



EFICIÊNCIA DE SANITIZANTES NA REDUÇÃO DE FUNGOS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS: IMPACTOS NA SEGURANÇA E QUALIDADE DOS PRODUTOS

EFFICIENCY OF SANITIZERS IN REDUCING FUNGI IN FOOD INDUSTRY: IMPACTS ON SAFETY AND PRODUCT QUALITY

Inara Corrêa Barros¹

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Rio Pomba, Brasil

<https://orcid.org/0009-0006-2536-3408>

inara.barros.2024100963@estudante.ifsudestemg.edu.br

Kharen Cristina de Souza Fonseca¹

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Rio Pomba, Brasil

<https://orcid.org/0009-0008-0558-7986>

kharen.fonseca.2025100289@estudante.ifsudestemg.edu.br

Aurélia Dornelas de Oliveira Martins²

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Rio Pomba, Brasil

<https://orcid.org/0002-0664-7492>

aurelia.dornelas@ifsudestemg.edu.br

¹Análise Formal, Conceituação, Curadoria de Dados, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição

²Revisão e aprovação da versão final do trabalho

Recebido: 23/01/2025. Parecer: 10/03/2025. Corrigido: 29/05/2025. Aprovado: 29/05/2025.

Publicado: 05/06/2025



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

RESUMO

A higiene na indústria de alimentos é essencial para garantir a segurança e qualidade dos produtos, exigindo limpeza e sanitização adequada de superfícies e equipamentos. A limpeza remove resíduos orgânicos, enquanto a sanitização reduz microrganismos deteriorantes e patogênicos a níveis seguros. Os fungos são os principais responsáveis pela deterioração de alimentos, além de

produzirem micotoxinas, que podem causar danos renais, hepáticos e neurológicos. A contaminação de matérias-primas e do ambiente industrial é uma das principais causas de perdas no setor alimentício. O controle de fungos envolve a aplicação de sanitizantes, cuja eficácia pode ser afetada por fatores como temperatura, matéria orgânica e tempo de exposição. Neste estudo foi avaliada a eficiência dos principais sanitizantes na

redução de fungos na indústria alimentícia, por meio de revisão de literatura. Concluiu-se que o peróxido de hidrogênio é um agente oxidante que atua amplamente contra bactérias, fungos e vírus. O ácido peracético em baixas concentrações apresenta propriedades antimicrobianas eficazes, incluindo atividade contra leveduras e bactérias. Compostos a base de cloro têm limitações devido à toxicidade e formação de resíduos, enquanto o dióxido de cloro se destaca por sua alta eficácia antimicrobiana e menor geração de subprodutos nocivos. O dióxido de cloro gasoso apresenta vantagens como rápida dispersão, menor corrosividade e maior penetração em superfícies e filmes de embalagem. O ácido peracético, peróxido de hidrogênio e dióxido de cloro apresentam alta eficácia contra diversos microrganismos, incluindo fungos, responsáveis pela deterioração de produtos e formação de micotoxinas. Destaca-se a importância de selecionar sanitizantes que garantam a segurança microbiológica dos alimentos.

Palavras-chave: Desinfecção. Antifúngicos. Segurança microbiológica.

ABSTRACT

Hygiene in the food industry is essential to ensure product safety and quality, requiring adequate cleaning and sanitization of surfaces and equipment. Cleaning removes organic residues, while sanitization reduces spoilage and pathogenic microorganisms to safe levels. Fungi are primarily responsible for food spoilage, in addition to producing mycotoxins, which can cause kidney, liver, and neurological damage. Contamination of raw materials and the industrial environment is one of the main causes of losses in the food sector. Fungal control involves the application of sanitizers, whose effectiveness can be affected by factors such as temperature, organic matter, and exposure time. This study evaluated the efficiency of the main sanitizers in reducing fungi in the food

industry, through a literature review. It was concluded that hydrogen peroxide is an oxidizing agent that acts broadly against bacteria, fungi, and viruses. Peracetic acid in low concentrations has effective antimicrobial properties, including activity against yeasts and bacteria. Chlorine-based compounds have limitations due to toxicity and residue formation, while chlorine dioxide stands out for its high antimicrobial efficacy and lower generation of harmful byproducts. Chlorine dioxide gas has advantages such as rapid dispersion, lower corrosivity and greater penetration into surfaces and packaging films. Peracetic acid, hydrogen peroxide and chlorine dioxide are highly effective against several microorganisms, including fungi, which are responsible for product deterioration and the formation of mycotoxins. The importance of selecting sanitizers that guarantee the microbiological safety of food is highlighted.

Keywords: Disinfection. Antifungals. Microbiological safety.

1 INTRODUÇÃO

A higiene na indústria de alimentos é indispensável para garantir a qualidade microbiológica e segurança dos produtos. É necessário que o processo de higienização de equipamentos e superfícies seja frequente e adequado.

A escolha de agentes de limpeza e sanitização é crucial, devendo considerar tanto a eficiência contra microrganismos específicos, quanto a compatibilidade com as superfícies e os alimentos envolvidos. Métodos químicos, como detergentes e desinfetantes, desempenham papel essencial nesse processo, sendo testados em diferentes concentrações para avaliar

sua eficácia contra microrganismos deteriorantes e patogênicos (Palmorio; Gaio; Ribeiro, 2021). No contexto industrial, a higienização abrange duas etapas: limpeza e sanitização (Camargo *et al.*, 2024).

O principal objetivo da limpeza é remover resíduos orgânicos que aderem às superfícies, como carboidratos, proteínas, gorduras e sais minerais. Já a sanitização visa eliminar microrganismos patogênicos e reduzir a carga de microrganismos deteriorantes a níveis seguros. O conhecimento do profissional responsável pela higienização da indústria alimentícia deve abranger as funções dos agentes de limpeza, como alcalinos, ácidos, fosfatos, complexantes e tensoativos; as interações físicas e químicas entre detergentes e resíduos; as formulações de detergentes; métodos de avaliação química desses produtos; entre outras. A descrição detalhada de cada etapa dos métodos de higienização, sejam manuais ou mecânicos, incluindo pré-lavagem, aplicação de detergentes, enxágue e sanitização, é fundamental para garantir a produção de alimentos seguros e de alta qualidade (Andrade, 2008).

A contaminação de matérias-primas e do ambiente é uma das principais causas de perdas nas indústrias. Os fungos são os principais deteriorantes de produtos como queijos e

pães. Além dos fungos, existem também as micotoxinas produzidas pelos fungos toxigênicos, que podem provocar danos renais, hepáticos e neurológicos (Lemos, 2021).

A deterioração de alimentos devido à contaminação fúngica resulta em perdas econômicas significativas nos setores da indústria alimentícia. As indústrias têm buscado métodos eficazes para o controle fúngico, sendo a aplicação de sanitizantes uma das soluções adotadas. A eficácia desses sanitizantes pode ser influenciada por fatores como temperatura, matéria orgânica e tempo de exposição, o que influencia a capacidade de combater esse microrganismo (Silva, 2023).

Dentre os sanificantes utilizados no combate de fungos encontram-se o ácido peracético, peróxido de hidrogênio e dióxido de cloro (Chen, 2022; Abdelshafy *et al.*, 2024; Kampf, 2024).

O ácido peracético possui propriedades antimicrobianas significativas, apresentando atividade bactericida em concentrações de 1,6% por 3 a 5 minutos, atividade leveduricida com 0,25% por 1 minuto e ação tuberculocida também em 0,25% por 1 minuto. A eficácia antimicrobiana do ácido peracético é atribuída à oxidação não específica e à interrupção da permeabilidade da parede celular do microrganismo (Kampf, 2024).

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é um agente oxidante altamente eficaz que provoca danos celulares oxidativos em microrganismos. Devido à sua capacidade oxidativa, o peróxido de hidrogênio apresenta uma ampla atividade antimicrobiana, atuando contra bactérias, fungos e vírus (Abdelshafy *et al.*, 2024).

O uso de compostos à base de cloro se destaca nesse cenário, embora apresentem menor viabilidade devido à sua toxicidade e ao potencial de geração de resíduos (Camargo *et al.*, 2024). Dióxido de cloro ganhou visibilidade devido às suas vantagens em relação ao cloro, como sua alta eficácia antimicrobiana e menor formação de subprodutos nocivos (Chen, 2022). O dióxido de cloro em sua forma gasosa oferece vantagens significativas, como menor corrosividade, facilidade de mistura com a atmosfera de embalagem, rápida dispersão e capacidade de penetrar em superfícies dos produtos e filmes (Singh *et al.*, 2021).

O presente estudo trata-se de revisão de literatura, que tem como objetivo avaliar a eficiência dos principais sanitizantes na redução de fungos na indústria alimentícia

2 METODOLOGIA

Trata-se de revisão de literatura realizada em duas etapas: a busca dos artigos relacionados ao tema no período

de novembro de 2024 a janeiro de 2025 e a seleção das publicações, segundo os critérios de inclusão e exclusão.

A primeira etapa foi iniciada com a seleção dos descritores. Na segunda etapa, foram incluídas publicações do tipo artigo com textos completos, monografias e livros nos idiomas português ou inglês, compreendidos no período de 2008 a 2024, cujo tema principal correspondesse ao descritor ou palavra-chave utilizada. Foram excluídos os artigos que não pertenciam à área de Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Para a busca das publicações foram utilizadas as seguintes bases de dados: Google Acadêmico, *Scielo* e *Scencedirect*.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Fungos na Indústria Alimentícia

Os fungos filamentosos são organismos eucariontes, heterotróficos, encontrados no ar e em diversas superfícies e ambientes, como, equipamentos, pisos, paredes e utensílios. São frequentemente associados à contaminação de alimentos e ao surgimento de doenças.

Os fungos se espalham na natureza principalmente pelo ar atmosférico, mas também podem ser disseminados por outras vias, como água, insetos, seres humanos e animais.

Aqueles que se dispersam pelo ar são conhecidos como fungos anemófilos. Em setores industriais a manutenção da qualidade do ar nos ambientes é essencial para assegurar a assepsia dos produtos. A segurança dos alimentos ao longo de toda a cadeia de suprimento global tornou-se um aspecto crucial para proteger a saúde pública e garantir o sucesso comercial da indústria alimentícia mundial (Vasconcelos, 2022).

As contaminações fúngicas representam um grande desafio para a indústria de alimentos, causando perdas significativas. Fungos deteriorantes, como *Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp., comprometem a qualidade sensorial e a vida útil dos alimentos, resultando em descarte de lotes contaminados e prejuízos econômicos. Além disso, fungos toxigênicos, produtores de micotoxinas, podem comprometer a segurança dos alimentos, exigindo rigorosos controles sanitários para evitar riscos à saúde pública. A presença desses microrganismos no ambiente industrial, incluindo superfícies, ar e matérias-primas, contribui para a recorrência de contaminações, evidenciando a necessidade de estratégias eficazes de higienização, armazenamento adequado e monitoramento microbiológico contínuo para minimizar perdas e garantir a qualidade dos produtos (Lemos, 2021).

As micotoxicoses são doenças resultantes da ingestão de micotoxinas, metabólitos tóxicos produzidos por fungos toxigênicos em condições favoráveis de temperatura e umidade. Essas toxinas, frequentemente encontradas em cereais, leguminosas, frutas e vegetais, são altamente estáveis e podem permanecer nos alimentos mesmo após o processamento industrial. A exposição crônica a micotoxinas está associada a diversos efeitos adversos à saúde humana e animal, incluindo hepatotoxicidade, nefrotoxicidade, imunossupressão e carcinogenicidade. A presença dessas substâncias em amostras clínicas sugere um risco contínuo de contaminação alimentar e reforça a importância do monitoramento e da implementação de estratégias preventivas para minimizar os impactos à saúde pública (Savi; Zenaide, 2020).

Um estudo de Martins (2022), em uma linha de processamento de suco, avaliou a eficácia antifúngica dos sanitizantes comerciais Vortexx (ácido peracético 4% + peróxido de hidrogênio 5,5%), Vortexx es (ácido peracético 12% + peróxido de hidrogênio 3%) e hipoclorito de sódio frente a 36 isolados de fungos filamentosos, incluindo os gêneros *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Talaromyces*, *Fusarium* e *Aspergillus*, com ênfase em *Paecilomyces*. Apenas 9,76% dos fungos foram inibidos por todas as concentrações

dos sanitizantes testados. O hipoclorito de sódio, em 200 ppm, foi fungicida em 12,20% das cepas, mas mostrou eficácia limitada, principalmente em concentrações mais baixas. O sanitizante Vortexx demonstrou ação fungicida em 9,76% das cepas na menor concentração 0,05%, aumentando para 63,41% na concentração máxima 0,3%. O Vortexx es, por sua vez, foi o mais eficaz, com ação fungicida em até 75,61% das cepas na maior concentração 0,12%. Entre as cepas de *Paecilomyces* analisadas, 27,78% (*Paecilomyces variotii*) foram resistentes a todos os sanitizantes testados. O Vortexx e o Vortexx es, em concentrações máximas, impediram o crescimento de 44,44% e 61,11% das cepas de *Paecilomyces*, respectivamente, mas foram ineficazes em concentrações mínimas. Todas as cepas mostraram resistência ao hipoclorito de sódio. A resistência de *P. variotii* e a presença de biofilmes nos pontos de amostragem indicaram a persistência desses fungos, sugerindo riscos futuros de deterioração de produtos, mesmo após higienização com os sanitizantes avaliados.

Assunção (2021) utilizou em seu estudo os sanitizantes químicos dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, ácido peracético e hipoclorito de sódio. De modo geral, esses compostos apresentaram resultados promissores na redução de diferentes microrganismos em diversas

concentrações como de 0, 750, 1000, 1500 e 2000 $\mu\text{L.L}^{-1}$ para dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio e 40 ppm para ácido peracético incluindo indicadores microbiológicos, como bactérias mesófilas totais, *Enterobacteriaceae* e bolores e leveduras. Além disso, foram eficazes contra patógenos relevantes, como *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* e *Campylobacter* spp., entre outros.

Barbosa *et al.* (2024) avaliaram a eficácia do dióxido de cloro em diferentes concentrações (50,100,150 e 200 mg.L⁻¹) frente a microrganismos patogênicos, sendo eles *Escherichia coli* ATCC 8739, *Salmonella Enteritidis* ATCC 13076, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 e *Listeria Monocytogenes* ATCC 19111. Para bactérias e fungos o dióxido de cloro apresentou efeito antimicrobiano mesmo em baixas concentrações, sendo capaz de inibir o crescimento. Dessa forma, enquanto concentrações mínimas já demonstram certa eficácia, concentrações mais elevadas promovem a eliminação completa dos microrganismos. A concentração de 50 mg.L⁻¹ não demonstrou inibição significativa. No entanto, à medida que a concentração aumentava, o diâmetro do halo de inibição também se revelava maior, indicando aumento da eficácia antimicrobiana. A

concentração de 200 mg.L-1 apresentou o maior diâmetro de halo de inibição, mostrando ser a mais eficiente. Os resultados demonstraram que, mesmo em concentrações mais baixas, o dióxido de cloro apresentou algum efeito antimicrobiano, enquanto a maior concentração foi capaz de eliminar completamente os microrganismos estudados, incluindo bactérias e fungos. Os autores concluíram que o dióxido de cloro mostrou-se eficaz como sanitizante, com sua eficiência diretamente relacionada à concentração utilizada.

3.2. Ácido Peracético

O ácido peracético é um composto orgânico derivado da reação química entre o ácido acético e o peróxido de hidrogênio, formando uma solução aquosa com baixo pH e odor característico semelhante ao vinagre. Comercialmente, as formulações do ácido peracético incluem esses componentes, além de estabilizantes que contribuem para sua atividade antimicrobiana eficaz contra uma ampla variedade de microrganismos (Andrade, 2008).

O ácido peracético é amplamente utilizado na indústria alimentícia em concentrações que variam de 0,005% a 0,2%. Sua aplicação durante o processamento de alimentos tem como objetivo reduzir a presença de patógenos transmitidos por alimentos, contribuindo

para a segurança microbiológica e pode ser realizada em contato direto com o alimento e superfície ou aplicada em água para lavagens. Além disso, estudos indicam que o ácido acético, isoladamente ou combinado com peróxido de hidrogênio, apresenta desempenho eficiente no controle de microrganismos em produtos frescos, carnes, aves e ovos. Essas propriedades tornam o ácido acético uma boa escolha para os processadores de alimentos, que podem utilizá-lo como parte de procedimentos operacionais para garantir a segurança microbiológica durante o processamento de alimentos (Stearns; Freshour; Shen, 2022).

Segundo Caurio (2021), o ácido peracético, na concentração de 0,2%, demonstrou alta eficiência na erradicação de células aderidas e biofilmes em superfícies de aço inoxidável, quando aplicado por um período de 10 minutos, conforme as recomendações do fabricante. Em comparação com outros sanitizantes, o ácido peracético destacou-se como uma opção eficaz para o controle de microrganismos em biofilmes, evidenciando seu potencial no combate à contaminação em equipamentos industriais.

Em outro estudo, Silva (2023) mostrou que o ácido peracético destacou-se como o sanitizante mais eficiente entre os testados em bactérias Gram positivas,

Gram negativas, fungos filamentosos e leveduras, esporos bacterianos e vírus, apresentando elevada eficácia contra todos os microrganismos avaliados. Sua superioridade foi evidente em comparação com outros agentes, como compostos clorados e o peróxido de hidrogênio.

Dutra *et al.*, 2022 evidenciaram que o ácido peracético 0,2% (AP) demonstrou a maior eficácia antimicrobiana entre os desinfetantes testados em superfície de mesas, como álcool 70%, dióxido de cloro 7% e cloreto de benzalcônio 5,2%, eliminando completamente todos os microrganismos avaliados, incluindo *Candida albicans*, que se mostrou resistente a outros produtos. Diferente do cloreto de benzalcônio, que não reduziu a formação de unidades formadoras de colônias (UFC), e do álcool 70% e dióxido de cloro, que apresentaram eficácia intermediária, o AP foi classificado como a opção mais segura para desinfecção de alto nível. Sua ação ocorre rapidamente, tornando-o um agente altamente eficaz na eliminação de fungos em superfícies contaminadas.

Os estudos de Tomičić *et al.* 2023 avaliaram a eficácia de um desinfetante à base de peróxido de hidrogênio/ácido peracético na inibição da adesão bacteriana em superfícies de aço inoxidável com diferentes graus de rugosidade, comuns na indústria de alimentos. Os resultados mostraram que o

ácido peracético, na concentração mínima inibitória (CMI) de 250 mg/mL, foi eficaz em reduzir significativamente a adesão de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* e *Listeria monocytogenes* às superfícies tratadas. Em concentrações correspondentes a 3/4 CMI e CMI completas, observou-se uma redução significativa da adesão bacteriana. O ácido peracético apresentou excelente desempenho com reduções de até 90% no número de células aderidas para certas cepas. A análise por microscopia eletrônica de varredura confirmou a diminuição do número de células bacterianas aderidas após o tratamento com ácido peracético, indicando sua grande aplicabilidade como desinfetante para prevenir a formação de biofilmes em superfícies de contato com alimentos.

O ácido peracético tem se destacado como um dos sanitizantes mais eficazes para o controle de fungos toxigênicos do gênero *Aspergillus* em ambientes industriais alimentícios. Neste estudo, o composto mostrou elevada eficácia, especialmente contra espécies da seção Circumdati, como *Aspergillus ochraceus* e *Aspergillus westerdijkiae*, produtoras de ocratoxina A. A ação antimicrobiana do ácido peracético é atribuída à sua capacidade de danificar proteínas, enzimas e metabólitos essenciais, além de comprometer a

permeabilidade da membrana celular. Para avaliação da atividade antifúngica, foram testadas três concentrações 0,3%, 0,6% e 1,0%, correspondentes às faixas mínima, intermediária e máxima recomendadas para aplicação industrial. Os resultados demonstraram que a eficácia do sanitizante é diretamente dependente da concentração utilizada, sendo que a aplicação na concentração máxima (1,0%) proporcionou a eliminação completa das cepas mais sensíveis. Em contrapartida, concentrações inferiores não garantiram a redução microbiológica necessária para ambientes de processamento de alimentos. Esses achados reforçam a importância da utilização correta das concentrações recomendadas, a fim de assegurar a efetividade da sanitização e prevenir a persistência de fungos produtores de micotoxinas (Lemos *et al.* 2020).

3.3. Peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é amplamente utilizado como agente desinfetante na indústria alimentícia devido às suas propriedades antimicrobianas de amplo espectro, abrangendo bactérias, fungos e vírus. Sua eficácia baseia-se na geração de espécies oxidativas, como os radicais hidroxila, que danificam proteínas e DNA microbiano. Além de sanitizar alimentos, é usado para desinfecção de superfícies e

equipamentos na indústria alimentícia. Embora eficaz, sua atividade pode ser reduzida pela presença de matéria orgânica, que degradam o H_2O_2 . Além disso, a combinação de peróxido de hidrogênio com outras técnicas aumenta sua eficácia e reduz riscos de contaminação (Abdelshafy *et al.*, 2024).

O H_2O_2 é muito utilizado na indústria alimentícia para a sanitização de máquinas de embalagem e envase, devido à sua elevada capacidade oxidante e à ausência de resíduos tóxicos após a decomposição. Estudos recentes mostraram que fungos formadores de ascósporos, como *Talaromyces bacillisporus* e *Aspergillus hiratsukae*, apresentam resistência significativamente maior ao peróxido de hidrogênio do que cepas tradicionalmente utilizadas para validação dos processos, como *Aspergillus brasiliensis* ATCC 16404. Testes realizados entre 50 °C e 60 °C demonstraram que os valores de D (tempo para redução de 90% da população) para essas espécies resistentes são superiores, especialmente em superfícies plásticas, como HDPE e PET. Essa maior resistência sugere que fungos termorresistentes, que conseguem se desenvolver em amplas faixas de pH e temperaturas, devem ser considerados microrganismos-alvo mais adequados para a validação de processos de

sanitização com H₂O₂ em plantas industriais (Scaramuzza *et al.* 2020).

Ramos (2022) avaliou o uso de peróxido de hidrogênio como tratamento sanitário e fisiológico em sementes de milho. Diferentes concentrações do sanitizante (0,5% a 10%) foram testadas em comparação a um fungicida comercial e a sementes não tratadas. O teste avaliou a incidência a capacidade de inativação de fungos como *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp. e *Colletotrichum* spp. Os resultados mostraram que concentrações a partir de 4% de H₂O₂ foram eficazes na redução de fungos em todos os casos. O uso de H₂O₂ na concentração de 4% destacou-se como eficiente, equilibrando a qualidade sanitária, sendo recomendado para o controle de fungos sem comprometer significativamente a germinação e o vigor das sementes.

Kure, Langsrud e Moretro (2021) avaliaram a eficácia fungicida da névoa de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em esporos de seis fungos relacionados a alimentos (*Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *Geotrichum candidum*, *Mucor plumbeus*, *Paecilomyces variotii* e *Penicillium solitum*) em superfícies de aço inoxidável. Foram testadas suspensões frescas e suspensões de esporos armazenadas a 4 ou 20 °C por 14 dias,

utilizando concentrações de H₂O₂ de 4% e 6%. A exposição por 15 minutos resultou em uma redução superior a 3 log na maioria dos testes. Os testes de suspensão confirmaram a ação fungicida do H₂O₂, com *P. variotii* demonstrando maior resistência. A exposição a 6% de H₂O₂ mostrou reduções mais eficientes em comparação com 4%. O estudo indicou que o H₂O₂ é eficaz na desinfecção de superfícies de difícil acesso na indústria alimentícia, com a necessidade de mais testes práticos para validar sua aplicabilidade.

3.4. Dióxido de cloro

Os compostos clorados são muito utilizados na indústria alimentícia com o objetivo de eliminar microrganismos patogênicos e reduzir os deteriorantes até níveis considerados seguros (Barbosa *et al.*, 2024). O interesse no uso de dióxido de cloro para o saneamento de alimentos aumentou devido às suas várias vantagens em relação ao cloro, como sua forte atividade antimicrobiana e menor formação de subprodutos prejudiciais (Chen, 2022).

Estudo de Barbosa *et al.* (2024) teve como objetivo avaliar a ação antimicrobiana do dióxido de cloro contra patógenos. Foi realizado teste de difusão em placa com quatro microrganismos responsáveis por doenças de origem alimentar: *Salmonella* spp., *Escherichia*

coli, *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus aureus*, utilizando concentrações de dióxido de cloro de 50, 100, 150 e 200 ppm. A concentração de 50 ppm não foi eficaz na inibição dos patógenos, mas à medida que a concentração aumentou, o halo de inibição também mostrou-se mais amplo, indicando eficácia do sanitizante. A concentração de 200mg/L foi a que apresentou maior diâmetro de halo de inibição contra os patógenos avaliados. O dióxido de cloro mostrou-se eficaz na redução de microrganismos patogênicos, principalmente em concentrações acima de 100 ppm, sendo uma alternativa promissora ao cloro na indústria de alimentos, pois não confere odor ou sabor indesejáveis e não reage com a matéria orgânica.

O dióxido de cloro (ClO_2) gasoso tem se mostrado uma alternativa promissora para o controle microbiológico em produtos frescos durante o armazenamento, devido à sua capacidade de inibir o crescimento de fungos mesmo em baixas concentrações, seguras para a saúde humana. Neste estudo foi demonstrado que a exposição de batatas-doces a concentrações de ClO_2 inferiores a 1,0 ppm por três dias foi suficiente para reduzir significativamente o crescimento de *Rhizopus stolonifer*, tanto em ágar dextrose de batata quanto em batatas-doces com e sem casca, mantendo o

efeito microbiostático por até um mês em condições de baixa temperatura e alta umidade. Os resultados indicam que baixas concentrações de ClO_2 difundidas em espaços amplos exercem efeito microbiostático eficaz, sugerindo seu potencial para prolongar a vida útil de produtos agrícolas durante o armazenamento (Mitani *et al.*, 2024).

Segundo Rane *et al.* (2023) o dióxido de cloro (ClO_2) gasoso demonstrou alta eficácia na redução da contaminação fúngica e na degradação de micotoxinas em amêndoas pós-colheita. Em estudo recente, amêndoas inoculadas com *Aspergillus flavus* foram fumigadas com ClO_2 gasoso em concentrações variando entre 0,5 e 2,4 mg/L por períodos de 1 a 24 horas. Os resultados mostraram uma redução de 2,4 log UFC/g de *A. flavus* e uma degradação de 84,4% da aflatoxina B1 na concentração mais elevada. A eficácia antifúngica e antitoxigênica do ClO_2 foi mantida durante um mês de armazenamento a 4 °C, sem efeitos adversos detectáveis de oxidação ou alteração de cor nas amêndoas tratadas. A tecnologia de fumigação com ClO_2 gasoso apresenta-se como uma alternativa prática e segura para a indústria, oferecendo benefícios tanto na redução do crescimento de fungos quanto no controle da produção de micotoxinas. Contudo, os resultados obtidos em escala

laboratorial (100 g) indicam a necessidade de validação em larga escala para aplicação industrial.

A utilização de dióxido de cloro (ClO_2) gasoso tem se mostrado eficaz na inativação de *Aspergillus flavus* em grãos de café verde. Em estudo conduzido por Lee, Ryu e Kim (2020), grãos inoculados foram expostos a ClO_2 gasoso, gerado a partir de diferentes volumes de solução (0,75 a 1,5 mL), em ambientes selados a 25 °C ou 50 °C com 100% de umidade relativa. A 25 °C, houve redução de até 2,2 log UFC/grão em 1 hora, alcançando o limite de detecção após 10 horas. Já a 50 °C, o fungo foi completamente inativado em apenas 30 minutos. Após a exposição, os grãos armazenados por 14 dias a diferentes temperaturas e umidades mantiveram-se livres de mofo a 4 °C, independentemente da umidade. Esses achados reforçam o potencial do ClO_2 gasoso no controle fúngico durante o armazenamento, inclusive em condições ambientais adversas.

4 CONCLUSÃO

Essa revisão de literatura destaca a relevância de selecionar agentes de limpeza e sanitização que garantam a segurança microbiológica dos alimentos. Compostos como ácido peracético, peróxido de hidrogênio e dióxido de cloro apresentam alta eficácia antimicrobiana,

demonstrando ação significativa contra uma grande variedade de microrganismos, incluindo fungos, que são responsáveis pela deterioração de alimentos e formação de micotoxinas.

A presença de fungos nos ambientes industriais pode comprometer a qualidade e a segurança dos produtos. A resistência de cepas fúngicas a sanitizantes comuns, exige abordagens mais eficazes, como a combinação de diferentes agentes e métodos alternativos de aplicação. A manutenção de boas práticas de higienização, acompanhada de uma avaliação da eficácia dos sanitizantes, é essencial para garantir a qualidade microbiológica dos produtos alimentícios e mitigar os riscos de contaminação e deterioração fúngica na indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELSHAFY, A.M.; HU, Q.; LUO, Z.; BAN, Z.; LI, L. Hydrogen Peroxide from Traditional Sanitizer to Promising Disinfection Agent in Food Industry. **Food Reviews International**, v. 40, n. 2, p. 658–690, 2024.

ANDRADE, Nélio José. **Higiene na indústria de alimentos - Avaliação e controle da adesão e formação de biofilmes bacterianos**. São Paulo: Varela, 2008. 412 p.

ASSUNÇÃO, L.G. DE. **Avaliação do efeito combinado da nebulização com curcumina e luz de led na inativação de patógenos em presunto fatiado**. 2021. 60 f. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano-Campus Rio

Verde Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Programa de Pós-Graduação em Tecnologia De Alimentos, Rio Verde- GO, 2021.

BARBOSA, F.C.B.; MARTINS, A.D. DE. O.; ANACLETO, V. L.; SILVA, M.H.L.; NETO, O.B. DE. A.; CAMPOS, A.N. DA. R.; CHAVES, K.F. Antagonismo do dióxido de cloro frente a patógenos pelo teste de difusão em placas. **Interfaces Científicas - Saúde E Ambiente**, v 9, n 3, p 232–241, 2024.

CAMARGO, I.R.; BATISTA, P.H.S.; KASHIWAQUI, N.Y.; NAKAZATO, G.; KOBAYASHI, R.K.T.; FAGNANI, R.; MOREIRA, L.H. **Uso do ozônio na indústria de laticínios visando qualidade dos produtos para consumo humano**. I Seminário de Gestão Integrada em Qualidade - 1 e 2 de agosto de 2024, UEL – Paraná.

CAURIO, D. L. **Avaliação do potencial de formação de biofilme por espécies de *Listeria* sp. isoladas de amostras de alimentos**. 2021. 91 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Ciências Básicas da Saúde Programa de Pós-graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente, Porto Alegre, 2021.

CHEN, Z. Application of chlorine dioxide-based hurdle technology to improve microbial food safety—A review. **International Journal of Food Microbiology**, v.379, p.109848, 2022.

DUTRA, M.J.; PIZZOLATTO, G.; GRISA, N.; ZENATTI, P.B.; BITTENCOURT, M.E.; PAVINATO, L.C.B.; FUNK, P.P.; PALHANO, H.S.; CORRALO, D.J. Atividade antimicrobiana, in vitro, de desinfetantes de superfície sobre fungos e bactérias. **Revista Pan Amazônica de Saúde**, v. 13, e202200994, 2022.

KAMPF, G. Peracetic Acid. In: **Antiseptic Stewardship**. Springer, Cham. p 117–173, 2024, ed 2, 2024.

KURE, C.F.; LANGSRUD, S.; MORETRO, T. Efficient Reduction of Food Related Mould Spores on Surfaces by Hydrogen Peroxide Mist. **Foods**, v. 10, ed. 1, 2021.

LEE, H.; RYU, J.H.; KIM, H. Antimicrobial activity of gaseous chlorine dioxide against *Aspergillus flavus* on green coffee beans. **Food Microbiology**, v. 86, 103308, 2020.

LEMONS, J.G.; STEFANELLO, A.; BERNARDI, A.O.; GARCIA, M.V.; MAGRINI, L.N.; CICHOSKI, A.J.; WAGNER, R.; COPETTI, M.V. Antifungal efficacy of sanitizers and electrolyzed waters against toxigenic *Aspergillus*. **Food Research International**, v. 137, 109451, 2020.

LEMONS, J.G. **Sensibilidade de fungos deteriorantes e toxigênicos a águas eletrolisadas e sanitizantes químicos**. 2021. 100 f. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Santa Maria, RS, 2021.

MARTINS, C. S. **Controle de fungos associados à linha de processamento de suco de laranja**. 2022. 57 f. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2022.

MITANI, R.; YAMANAKA, H.; ISHIGAKI, Y.; NAKAYAMA, D.; SAKAMOTO, M.; WATANABE, C.; MORI, T.; OKUDA, T. Microbiostatic effect of indoor air quality management with low-concentration gaseous chlorine dioxide on fungal growth. **Asian Journal of Atmospheric Environment**, v. 18, n. 24, 2024.

PALMORIO, L.; GAIO, F.N.; RIBEIRO, D.H.B. Efficiency evaluation of different cleaning agents used on food industry. **Brazilian Journal of Development**, v 7, n 12, p 120035-120049, Curitiba, 2021.

RANE, B.; LACOMBE, A.; GUAN, J.; LUCERO, L.; BRIDGES, D.F.; SABLANI,

S.; TANG, J.; WU, V.C.H. Reduction of *Aspergillus flavus* and aflatoxin on almond kernels using gaseous chlorine dioxide fumigation. **Food Chemistry**, v. 402, 134161, 2023.

RAMOS, H.C. **Tratamento de sementes de milho com peróxido de hidrogênio: análise fisiológica e sanitária**. 2022. 28 f. Universidade Federal de Campina Grande Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento Curso de Engenharia de Biosistemas, Sumé- PB, 2022.

SCARAMUZZA, N.; CIGARINI, M.; MUTTI, P.; BERNI, E. Sanitization of packaging and machineries in the food industry: Effect of hydrogen peroxide on ascospores and conidia of filamentous fungi. **International Journal of Food Microbiology**, v. 316, 108421, 2020.

SAVI, G.D.; ZENAIDE, F.S. Micotoxinas: riscos à saúde humana pela ingestão diária de alimentos contaminados e sua ocorrência em amostras clínicas. **Research, Society and Development**, v. 9, n.4, e 24942482, 2020.

SILVA, R.H.R.D. **Higienização em indústrias alimentícias**. 2023. 37 f. Universidade Federal da Paraíba - Centro de Tecnologia Coordenação do Curso de Engenharia Química, João Pessoa- PB, 2023.

SILVA, S. B. S. **Influência da concentração, tempo de exposição, temperatura e presença de matéria orgânica sobre a ação antifúngica de sanitizantes frente à *Penicillium nordicum*, *Penicillium verrucosum* e *Aspergillus westerdijkiae***. 2023. 69 f. Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Santa Maria, RS, 2023.

SINGH, S.; MAJI, P.K.; LEE, Y.S.; GAIKWAD, K.K. Applications of gaseous

chlorine dioxide for antimicrobial food packaging: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v 19, p 253-270, 2021.

STEARNS, R.; FRESHOUR, A.; SHEN, C. Literature review for applying peroxyacetic acid and/or hydrogen peroxide to control foodborne pathogens on food products. **Journal of Agriculture and Food Research**, v.10, p.100442, 2022.

TOMIČIĆ, R.; TOMIČIĆ, Z.; NICÉTIN, M.; KNEŽEVIĆ, V.; KOCIĆ-TANACKOV, S.; RASPOR, P. Food grade disinfectants based on hydrogen peroxide/ peracetic acid and sodium hypochlorite interfere with the adhesion of *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* to stainless steel of differing surface roughness. **Biofouling The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research**, v. 39, ed. 9-10, p. 990-1003, 2023.

VASCONCELOS, P. J. M. **Identificação de fungos anemófilos, em ambientes abertos, através de um nariz eletrônico e modelos de Inteligência Artificial**. 2022. 134 f. Universidade federal de Pernambuco Centro de Informática Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, Recife, 2022.