0 x10^{1}**	*Penicillium sp.*
A17	**<1,0 x10^{1}**	*Aspergillus sp.*
A18	**7,5 x10^{5}**	*Penicillium sp.*
A19	**<1,0 x10^{1}**	*Aspergillus sp.*
A20	**<1,0 x10^{1}**	*Aspergillus sp.*
A21	**1,8 x10^{6}**	*Fusarium sp.*
A22	**4,5 x10^{5}**	*Penicillium sp.*
A23	**9,0 x10^{5}**	*Aspergillus sp.*
A24	**3,6 x10^{6}**	*Penicillium sp.*
A25	**1,8 x10^{5}**	*Fusarium sp.*
A26	**<1,0 x10^{1}**	*Aspergillus sp.*
A27	**9,0 x10^{5}**	*Penicillium sp.*
A28	**4,6 x10^{7}**	*Cladosporium sp.*
A29	**1,1 x10^{7}**	*Aspergillus sp.*
A30	**2,9 x10^{6}**	*Penicillium sp.*
A31	**1,8 x10^{6}**	*Penicillium sp.*
A32	**9,0 x10^{6}**	*Cladosporium sp.*

A33	**8,1 x10^{7}**	*Aspergillus sp.*
A34	**2,7 x10^{6}**	*Aspergillus sp.*
A35	**1,8 x10^{6}**	*Aspergillus sp.*
A36	**3,2 x10^{7}**	*Penicillium sp.*
A37	**<1,0 x10^{1}**	*Aspergillus sp.*
A38	**<1,0 x10^{1}**	*Aspergillus sp.*
A39	**<1,0 x10^{1}**	*Cladosporium sp.*
A40	**<1,0 x10^{1}**	*Penicillium sp.*
A41	**8,2 x10^{6}**	*Aspergillus sp.*
A42	**1,8 x10^{5}**	*Aspergillus sp.*
A43	**3,6 x10^{5}**	*Cladosporium sp.*
A44	**1,8 x10^{6}**	*Aspergillus sp.*
A45	**1,8 x10^{5}**	*Cladosporium sp.*

*UFC/g: unidade formadora de colônia por grama.
Fonte: Os Autores

As contagens de bolores e leveduras apresentaram grande variação entre as amostras, com valores de <1,0 × 10¹ UFC/g a 8,1 × 10⁷ UFC/g. Esse intervalo demonstra que a qualidade microbiológica do produto não foi uniforme.

A variação observada entre as amostras pode estar relacionada à aquisição de lotes provenientes de diferentes produtores, possivelmente submetidos a distintas práticas de secagem, armazenamento e manejo pós-colheita. Essas etapas influenciam diretamente a qualidade microbiológica e micológica da pimenta-do-reino, ressaltando a importância da implementação rigorosa de boas práticas agrícolas e de fabricação. O beneficiamento, por si só, não garante a redução da contaminação fúngica; por isso, o controle deve começar antes da entrada do produto na indústria e ser mantido durante o processamento, a embalagem e o armazenamento. Além disso, amostras aparentemente íntegras podem apresentar cargas fúngicas elevadas, o que reforça a necessidade de análises microbiológicas rotineiras.

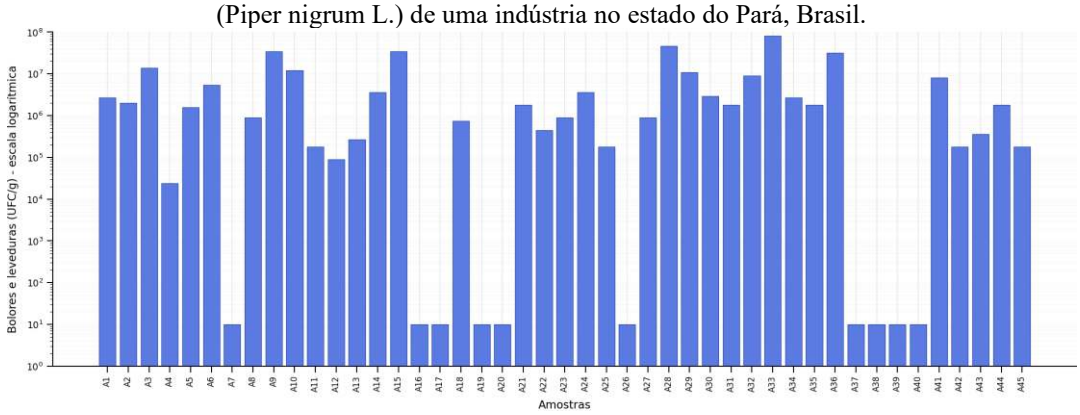
A contaminação fúngica, além de comprometer a qualidade comercial da pimenta-do-reino, também exige atenção do ponto de vista sanitário. Gêneros como *Aspergillus* e *Penicillium* incluem espécies associadas à produção de micotoxinas, compostos que podem resistir a algumas etapas de preparo dos alimentos. No entanto, neste estudo, esse risco deve ser entendido como potencial, pois não foram realizadas análises para detecção dessas toxinas. Em consonância com esses achados, Shango *et al.* (2021) demonstram que práticas inadequadas de pós-colheita, principalmente durante a secagem e o armazenamento, podem resultar em deterioração microbiológica e perda de qualidade, sobretudo pela presença de fungos como *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., frequentemente associados a especiarias armazenadas de maneira inadequada.

De acordo com Nunes Neto e Reis (2023), o processo produtivo dessa especiaria enfrenta desafios relacionados ao controle microbiológico, principalmente nas etapas de secagem e armazenamento. De forma complementar, a FAO (2020) alerta que a contaminação fúngica em

especiarias está entre os fatores responsáveis por perdas econômicas significativas, impactando pequenos e médios produtores e reduzindo a competitividade em mercados internacionais.

A avaliação quantitativa da contaminação fúngica permitiu verificar a distribuição das contagens de bolores e leveduras entre as amostras de pimenta-do-reino analisadas. Em virtude da ampla variação observada nos resultados, os dados foram apresentados em escala logarítmica, possibilitando melhor visualização e comparação das diferenças entre as amostras. A Figura 1 apresenta a distribuição das contagens de bolores e leveduras expressas em escala logarítmica (Log10 UFC/g), evidenciando a heterogeneidade da carga fúngica presente nos lotes avaliados.

Figura 1. Distribuição das contagens de bolores e leveduras (Log10 UFC/g) observadas em amostras de pimenta-do-reino (Piper nigrum L.) de uma indústria no estado do Pará, Brasil.



Fonte: Elaborada pelos autores

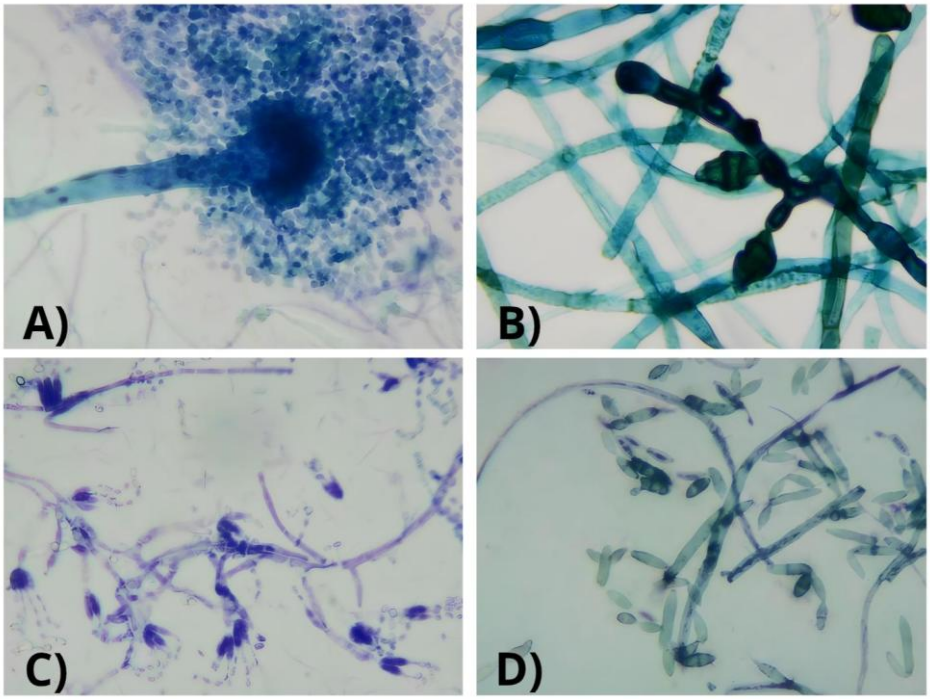
Observa-se que as contagens de bolores e leveduras apresentaram elevada amplitude. Essa distribuição evidencia a heterogeneidade microbiológica das amostras analisadas e sugere diferenças nas condições de secagem, beneficiamento e armazenamento da pimenta-do-reino. A presença simultânea de amostras com baixas e elevadas cargas fúngicas reforça a necessidade de monitoramento microbiológico contínuo e de maior controle higiênico-sanitário ao longo da cadeia produtiva, visando garantir a qualidade e a segurança do produto comercializado.

Em comparação com a literatura, as contagens observadas neste estudo foram, em parte, superiores às relatadas em outras regiões. Essa diferença pode estar associada às condições climáticas tropicais, nas quais temperaturas elevadas e alta umidade relativa favorecem a manutenção ou a retomada do crescimento fúngico em produtos secos. Demirhan e Demirhan (2023) encontraram valores predominantemente entre 10^3 e 10^5 UFC/g em especiarias comercializadas em Ancara, Turquia. Segundo os autores, níveis elevados de contaminação na produção de especiarias em regiões tropicais podem estar relacionados à contaminação cruzada por poeira, à presença de insetos e a outros fatores ambientais.

Parte dos resultados do presente estudo aproxima-se desses valores, mas algumas amostras apresentaram cargas mais elevadas. Isso indica que, em determinadas condições, a pimenta-do-reino pode manter níveis expressivos de contaminação, mesmo sendo um produto desidratado. Khabbouchi *et al.* (2024) enfatizam que fungos micotoxigênicos podem sobreviver em produtos desidratados quando as práticas pós-colheita e as condições de armazenamento são inadequadas ou quando o ambiente favorece sua permanência.

A Figura 2 apresenta micrografias obtidas por observação microscópica das estruturas fúngicas, incluindo hifas, conidióforos, vesículas, fiálides, conídios e outras estruturas reprodutivas dos isolados presentes nas amostras estudadas. A identificação foi realizada em nível de gênero, com auxílio de literatura especializada.

Figura 2. Estruturas microscópicas de fungos filamentosos identificados em amostras de pimenta-do-reino (Piper nigrum L.) provenientes de uma indústria localizada no estado do Pará, Brasil:



A) Aspergillus sp.; B) Cladosporium sp.; C) Penicillium sp.; D) Fusarium sp.
Fonte: Elaborada pelos autores

A presença frequente de *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. em diferentes pesquisas mostra que a contaminação fúngica da pimenta-do-reino não se limita a uma região específica. Mir, Ashraf e Andrews (2024), ao avaliarem 13 tipos de especiarias na Arábia Saudita, observaram que a pimenta-do-reino apresentou a maior taxa de contaminação, com 87,6% das amostras positivas, sendo *Aspergillus flavus* a espécie mais frequente. De forma semelhante, as amostras analisadas neste estudo

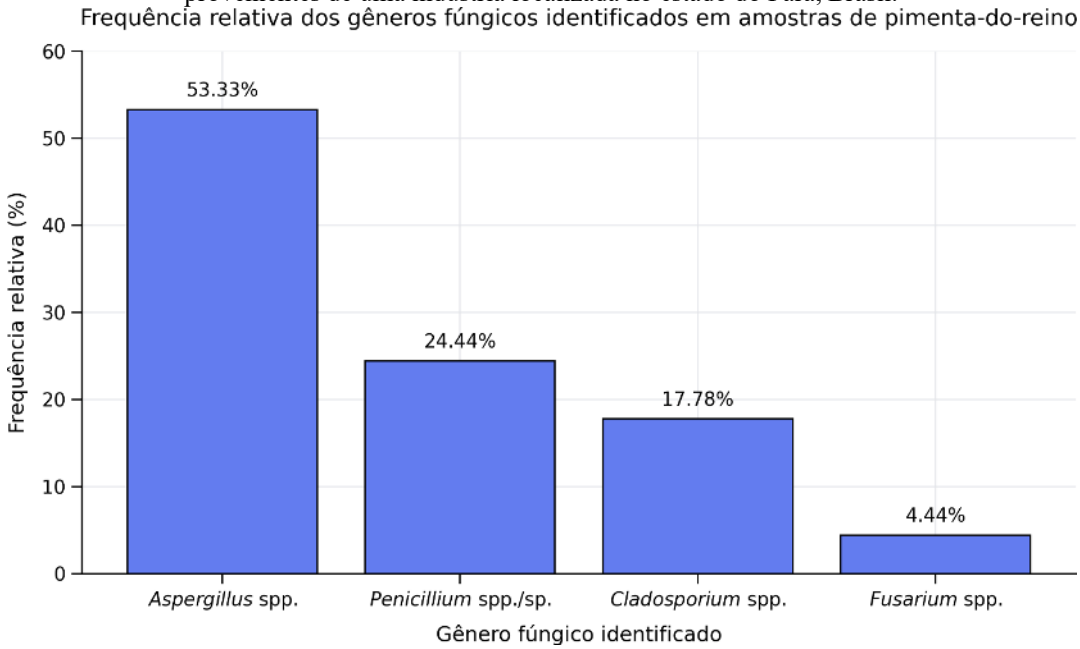
também apresentaram fungos filamentosos, confirmando a vulnerabilidade dessa especiaria à contaminação.

A recorrência do gênero *Aspergillus* spp. em especiarias secas reforça sua adaptação a esse tipo de alimento. Garcia *et al.* (2018) identificaram *Aspergillus* em 46,7% das amostras de pimenta-do-reino preta e branca comercializadas no Brasil, com destaque para as seções *Nigri*, que inclui *A. niger*, e *Flavi*. No presente trabalho, além de *Aspergillus* spp., foram observados *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp. e *Fusarium* spp., o que demonstra maior diversidade fúngica nas amostras avaliadas.

A predominância de *Aspergillus* sp. merece atenção, pois Jeswal e Kumar (2015), ao estudarem especiarias comercializadas na Índia, identificaram *Aspergillus flavus* e *Aspergillus ochraceus* como espécies frequentes em pimenta-do-reino. Essas espécies são citadas na literatura pelo potencial de produção de micotoxinas. Ainda assim, no presente estudo, a identificação foi realizada apenas em nível de gênero; portanto, não é possível afirmar a presença dessas espécies nem confirmar produção de micotoxinas.

A identificação dos gêneros fúngicos presentes nas amostras de pimenta-do-reino permitiu avaliar a composição da micobiota associada ao produto analisado. A Figura 3 apresenta a frequência relativa dos gêneros fúngicos identificados nas 45 amostras avaliadas, evidenciando a distribuição dos principais fungos encontrados durante as análises microbiológicas. A análise da frequência relativa auxilia na compreensão da predominância de determinados gêneros e na interpretação de sua relevância para a qualidade microbiológica da especiaria.

Figura 3. Frequência relativa dos gêneros fúngicos identificados em amostras de pimenta-do-reino (Piper nigrum L.) provenientes de uma indústria localizada no estado do Pará, Brasil.



Fonte: Elaborada pelos autores

Quanto à frequência dos gêneros fúngicos identificados, *Aspergillus* spp. predominou, estando presente em 24 amostras e correspondendo a 53,33% do total. *Penicillium* spp. foi identificado em 11 amostras (24,44%), seguido por *Cladosporium* spp., presente em oito amostras (17,78%), e *Fusarium* spp., identificado em duas amostras (4,44%). Esses resultados confirmam *Aspergillus* spp. como o gênero mais frequente nas amostras de pimenta-do-reino beneficiada.

Esse perfil indica que predominam fungos normalmente ligados a alimentos secos e armazenados, o que confirma resultados já relatados na literatura sobre especiarias vendidas em diferentes regiões. Embora sua presença não comprove a existência de micotoxinas, os dados ressaltam quão fundamental é monitorar e controlar as etapas de secagem, processamento e armazenamento da pimenta-do-reino, a fim de minimizar a contaminação por fungos e garantir a qualidade sanitária do produto.

Estudos mostram que cada etapa do processamento pode interferir de maneira diferente na microbiota do produto, o que ajuda a compreender a variação encontrada entre as amostras deste estudo. Weil *et al.* (2020), ao avaliarem o processamento de pimenta selvagem (*Piper borbonense*) na Ilha da Reunião, verificaram que a contagem microbiana no produto fresco variou de 4,6 a 6,8 log UFC/g, e os autores observaram redução da carga microbiana após o branqueamento, enquanto a etapa de sudorese favoreceu crescimento de até 10^5 UFC/g.

Alguns aspectos também ajudam a interpretar os dados deste trabalho, pois secagem e armazenamento aparecem como etapas críticas para o controle de fungos em pimenta-do-reino. Shango

et al. (2021) destacam que a qualidade e a segurança da pimenta-do-reino dependem de fatores que ocorrem antes e depois da colheita. Práticas como secagem sobre o solo, ausência de proteção contra poeira e insetos e armazenamento inadequado aumentam o risco de contaminação cruzada.

Yogendrarajah *et al.* (2014) observaram que 75% das amostras de pimenta-do-reino analisadas no Sri Lanka apresentavam atividade de água acima de 0,65, valor considerado favorável ao crescimento de bolores. Esse dado reforça a importância do controle da umidade após a secagem. No Líbano, Makhlouf *et al.* (2019) caracterizaram isolados da seção *Flavi* em especiarias e confirmaram o potencial aflatoxigênico de algumas cepas presentes em pimenta-do-reino comercializada.

A ocorrência de *A. flavus* e *A. niger* em estudos realizados na Arábia Saudita (Mir; Ashraf; Andrews, 2024), associada ao registro de *Penicillium* spp. em amostras da Índia (Jeswal; Kumar, 2015) e de cepas toxigênicas na Malásia (Azuddin; Zakaria, 2025), mostra que a composição da micobiota varia conforme a região e as condições de produção. No presente estudo, a presença de *Cladosporium* spp. e *Fusarium* spp. também indica que a contaminação pode estar relacionada a diferentes fontes, como solo, poeira, ambiente de processamento e manejo pós-colheita.

Mesmo quando a secagem inicial é adequada, falhas na estocagem podem permitir a retomada do metabolismo fúngico. Essa possibilidade é coerente com os resultados obtidos, sobretudo nas amostras que apresentaram contagens elevadas. Picková *et al.* (2020) ressaltam que a atividade de água é um dos principais fatores relacionados ao crescimento de *Aspergillus sp.* e *Penicillium sp.* em especiarias. Ezekiel *et al.* (2013), em estudo com pimenta-do-reino comercializada em Lagos, Nigéria, identificaram *Aspergillus* spp. como o gênero predominante, com contagens de $2{,}0 \times 10^2$ a $2{,}8 \times 10^3$ UFC/g. Embora inferiores às observadas neste trabalho, essas contagens também foram associadas pelos autores a práticas inadequadas de secagem e armazenamento.

Práticas de avaliação empírica adotadas pelos produtores podem dificultar o controle da umidade e favorecer a manutenção de condições adequadas ao crescimento de fungos. Na Tanzânia, Mkojera (2019) verificou que agricultores orgânicos de pimenta-do-reino utilizavam critérios visuais, como a mudança de coloração, para estimar a umidade dos grãos. O teor médio encontrado foi de 12,3%, ligeiramente acima do recomendado pelo Departamento de Normas da Tanzânia.

Embora o presente estudo não tenha realizado análise de micotoxinas, a alta frequência de *Aspergillus* spp. reforça a necessidade de monitoramento, especialmente quando há histórico de secagem em superfícies desprotegidas e armazenamento sob umidade elevada. Garcia *et al.* (2018), ao analisarem pimentas preta, branca e verde comercializadas no México, detectaram aflatoxinas em 24% das amostras de pimenta-do-reino, com concentração média de 2,8 µg/kg e valor máximo de 7,3 µg/kg.

Os autores também isolaram *Aspergillus flavus* como a espécie predominante nas amostras contaminadas.

Man *et al.* (2016), ao avaliarem 30 amostras de especiarias comercializadas na Romênia, apontaram a pimenta-do-reino como uma das especiarias com maior contaminação, com 80% das amostras apresentando crescimento fúngico acima de 10^3 UFC/g. Para os autores, essa contaminação representa preocupação sanitária por envolver tanto a possibilidade de deterioração do alimento quanto a presença de espécies capazes de produzir aflatoxinas e ocratoxina A.

Embora o presente estudo não tenha empregado métodos moleculares, essas técnicas poderiam complementar a identificação morfológica em pesquisas futuras, permitindo determinar as espécies com maior precisão e avaliar seu potencial micotoxigênico. Vyhnánek *et al.* (2018), utilizando PCR e sequenciamento de DNA, detectaram fungos em amostras de páprica, pimenta chili em pó e pimenta-do-reino comercializadas na República Tcheca. Nas amostras de pimenta-do-reino, *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. foram predominantes, e o DNA fúngico foi detectado em todas as amostras avaliadas.

Barani, Nasiri e Jarrah (2016) investigaram 72 amostras de pimenta-do-reino comercializadas no Irã e detectaram aflatoxinas totais em 19,4% delas, com média de 1,8 µg/kg e valor máximo de 5,1 µg/kg. Embora os níveis encontrados não tenham ultrapassado o limite máximo permitido pela União Europeia, os autores destacaram que a presença dessas toxinas, mesmo em concentrações baixas, indica falhas no controle pós-colheita e pode representar risco em casos de exposição contínua. No presente estudo, os resultados não permitem confirmar contaminação toxicológica, mas reforçam a necessidade de cuidado nas etapas de secagem e armazenamento.

Em síntese, os resultados indicam que a contaminação fúngica da pimenta-do-reino beneficiada deve ser interpretada como resultado de vários fatores combinados, e não apenas como uma falha pontual. A ampla variação entre as amostras, a presença de gêneros de importância sanitária e as elevadas contagens observadas mostram a necessidade de boas práticas agrícolas e de fabricação, controle rigoroso da umidade, armazenamento adequado e monitoramento microbiológico periódico. Essas medidas são fundamentais para preservar a qualidade do produto e reduzir riscos à segurança alimentar.

4 CONCLUSÃO

Foram identificados os gêneros *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp. e *Fusarium* spp. em amostras de pimenta-do-reino, com predominância de *Aspergillus* spp. As contagens de bolores e leveduras apresentaram ampla variação entre as amostras, evidenciando a heterogeneidade da contaminação fúngica. Os resultados demonstram a necessidade de maior controle higiênico-

sanitário durante as etapas de secagem, beneficiamento e armazenamento, visando garantir a qualidade microbiológica e a segurança da pimenta-do-reino. Além disso, estudos futuros envolvendo identificação em nível de espécie e determinação de micotoxinas são recomendados para ampliar a avaliação da segurança do produto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Guia de especificações de ingredientes alimentares: Guia nº 37**. Brasília, DF: ANVISA, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/alimentos/arquivos/guia-n-37-especificacoes-ingredientes-alimentares.pdf/view.

AZUDDIN, N. F.; ZAKARIA, L. Morpho-molecular characterization and mycotoxin potential of fungi isolated from black and white peppers. **Scientific Reports**, v. 15, art. 35343, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-025-19292-0.

BARANI, A.; NASIRI, Z.; JARRAH, N. Natural occurrence of aflatoxins in commercial pepper in Iran. **Food and Agricultural Immunology**, v. 27, n. 4, p. 570-576, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/09540105.2016.1148124.

CARNEVALLI, D. B.; ARAÚJO, A. P. S. Atividade biológica da pimenta-preta (*Piper nigrum* L.): revisão de literatura. **UNICIÊNCIAS**, v. 17, n. 1, p. 41-46, dez. 2013.

COSTA, B. G. **Presença de fungos potencialmente toxigênicos em amostras de especiarias comercializadas no Brasil: uma revisão**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, 2021.

DEMIRHAN, B.; DEMIRHAN, B. E. Analysis of multi-mycotoxins in commonly consumed spices using the LC-MS/MS method for assessing food safety risks. **Microorganisms**, v. 11, n. 7, p. 1786, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/microorganisms11071786.

DLDULA, P. V. *et al.* Bioactive properties, bioavailability profiles, and clinical evidence of the potential benefits of black pepper (*Piper nigrum*) and red pepper (*Capsicum annuum*) against diverse metabolic complications. **Molecules**, v. 28, n. 18, p. 6569, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules28186569.

DUARTE, M. L. R. **Cultivo da pimenteira-do-reino na Região Norte**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 185 p.

EZEKIEL, C. N. *et al.* Mycobiota and aflatoxin B1 contamination of *Piper guineense* (Ashanti pepper), *P. nigrum* L. (black pepper) and *Monodora myristica* (calabash nutmeg) from Lagos, Nigeria. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 1, p. 111-116, 2013.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2020**. Rome: FAO, 2020. Disponível em: https://www.fao.org/publications.

FU, Y. et al. Insights into the correlation between microbial community succession and pericarp degradation during pepper (Piper nigrum L.) peeling process via retting. **Foods**, v. 13, n. 11, p. 1615, maio 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/foods13111615.

GARCIA, M. V. *et al.* Fungos em especiarias e potencial micotoxigênico de alguns isolados de *Aspergillus*. **Food Microbiology**, v. 73, p. 93-98, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.01.013.

GIALLUISI, K. *et al.* Natural occurrence of main mycotoxins in herbs and spices commercialized in Italy. **Foods**, v. 14, n. 11, art. 1889, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/foods14111889.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 21527-2:2008: microbiology of food and animal feeding stuffs: horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds: part 2: colony count technique in products with water activity less than or equal to 0.95**. Geneva: ISO, 2008.

JESWAL, P.; KUMAR, D. Mycobiota and natural incidence of aflatoxins, ochratoxin A, and citrinin in Indian spices confirmed by LC-MS. **International Journal of Microbiology**, 2015, Article ID 242486, 8 p. DOI: https://doi.org/10.1155/2015/242486.

KHABBOUCHI, M. *et al.* Monitoring of aflatoxins B1, G1, B2 and G2 in spices from Riyadh markets by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. **International Journal of Food Science**, 2024, Article ID 8560378, p. 1-9, 2024. DOI: https://doi.org/10.1155/2024/8560378.

LACAZ, C. S. *et al.* **Tratado de micologia médica**. 9. ed. São Paulo: Sarvier, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S0036-46652002000500013.

MAKHLOUF, J. *et al.* Morphologic, molecular and metabolic characterization of *Aspergillus* section *Flavi* in spices marketed in Lebanon. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-41704-1.

MAN, A. *et al.* Health threats from contamination of spices commercialized in Romania: risks of fungal and bacterial infections. **Endocrine, Metabolic & Immune Disorders Drug Targets**, v. 16, n. 3, p. 197-204, 2016. DOI: https://doi.org/10.2174/1871530316666160823145817.

MIR, M. A.; ASHRAF, M. W.; ANDREWS, K. Assessment of heavy metals and fungi contamination of spices available in Saudi Arabian food cuisines. **Food Chemistry Advances**, v. 4, 100694, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100694.

MKOJERA, B. T. **Safety and quality of organically grown cloves (Syzigium aromaticum) and black pepper (Piper nigrum L.) in Tawa Ward, Morogoro-Tanzania.** Dissertação (Mestrado) – Sokoine University of Agriculture, Morogoro, 2019.

NUNES NETO, J. B.; REIS, S. F. **Avaliação físico-química e microbiológica de temperos à base de cominho e pimenta-do-reino comercializados na cidade de Itumbiara-GO**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2023. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/1774.

PAES, R. L.; CRUZ, B. E. V. Situação Geográfica Da Produção Pimenta Do Reino No Brasil. **Revista Comunicação Universitária**, Belém, v. 2, n. 1, p. 14, 2022. DOI: 10.69675/RCU.2763-7646.5441.

PICKOVÁ, D. *et al.* A review on mycotoxins and microfungi in spices in the light of the last five years. **Toxins**, v. 12, n. 12, p. 1-23, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/toxins12120789.

RAMOS, B. C. N. **Revisão da literatura do estudo microbiológico da especiaria pimenta-do-reino (Piper nigrum)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) – Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, São Luís, 2018.

RIDDELL, R. W. Permanent stained mycological preparations obtained by slide culture. **Mycologia**, v. 42, n. 2, p. 265-270, 1950.

SHANGO, A. J. *et al.* Pre-and postharvest factors affecting quality and safety of pepper (*Piper nigrum* L.). **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 16, p. 1-20, 2021. DOI: https://doi.org/10.1079/PAVSNNR202116031.

TAGHIZADEH, S. F. *et al.* Probabilistic risk assessment of exposure to multiple mycotoxins in consumers of packaged and unpackaged spices in Iran. **Toxicon**, v. 232, art. 107222, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2023.107222.

TANG, X. Risk analysis of microorganisms in common food spices. **Frontiers in Microbiology**, v. 16, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1549719.

VYHNÁNEK, T. *et al.* Molecular detection of fungi in paprika, chili powder and black pepper. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 66, n. 4, p. 927-937, 2018. DOI: https://doi.org/10.11118/actaun201866040927.

WEIL, M. *et al.* Effect of processing on microbial safety of wild pepper (*Piper borbonense*) from Reunion Island. **Food Control**, v. 111, art. 107061, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107061.