

TOXICOLOGIA NA CADEIA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL E SEUS IMPACTOS NO SETOR DE ALIMENTOS

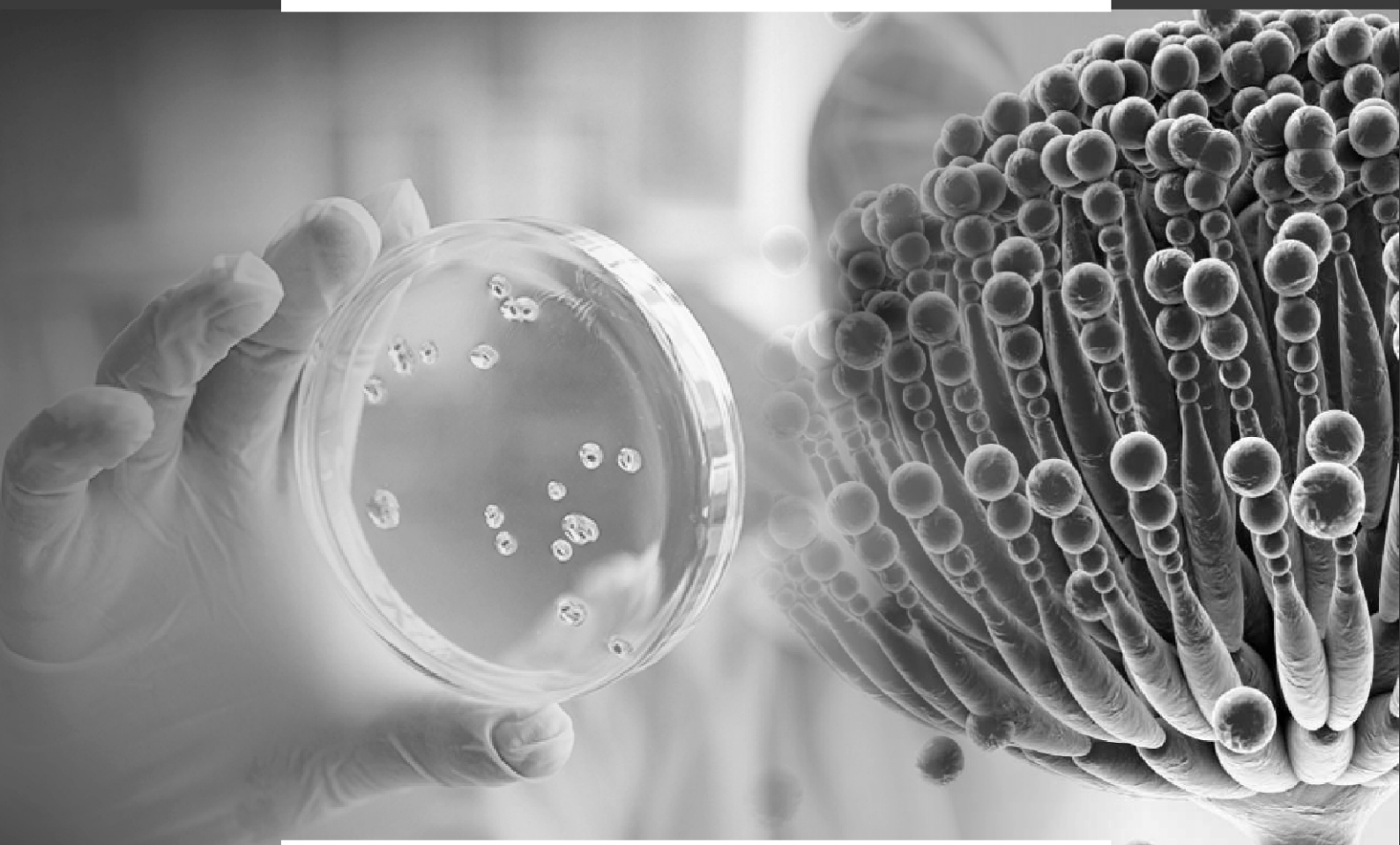


Veridiana de Almeida Flores de Oliveira
Pablo Ricardo Sanches de Oliveira
Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos
Marciele Alves Bolognese
Isabela Carolina Ferreira da Silva
Isabela Milani de Souza
Jéssica de Souza Alves Friedrichsen
Pither Jhoel Javier Sucari
Rita de Cássia Dutra
Miguel Machinski Junior



Compartilhando conhecimento

TOXICOLOGIA NA CADEIA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL E SEUS IMPACTOS NO SETOR DE ALIMENTOS



Veridiana de Almeida Flores de Oliveira
Pablo Ricardo Sanches de Oliveira
Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos
Marciele Alves Bolognese
Isabela Carolina Ferreira da Silva
Isabela Milani de Souza
Jéssica de Souza Alves Friedrichsen
Pither Jhoel Javier Sucari
Rita de Cássia Dutra
Miguel Machinski Junior



Compartilhando conhecimento

ISBN: 978-65-88890-55-4

DOI: <http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-55-4>

Editor Chefe

Dr. Washington Moreira Cavalcanti

Autores

Cássia de Oliveira Rocha

Laís Brito Cangussu

Greici Bergamo

Conselho Editorial

Dr. Washington Moreira Cavalcanti

Dra. Laís Brito Cangussu

Dr. Jean Andrade Canestri

Dr. Rômulo Maziero

Ms. Jorge Luiz dos Santos Mariano

Dra. Daniela Aparecida de Faria

Ms. Paulo Henrique Nogueira da Fonseca

Ms. Edgard Gonçalves da Costa

Ms. Gilmara Elke Dutra Dias

Dra. Leonete Cristina de A. F. M. Silva

Dra. Edna Lucia da Rocha Linhares

Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Projeto Gráfico e Diagramação

Departamento de arte Synapse Editora

Editoria de Arte

Maria Aparecida Fernandes

Revisão

Os Autores

2025 by Synapse Editora

Copyright © Synapse Editora

Copyright do Texto © 2025 Os autores

Copyright da Edição © 2025 Synapse Editora

Direitos para esta edição cedidos à

Synapse Editora pelos autores.

Todo o texto bem como seus elementos, metodologia, dados apurados e a correção são de inteira responsabilidade dos autores. Estes textos não representam de forma alusiva ou efetiva a posição oficial da Synapse Editora.

A Synapse Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Os livros editados pela Synapse Editora, por serem de acesso livre, *Open Access*, é autorizado o download da obra, bem como o seu compartilhamento, respeitando que sejam referenciados os créditos autorais. Não é permitido que a obra seja alterada de nenhuma forma ou usada para fins comerciais.

O Conselho Editorial e pareceristas convidados analisaram previamente todos os manuscritos que foram submetidos à avaliação pelos autores, tendo sido aprovados para a publicação.



Compartilhando conhecimento

2025

V516 t Oliveira, Veridiana de Almeida Flores de

Toxicologia na cadeia de produção industrial e seus impactos no setor de alimentos.
Autores: Veridiana de Almeida Flores de Oliveira, Pablo Ricardo Sanches de Oliveira,
Marciele Alves Bolognese, Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos, Isabela Carolina
Ferreira da Silva, Isabela Milani de Souza, Jéssica de Souza Alves Friedrichsen,
Pither Jhoel Javier Sucari, Rita de Cássia Dutra, Miguel Machinski Junior.
Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, 2025, 91 p.

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-88890-55-4

DOI: <https://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-55-4>

1. Toxicologia 2. Avaliação Toxicológica, 3. Cadeia de Produção Industrial,
4. Setor de Alimentos, 5. Segurança Alimentar

- I. Toxicologia na cadeia de produção industrial e seus impactos no setor de alimentos.
- II. Veridiana de Almeida Flores de Oliveira, Pablo Ricardo Sanches de Oliveira, Marciele Alves Bolognese, Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos, Isabela Carolina Ferreira da Silva, Isabela Milani de Souza, Jéssica de Souza Alves Friedrichsen, Pither Jhoel Javier Sucari, Rita de Cássia Dutra, Miguel Machinski Junior.

CDD: 600
CDU: 60 - 664

SYNAPSE EDITORA

Belo Horizonte – Minas Gerais

CNPJ: 40.688.274/0001-30

Tel: + 55 31 98264-1586

www.editorasynapse.org

editorasynapse@gmail.com



Compartilhando conhecimento

2025

PREFÁCIO



segurança alimentar é um dos pilares fundamentais para a saúde pública e o bem-estar da sociedade. Com o avanço da industrialização no setor alimentício, surgem também desafios cada vez mais complexos relacionados à presença de substâncias tóxicas nos alimentos, sejam elas naturais, intencionais ou acidentais. Neste contexto, a toxicologia aplicada à produção de alimentos assume um papel indispensável.

Este livro surge com o objetivo de proporcionar uma visão abrangente e crítica sobre os riscos toxicológicos associados à cadeia produtiva industrial de alimentos. Aqui, o leitor encontrará fundamentos científicos, legislações pertinentes, estudos de caso e estratégias de controle voltadas para garantir que os alimentos cheguem ao consumidor com o menor risco possível à saúde. Convidamos o leitor a explorar os capítulos seguintes com o olhar atento de quem entende que a toxicologia de alimentos não se restringe apenas à detecção de contaminantes, mas se insere como ferramenta essencial para a construção de sistemas alimentares mais seguros, sustentáveis e éticos.

Boa leitura!

Veridiana de Almeida F de Oliveira



Compartilhando conhecimento
2025

SUMÁRIO

Capítulo 1 INTERAÇÕES BIOACUMULATIVAS DE POLUENTES EMERGENTES: UMA REVISÃO LITERÁRIA, SOBRE ABORDAGEM BREVE SOBRE SEGURANÇA ALIMENTAR E SAÚDE PÚBLICA DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_01	7
Capítulo 2 O PAPEL DAS NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO NA INDÚSTRIA E SEUS IMPACTOS BIOLÓGICOS DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_02	17
Capítulo 3 CORANTES TÊXTEIS SINTÉTICOS: TOXICIDADE, IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS DE BIORREMEDIÇÃO DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_03	27
Capítulo 4 AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DE CORANTES ARTIFICIAIS: ENTENDA OS IMPACTOS DESSES ADITIVOS NA SAÚDE DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_04	37
Capítulo 5 BACTÉRIAS TOXIGÊNICAS EM ALIMENTOS: CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS E MECANISMOS DE PRODUÇÃO DE TOXINAS DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_05	49
Capítulo 6 AGROTÓXICOS NO BRASIL: UMA REVISÃO DA LEGISLAÇÃO COM FOCO NA TOXICOLOGIA DE ALIMENTOS DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_06	63
Capítulo 7 CORANTES ALIMENTARES SINTÉTICOS: A HISTÓRIA DA TARTRAZINA E SUA REGULAMENTAÇÃO DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_07	77
SOBRE OS AUTORES	87

CAPÍTULO 1

INTERAÇÕES BIOACUMULATIVAS DE POLUENTES EMERGENTES: UMA REVISÃO LITERÁRIA, SOBRE ABORDAGEM BREVE SOBRE SEGURANÇA ALIMENTAR E SAÚDE PÚBLICA

DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_01

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

Doutoranda em Ciências da Saúde – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Natalya Marques da Silva

Doutorando em ciências de Alimentos- UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Larissa Rodrigues da Silva

Mestranda em Ciências de alimentos – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Clayton Mendonça Ferreira

Mestrando em Biociência e Fisiopatologia-UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Pablo Ricardo Sanches de Oliveira

Doutorando em ciências de Alimentos- UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Caroline Crivelaro de Oliveira

Mestranda em Ciências de alimentos – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos

Graduada em Tecnologia de Alimentos - UTFPR (Universidade Federal Tecnológica do Paraná)

Sarah de Oliveira Vicente

Mestranda em Bioquímica – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Rita de Cássia Dutra

Graduada em Farmácia - UNINGÁ

Natalia Santos Pretes

Doutoranda em ciências de Alimentos – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

INTRODUÇÃO

Um ecossistema de segurança é fundamental para a produção de alimentos. Também é importante para a sobrevivência dos humanos, a biodiversidade - que abrange uma variedade gama de todos os organismos vivos do planeta, como plantas, animais, fungos e micróbios e seus habitats - e sistemas saudáveis (Brüh, Zaller, 2019). Essas vantagens, contudo, são comprometidas pela presença de contaminantes químicos ambientais emergentes (EECCs), intensificados pelo avanço da industrialização, atividades agrícolas e urbanização (Ojja, 2024).

Os contaminantes químicos ambientais emergentes (EECCs) representam uma das principais categorias de poluentes associadas aos processos de industrialização e urbanização. Neste contexto, eles são definidos como substâncias químicas continuamente produzidas, utilizadas e liberadas no meio ambiente por diversas fontes, mas que ainda possuem regulamentação inexistente ou limitada, especialmente em países em desenvolvimento. Esses contaminantes abrangem compostos orgânicos, como inseticidas, herbicidas, fertilizantes sintéticos, corantes e fenóis, além de substâncias inorgânicas, como metais pesados potencialmente tóxicos (Pantaleo et al., 2010).

O uso em excesso e de forma indevida agrotóxicos, nanomateriais, medicamentos, produtos de higiene pessoal e farmacêuticos, materiais contendo metais tóxicos, compostos per e polifluoroalquil e muitos outros EECC (contaminantes químicos emergentes) são responsáveis pela poluição ambiental ou ecossistêmica (Lekei et al., 2023). Além do fato de afetarem a biodiversidade, quando em contato com alimentos e bebidas, os seres humanos e os animais selvagens também podem ser afetados de forma direta e indireta por esses contaminantes (Sanga et al., 2023).

Produtos de cuidados pessoais e de farmacêuticos são outros exemplos de EECCs encontrados em uma variedade de produtos, incluindo medicamentos (como carbamazepina, antibióticos, etc.), creme dental, maquiagem ou cosméticos, sabão em pó e protetor solar. Por exemplo, os produtos farmacêuticos são empregados por humanos e animais para reduzir o risco de doenças, melhorar a qualidade da carne ou aumentar a taxa de reprodução (Olowoyo et al., 2019).

Assim como outros EECCs, os microplásticos contaminam o meio ambiente por meio do uso de cobertura plástica, lodo de esgoto e fertilizantes orgânicos. Sua presença tem impactos negativos significativos, afetando os alimentos de forma direta, a biodiversidade ao longo da cadeia alimentar (Ojiija, 2024).

Embora estudos significativos tenham explorado a presença de PFAS no meio ambiente, os mecanismos de exposição humana por meio de alimentos e materiais de contato/embalagens alimentares ainda não estão totalmente esclarecidos e estabelecidos. A ingestão de água, plantações e gado expostos e ou contaminados com PFAS (substâncias alquiladas perfluoradas e polifluoradas) continua sendo uma importante via de exposição humana (Rawn et al., 2021).

A presença de resíduos tóxicos nos alimentos cresce em larga escala, devido ao avanço industrial, práticas agrícolas modernas, poluição ambiental (Kantiani et al., 2010). Esta revisão narrativa aborda a contaminação de contaminantes químicos emergentes inseridos na alimentação e seus riscos à saúde.

A alimentação saudável é indispensável para sustentar a vida humana, onde há fornecimento de nutrientes essenciais e energia para o crescimento e desenvolvimento. Apesar do aumento de doenças relacionadas aos alimentos, muitos envolvidos na cadeia alimentar global ainda não compreendem plenamente a importância da segurança alimentar. Diversos contaminantes emergentes como os microplásticos, PFAs, agroquímicos, metais tóxicos, ftalatos, antibióticos, fármacos, cosméticos e etc (Okoye et al., 2022; Okeke et al., 2022; Nkoh et al., 2023). Esses produtos contaminam a cadeia alimentar, causando doenças e danos ecotoxicológicos. Vários estudos têm mostrado que a contaminação dos alimentos por podem ocorrer pelo solo, pela água e usados no cultivo dos alimentos, devido ao

acumulo do PFAs em animais e em embalagens de alimentos e os equipamentos que processam os alimentos que contem PFAs (Genualdi et al., 2022).

PFAS (per- e polifluoroalquil)

As substâncias per- e polifluoroalquil (PFAS) constituem uma ampla classe de compostos sintéticos, englobando mais de 4.700 estruturas químicas organizadas em aproximadamente 42 subclasses. Entre os representantes mais estudados encontram-se os álcoois fluorotelômeros (FTOHs), os ácidos perfluorossulfônicos (PFSAs) e os ácidos perfluorocarboxílicos (PFCAs) (Munoz et al., 2023; Wang et al., 2021). A estrutura típica dos PFAS é composta por uma cadeia de carbono perfluorada com características hidrofóbicas, associada a grupos funcionais hidrofílicos, o que lhes confere propriedades físicoquímicas singulares, como elevada resistência química, baixa reatividade, e forte capacidade de repelência a água e lipídios, além de comportamento altamente surfactante (Loureiro et al., 2024).

Os PFAS têm despertado crescente preocupação na comunidade científica e regulatória em virtude de sua ubiquidade ambiental aliada a potenciais efeitos tóxicos significativos. Evidências acumuladas indicam que esses compostos podem atuar como desreguladores endócrinos, impactando negativamente processos fisiológicos essenciais. Entre os efeitos mais relatados estão prejuízos à fertilidade, complicações gestacionais, alterações no desenvolvimento embrionário e interferências na homeostase hormonal, especialmente no eixo tireoidiano (Fenton et al., 2021). Isso se deve, sobretudo, à crescente evidência de sua extrema persistência ambiental, potencial de bioacumulação e toxicidade, aspectos que os qualificam como contaminantes emergentes de preocupação global (Gluge et al., 2020).

De acordo com relatório de 2018 da Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) os estudos encontraram em ovos, carnes, leite, frutos do mar, água potável e outros produtos lácteos são os principais contribuintes para a dieta humana, concentrações de PFA. Pesquisas realizadas em amostras de alimentos de supermercados locais, incluindo carnes, itens de fast food e frutos do mar, no Canadá e na Suécia, encontraram a presença de PFAS no suprimento comercial de alimentos (Tittlemier et al., 2007).

As concentrações mais altas de PFAS foram detectadas em amostras de alimentos, como mariscos e peixes, que foram coletadas em supermercados locais na Catalunha, Espanha, em 2006 e 2008 (Domingo et al., 2012). As vias de exposição humana incluem alimentos, as panelas antiaderentes, embalagens de fast food, papéis que são resistentes a gordura e sacos de pipoca (Sanderland et al., 2018) como mostra a figura 1 (próxima página).

A exposição humana aos PFAS por meio da dieta é agravada pela capacidade desses compostos migrarem para os alimentos quando presentes em materiais que entram em contato direto com os mesmos. Esse perfil de característica torna particularmente preocupante o seu uso na formulação de materiais em contato com alimentos. Papéis e cartões tratados com revestimentos à base de PFAS, comumente utilizados em embalagens descartáveis, representam uma fonte relevante de exposição crônica, dado seu uso frequente e a possibilidade de transferência contínua de contaminantes ao alimento consumido (Lerch et al., 2022).

Figura 1: Vias de exposição de PFAs



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Apesar de sua produção industrial ter início há mais de sete décadas, e de seu amplo uso em diversos setores incluindo embalagens alimentares, indústria têxtil, espumas retardantes de chama e formulações pesticidas os PFAS só recentemente despertaram maior atenção científica (Gluge et al., 2020).

Dentro do contexto brasileiro de acordo com Carloni (2009), Entre 2003 e 2008, o Brasil figurava entre os cinco principais países produtores de precursores do PFOS e ocupava a terceira posição em termos de consumo, sendo superado apenas pela China e Bulgária. A sulfluramida, introduzida no Brasil em 1993 como substituto do dodecacloro — princípio ativo do formicida comercialmente conhecido como Mirex — passou a ser amplamente utilizada como formicida agrícola. No entanto, os registros sobre a produção de POSF no país permanecem escassos, dispersos e, por vezes, inconsistentes. Um exemplo dessa lacuna é o fato de que, embora o uso da sulfluramida tenha se iniciado na década de 1990, os dados oficiais sobre sua produção só estão disponíveis a partir de 2004.

Entre 2004 e 2013, a produção média anual de sulfluramida no Brasil foi de aproximadamente 30 toneladas, com exceção do ano de 2009, quando foram produzidas apenas 7,2 toneladas. Dados mais precisos sobre o uso interno de PFAS estão disponíveis apenas para os anos de 2011 e 2012, e limitam-se a aplicações industriais. Nesse intervalo, o Brasil utilizou cerca de 52,4 toneladas por ano desses compostos, das quais 50,7 toneladas foram destinadas à produção de sulfluramida e 1,9 tonelada empregada em processos de galvanoplastia, no tratamento de superfícies metálicas (Gilljam et al., 2016).

Microplásticos

A presença de microplásticos (MPs) em alimentos e bebidas foi observada no âmbito global, mas a maioria dos estudos considera os dados disponíveis não apenas insuficientes, mas de qualidade questionável, principalmente devido à falta de um método de quantificação padronizado e uma nomenclatura unificada. Água potável, crustáceos/moluscos, peixes e sal foram identificados como fontes principais alimentares importantes de MPs para humanos, de acordo com a maioria dos dados publicados (Armendáriz et al., 2022).

Estudos recentes revelaram que os microplásticos, incluindo fragmentos, fibras e pellets, estão amplamente distribuídos nos mares ao redor do mundo. No entanto, somente microfibras, e não microesferas, foram detectadas em organismos que habitam o fundo do mar (Iniguez et al., 2017).

A presença de microplásticos na água do mar é considerada perigosa devido a três possíveis efeitos tóxicos. Primeiro, pelas próprias partículas; segundo, pela liberação de poluentes orgânicos persistentes (POPs) adsorvidos; e terceiro, pela lixiviação de aditivos plásticos. POPs, como PCBs e pesticidas organoclorados, estão amplamente presentes em sistemas aquáticos globais (Iniguez et al., 2017). Os plásticos são capazes de absorver contaminantes presentes na água do mar, transferindo-os para os peixes e o sal. Assim, a presença de plásticos no sal marinho pode representar um risco à segurança alimentar (Lee et al., 2014).

Dados disponíveis mostram que microplásticos podem representar riscos potenciais à saúde humana quando ingeridos, sendo importante investigar a presença nos alimentos e a magnitude da ingestão alimentar (Armendáriz et al., 2022). Em 2019, Cox et al, concluíram que, apesar das evidências crescentes de que contaminam uma grande variedade de alimentos e bebidas, bem como ambientes externos e internos, e a possibilidade de efeitos prejudiciais à saúde humana após ingestão e/ou inalação, uma investigação sobre a exposição cumulativa humana aos MPs ainda não foi realizada.

Diante da ubiquidade do plástico em todas as etapas da cadeia alimentar desde a produção primária (como pescados, hortaliças e carnes avícolas), passando pelos processos industriais (em que há contato com o ar, a água e superfícies de equipamentos), até a embalagem (principalmente plásticos de uso único) e o consumo (incluindo aquecimento, cocção e utensílios plásticos) a presença de microplásticos nos alimentos tornou-se praticamente inevitável. Além disso, a heterogeneidade das matrizes alimentares interfere significativamente na adsorção e na tipologia dos MPs, dificultando o estabelecimento de metodologias analíticas padronizadas para sua detecção e quantificação em diferentes alimentos (kwon et al., 2020)

Estima-se que cerca de 10% da produção anual de plásticos o que equivale a aproximadamente 30 bilhões de toneladas seja transportada para os oceanos por meio dos sistemas fluviais, contribuindo com uma carga flutuante de resíduos plásticos que varia entre 70.000 e 270.000 toneladas (Oberbeckmann & Labrenz, 2020). Devido à elevada estabilidade química, resistência à corrosão e à sua natureza intrinsecamente não biodegradável, esses materiais persistem no ambiente marinho por longos períodos. Uma vez nos oceanos, os plásticos maiores são gradualmente fragmentados em microplásticos (MPs) por meio de processos físico-químicos e ambientais, como a exposição prolongada à radiação ultravioleta, a ação mecânica das ondas e a imersão contínua em água salgada (Bajt, 2021).

A principal via de entrada na dieta humana ocorre por meio da ingestão direta de organismos marinhos contaminados, como plâncton, crustáceos como (camarões e caranguejos) e moluscos (Bajt, 2021). À medida que esses organismos são consumidos por espécies maiores incluindo peixes comestíveis e aves marinhas os microplásticos se concentram em níveis superiores da cadeia alimentar, aumentando, conseqüentemente, a exposição humana a essas partículas contaminantes (Bai et al., 2021).

Praguicidas

Um praguicida é um termo genérico que se refere a todos os químicos de crescimento de plantas, fungicidas, herbicidas, inseticidas, raticidas, moluscicidas e nematicidas. Esses produtos são utilizados mundialmente devido aos benefícios no controle de pragas. Eles podem ser aplicados em todas as etapas da cadeia de produção de alimentos, incluindo fazenda, produção, armazenamento, transporte, distribuição, processamento e até o nível do consumidor (Lebelo, 2021). Houve um aumento considerável de estudos da contaminação causada por agrotóxicos em alimentos.

Certos tipos de pesticidas, como DDT, foram proibidos há bastante tempo em vários países, mas ainda assim, a bioacumulação é detectada em alguns riachos devido à persistência dos compostos químicos e seus efeitos persistentes (Mazzoni et al., 2018). Os praguicidas organoclorados são quimicamente estáveis e semivoláteis, portanto duram mais tempo no ambiente e podem ser facilmente transportados através da atmosfera pelo vento. Além disso, são conhecidos por serem lipofílicos, podendo facilmente se ligarem aos tecidos adiposos de animais e humanos. São predominantemente encontrados em alimentos ricos em gordura devido à sua solubilidade em gordura, como peixe, carne e produtos lácteos (Taiwo, 2019).

O consumo diário de alimentos vem acompanhando com aumento potencial exposição a pesticidas. A maioria dos países tem limites máximos permitidos pré-determinados, conforme recomendado pela FAO/OMS/Codex Alimentarius. Na Europa, a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) desenvolve pesquisas sobre avaliações de risco e orienta outras autoridades sobre os níveis permitidos (Lebelo et al., 2021). A Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) segue as diretrizes internacionais.

Nos grãos de cereais, a maioria dos resíduos de agrotóxicos está na camada externa, como o farelo. Técnicas de moagem e processamento ajudam na remoção desses resíduos em diferentes níveis. Após a colheita, os grãos são pulverizados com inseticidas para armazenamento em silos a granel, visando reduzir perdas. Resíduos mais lipofílicos permanecem na camada externa, mas uma fração pode se deslocar para partes ricas em triglicerídeos (Bajwa; Sandhu, 2011).

O uso indiscriminado de agrotóxicos na agricultura tem aumentado a contaminação significativa da água e dos alimentos, representando riscos à saúde humana e ao meio ambiente. O estudo vem apontando que substâncias como o glifosato, um herbicida amplamente utilizado, são encontradas em níveis elevados na água potável no Brasil, com concentrações permitidas até 5 mil vezes superiores às da União Europeia (FioCruz, 2019).

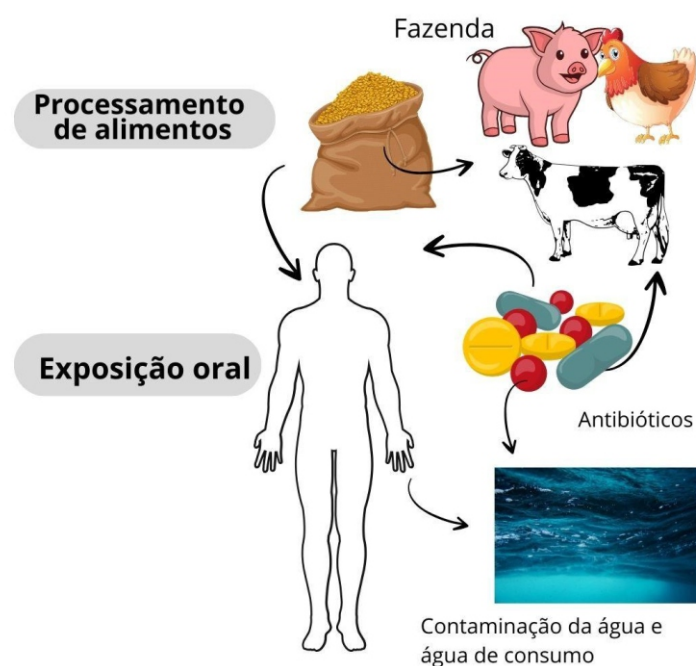
Além disso, análises revelam que resíduos de agrotóxicos estão presentes em diversos alimentos consumidos pela população, com potencial para desencadear doenças como câncer e distúrbios endócrinos. Sendo necessário e crucial adotar práticas agrícolas mais sustentáveis e manter a fiscalização sobre o uso desses produtos para mitigar seus impactos negativos, pois atualmente de acordo com a nomenclatura da Anvisa para agrotóxicos existem mais de 500 praguicidas liberados (Anvisa, 2020).

Antibióticos

Os antibióticos são compostos importantes na medicina veterinária, associados à alimentação animal e à produção de alimentos. Seu uso no tratamento de infecções bacterianas é praticamente indispensável, com benefícios estabelecidos na literatura. No entanto, apesar de terem sido proibidos como promotores de crescimento há alguns anos, seu uso em animais pode resultar em resíduos nos alimentos, gerando riscos ambientais, tecnológicos, riscos para a saúde animal e do consumidor (Arséne et al., 2022).

Vários estudos indicam que os resíduos de antibióticos nos alimentos podem induzir e acelerar o desenvolvimento de resistência bacteriana, também podem favorecer a transferência de bactérias resistentes para os humanos. Esses resíduos também estão associados a reações alérgicas (como à penicilina) e a doenças mais graves, como cânceres (causados por sulfametazina, oxitetraciclina e furazolidona), choque anafilático, nefropatia (induzida pela gentamicina), toxicidade da medula óssea, efeitos mutagênicos e distúrbios reprodutivos (relacionados ao cloranfenicol) em seres humanos (Bacanl; Basaran et al., 2019. Arséne e colaboradores (2022), registrou alguns estudos que relatam resíduos de antibióticos em alimentos principalmente oriundos de aves (carne de frango e ovos). A figura 2 mostra o caminho que os resíduos de antibióticos em diferentes sistemas.

Figura 2- Meios de contaminação de resíduos de praguicidas na cadeia alimentar



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

O uso indiscriminado e impróprio de antibióticos pode levar em maiores concentrações no meio ambiente, o que é chamado de poluição por antibióticos. A estimativa é que aproximadamente 75% dos antibióticos não são absorvidos pelos animais, mas são excretados como resíduos (Sanford et al. 2009).

Esses resíduos são considerados poluentes significativos, pois alteram a flora normal dos solos e da água, promovendo a produção de bactérias resistentes por pressão seletiva. A resistência é adquirida principalmente por meio da seleção de genes que permitem a degradação enzimática dos antibióticos, modificação do alvo do antibiótico e alterações na permeabilidade da membrana celular das bactérias (Xu et al., 2020).

Os resíduos de antibióticos representam um grave problema de saúde pública, com sua presença nos alimentos sendo responsável por causar complicações que variam de leves a graves e difíceis de controlar. Assim, as consequências tóxicas podem ser divididas em dois subgrupos: toxicidade direta e reações alérgicas, resistência a antibióticos, como uma consequência indireta (Arséne et al., 2022).

Conclusão

A preservação de um ambiente saudável é vital para a segurança dos ecossistemas, a biodiversidade e a saúde humana. Contudo, a maior demanda industrial, há uma crescente liberação de contaminantes químicos ambientais emergentes (EECCs), como microplásticos, PFAS, pesticidas e resíduos de antibióticos, que se torna uma ameaça seriamente essas bases essenciais. Evidências demonstram que a exposição contínua a esses poluentes não apenas compromete a qualidade dos alimentos, mas também provoca sérios riscos ecotoxicológicos e problemas de saúde pública.

A falta de regulamentação adequada e o uso indiscriminado de produtos químicos ampliam esses impactos, especialmente em países em desenvolvimento. Frente a esse cenário, é fundamental aprofundar o conhecimento sobre as propriedades físico-químicas dos EECCs, suas vias de exposição e seus mecanismos de toxicidade, a fim de desenvolver estratégias de remediação eficazes.

O controle com maior rigor, o monitoramento contínuo e a implementação de práticas agrícolas e industriais mais sustentáveis são imperativos para minimizar os riscos ambientais e à saúde. Assim, esta revisão contribui como um ponto de partida importante para apoiar a formulação de políticas públicas, incentivar práticas responsáveis e estimular novas pesquisas voltadas à gestão sustentável dos contaminantes emergentes, ressaltando a necessidade urgente de integrar ciência, regulamentação e educação ambiental para enfrentar esse desafio crescente e garantir a segurança dos alimentos para população.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – Anvisa. Agrotóxicos em alimentos. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/>. Acesso em: [data de acesso].

ARSÈNE, M. M. J.; DAVARES, A. K. L.; VIKTOROVNA, P. I.; ANDREEVNA, S. L.; SARRA, S.; KHELIFI, I.; SERGUEÏEVNA, D. M. The public health issue of antibiotic residues in food and feed: causes, consequences, and potential solutions. *Veterinary World*, v. 15, n. 3, p. 662-671, mar. 2022. DOI: 10.14202/vetworld.2022.662-671.

BAJWA, U.; SANDHU, K. S. Effect of handling and processing on pesticide residues in food – a review. *Journal of Food Science and Technology*, v. 51, n. 2, p. 201-220, fev. 2014. DOI: 10.1007/s13197-011-0499-5.

BRÜHL, C. A.; ZALLER, J. G. Biodiversity decline as a consequence of an inappropriate environmental risk assessment of pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, v. 7, p. 77, 2019. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00077.

DOMINGO, J. L. et al. Human exposure to perfluorinated compounds in Catalonia, Spain: contribution of drinking water and fish and shellfish. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 60, n. 17, p. 4408-4415, 2 maio 2012. DOI: 10.1021/jf300355c.

FIOCRUZ BRASÍLIA. Contaminação da água potável por agrotóxico no Brasil é tema de audiência pública na Câmara dos Deputados. Disponível em: <https://www.fiocruz.br/>. Acesso em: [data de acesso].

GENUALDI, S. et al. Analysis of per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) in processed foods from FDA's Total Diet Study. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 414, n. 3, p. 1189-1199, jan. 2022. DOI: 10.1007/s00216-021-03610-2.

IÑIGUEZ, M. E.; CONESA, J. A.; FULLANA, A. Microplastics in Spanish table salt. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 8620, 17 ago. 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-09128-x.

KANTIANI, L. et al. Emerging food contaminants: a review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 398, n. 6, p. 2413-2427, nov. 2010. DOI: 10.1007/s00216-010-3944-9.

LEE, H.; SHIM, W. J.; KWON, J. H. Sorption capacity of plastic debris for hydrophobic organic chemicals. *Science of the Total Environment*, v. 470-471, p. 1545-1552, 1 fev. 2014. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.08.023.

LEBELO, K.; MALEBO, N.; MOCHANE, M. J.; MASINDE, M. Chemical contamination pathways and the food safety implications along the various stages of food production: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 11, p. 5795, 28 maio 2021. DOI: 10.3390/ijerph18115795.

LEKEI, E. et al. Acute pesticide poisoning amongst adolescent girls and women in northern Tanzania. *BMC Public Health*, v. 20, p. 1-9, 2020. DOI: 10.1186/s12889-020-08530-5.

MAZZONI, M. et al. Trophic transfer of persistent organic pollutants through a pelagic food web: the case of Lake Como (Northern Italy). *Science of the Total Environment*, v. 640-641, p. 98-106, 1 nov. 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.307.

NKOH, J. N. et al. Recent perspective of antibiotics remediation: a review of the principles, mechanisms, and chemistry controlling remediation from aqueous media. *Science of the Total Environment*, v. 881, p. 163469, 10 jul. 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163469.

OJIIA, F. Contaminantes ambientais emergentes: fontes, efeitos sobre a biodiversidade e os seres humanos, remediação e implicações para a conservação. *Science Progress*, v. 107, n. 2, p. 368504241253720, abr.-jun. 2024. DOI: 10.1177/00368504241253720.

OKOYE, C. O. et al. Antibiotic resistance in the aquatic environment: analytical techniques and interactive impact of emerging contaminants. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 96, p. 103995, nov. 2022. DOI: 10.1016/j.etap.2022.103995.

OLOWOYO, J. O.; MUGIVHISA, L. L. Evidence of uptake of different pollutants in plants harvested from soil treated and fertilized with organic materials as source of soil nutrients from developing countries. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 6, p. 1-11, 2019. DOI: 10.1186/s40538-019-0155-1.

PANTALEO, P. A.; KOMAKECH, H. C.; MTEI, K. M. et al. Contamination of groundwater sources in emerging African towns: the case of Babati town, Tanzania. *Water Practice and Technology*, v. 13, p. 980–990, 2018.

RAWN, D. F. K.; MÉNARD, C.; FENG, S. Y. Method development and evaluation for the determination of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in multiple food matrices. *Food Additives & Contaminants: Part A*, v. 39, n. 4, p. 752-776, abr. 2022. DOI: 10.1080/19440049.2021.2020913.

RUBIO-ARMENDÁRIZ, C. et al. Microplastics as emerging food contaminants: a challenge for food safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 3, p. 1174, 21 jan. 2022. DOI: 10.3390/ijerph19031174.

SCHÖPFER, L.; SCHNEPF, U.; MARHAN, S. et al. Hydrolysable microplastics in soil – low biodegradation but formation of a specific microbial habitat? *Biology and Fertility of Soils*, v. 58, p. 471–486, 2022.

TITTELMIER, S. A. et al. Dietary exposure of Canadians to perfluorinated carboxylates and perfluorooctane sulfonate via consumption of meat, fish, fast foods, and food items prepared in their packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 55, n. 8, p. 3203-3210, 18 abr. 2007. DOI: 10.1021/jf0634045.

CAPÍTULO 2

O PAPEL DAS NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO NA INDÚSTRIA E SEUS IMPACTOS BIOLÓGICOS

DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_02

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

Doutoranda em Ciências da Saúde – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Pablo Ricardo Sanches de Oliveira

Doutorando em ciências de Alimentos- UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos

Graduada em Tecnologia de Alimentos - UTFPR

Sarah de Oliveira Vicente

Mestranda em Bioquímica – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Rita de Cássia Dutra

Graduada em Farmácia - UNINGÁ

Kéthlyn Duarte Costa

Mestranda em Engenharia de Alimentos – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Ana Laura Castilho Franco

Graduada em Farmácia – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Natalia Santos Pretes

Doutorando em ciências de Alimentos- UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Lyriel de Oliveira Santos

Mestranda em Biociência e Fisiopatologia-UEM (Universidade Estadual de Maringá)

RESUMO

O dióxido de titânio (TiO_2) é amplamente utilizado como pigmento branco em alimentos, cosméticos, medicamentos e tintas, destacando-se pela sua versatilidade e estabilidade físico-química. Sua forma anatásio, presente no aditivo alimentar E171, contém uma fração significativa de nanopartículas (<100 nm), cuja toxicidade vem sendo amplamente investigada. Estudos recentes demonstram que, embora a absorção oral e percutânea do TiO_2 seja baixa, mesmo pequenas quantidades podem atravessar barreiras biológicas e se acumular em órgãos como fígado, baço e cérebro. Em modelos animais, o TiO_2 foi associado a estresse oxidativo, inflamação, danos ao DNA, alteração da expressão gênica e disfunções hepáticas e imunológicas. Pela via oral, partículas de TiO_2 podem interagir com a mucosa intestinal e induzir efeitos genotóxicos mesmo em concentrações baixas. No contexto tópico, o TiO_2

permanece geralmente na superfície da pele íntegra, mas pode interferir em processos celulares como a produção de óxido nítrico, além de causar respostas inflamatórias sob certas condições. A forma cristalina, tamanho, dopagem e presença de luz UV são fatores determinantes na sua toxicidade. Diante das evidências acumuladas, o TiO_2 , especialmente em nanoescala, deve ser tratado com precaução, exigindo mais estudos toxicológicos robustos e reavaliação regulatória para garantir a segurança da exposição crônica.

INTRODUÇÃO

O dióxido de titânio (TiO_2) é amplamente utilizado como pigmento branco em diversos produtos, como alimentos (sob o aditivo E171), tintas, revestimentos, medicamentos e cosméticos, incluindo pastas de dente. A cor branca intensa é mais eficazmente alcançada com partículas que possuem um tamanho entre 200 e 300 nm (Shi et al., 2013).

O dióxido de titânio (TiO_2) pode apresentar diferentes formas cristalinas, como anatásio, rutilo e brookita, ou ainda combinações dessas estruturas. O uso de TiO_2 foi aprovado pela FDA dos Estados Unidos em 1966, com a limitação de até 1% nos alimentos (FDA, 2015). Na União Europeia, o anatásio tem sido aceito como aditivo alimentar há décadas, sendo permitido em quantidade *quantum satis* (ou seja, apenas a quantidade necessária) para determinados produtos, conforme a base de dados de aditivos alimentares (Minne B et al., 2016).

Em maio de 2021, a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) revisou a segurança do E171 e concluiu que não era possível excluir a possibilidade de genotoxicidade, mesmo após anos considerando-o seguro. Esta nova posição foi fundamentada em resultados de testes de genotoxicidade envolvendo nanomateriais de TiO_2 (Younes et al., 2021). A EFSA destacou a falta de dados suficientes para determinar as concentrações mínimas seguras de TiO_2 nos tecidos. Como consequência, vários países reavaliaram sua segurança, com a União Europeia proibindo seu uso como aditivo alimentar a partir de 2022 (NSF, 2024).

Em contraste, órgãos como a FDA (EUA), Health Canada e a FSANZ (Austrália e Nova Zelândia) ainda consideram o TiO_2 seguro, desde que utilizado dentro dos limites estabelecidos (até 1% do peso do alimento) (FDA, 2024; NSF, 2024). A Comissão do Codex Alimentarius também afirmou que o consumo diário de TiO_2 não representa risco à saúde, mas reconheceu que os dados sobre nanopartículas ainda são limitados. Diante da ampla utilização do dióxido de titânio (TiO_2) em produtos de consumo e das recentes controvérsias quanto à sua segurança, especialmente na forma de nanopartículas, torna-se essencial revisar e compreender os riscos potenciais associados à sua exposição. A mudança de posicionamento por parte de órgãos reguladores, como a EFSA, reforça a necessidade de avaliação crítica dos dados toxicológicos mais atuais. Nesse

contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão narrativa da literatura científica recente sobre a toxicidade do TiO_2 , com ênfase nas vias de exposição oral e percutânea, abordando seus efeitos sobre a saúde humana, mecanismos de ação biológica.

MÉTODO

Este trabalho trata-se de uma revisão narrativa da literatura, com o objetivo de compilar e discutir as evidências científicas mais recentes acerca da toxicidade do dióxido de titânio (TiO_2), com foco nas vias de exposição oral e percutânea. A revisão foi conduzida seguindo critérios de seleção definidos previamente.

A busca por artigos científicos foi realizada nas seguintes bases de dados eletrônicas: *PubMed*, *ScienceDirect*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*, a fim de garantir abrangência e diversidade nas fontes. Foram utilizados descritores controlados e não controlados, com apoio do vocabulário MeSH (*Medical Subject Headings*), incluindo os termos: *Titanium Dioxide*, *Dermal Absorption*, *Percutaneous Exposure*, *Oral Exposure*, *Toxicity*, *Genotoxicity*, *Nanoparticles*, entre outros. Os operadores booleanos “and” e “or” foram utilizados para ampliar ou refinar os resultados.

Os dados extraídos foram organizados em categorias temáticas com base na via de exposição e nos efeitos descritos (como inflamação, estresse oxidativo, genotoxicidade, alterações metabólicas e neurotoxicidade). A seleção e análise do material consideraram a relevância dos resultados e a qualidade metodológica dos estudos, visando oferecer uma visão crítica e atualizada do tema.

Exposição humana e propriedades físico-química

Pesquisas indicam que a toxicidade do TiO_2 está fortemente associada às nanopartículas (NPs) com tamanho inferior a 100 nm. Essas partículas podem atravessar barreiras biológicas, gerar espécies reativas de oxigênio (ROS) e causar estresse oxidativo, danos ao DNA, inflamação e potencial carcinogenicidade (Grande; Tucci, 2016). Outro ponto crítico é a capacidade do TiO_2 de se acumular no organismo, aumentando o risco de efeitos adversos em exposições prolongadas, especialmente em crianças, que são grandes consumidoras de produtos com E171 (Rompelberg et al., 2016).

Além disso, a ingestão de TiO_2 varia de acordo com o tipo de alimento, composição, frequência e modo de exposição. Modificações físico-químicas do E171 durante a digestão também podem alterar seu comportamento e toxicidade (Cao et al., 2020; McClements et al., 2016; Deloid et al., 2017).

O TiO_2 ocorre naturalmente como óxido de titânio e, após processamento, se transforma em um pó branco, inodoro e pouco solúvel. Para aplicações alimentícias, o TiO_2 (E171) consiste em micro e nanopartículas de 60 a 300 nm, com cerca de 10% a 40% das partículas abaixo de 100 nm (Peters et al., 2014). No entanto, segundo a definição europeia (2011/696/UE), E171 não é classificado formalmente como nanomaterial.

O tamanho das partículas influencia diretamente a toxicidade, já que nanopartículas têm maior área superficial, reatividade, translocação e biodisponibilidade (EFSA, 2019; Musial et al., 2020). Fatores como estabilidade coloidal e aglomeração também impactam seu comportamento (Moore et al., 2015; Janer et al., 2014).

As propriedades do TiO_2 tornam-no valioso em diversas aplicações, incluindo energia renovável, protetores solares, alimentos e medicina (Song et al., 2015). Sua fabricação para grau alimentício envolve o uso de ácido sulfúrico ou cloro, permitindo contaminantes como arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo dentro dos limites regulatórios (Regulamento EU, 2012).

O TiO_2 é insolúvel em água e ácidos diluídos e resiste à degradação térmica e ao processamento de alimentos. No sistema gastrointestinal, partículas indigestíveis podem ser liberadas, atingindo a mucosa intestinal, o que levanta preocupações sobre sua absorção e biodistribuição (Cho et al., 2013).

Estudos da neurotoxicidade do TiO_2

Inicialmente, a preocupação com a exposição a nanopartículas de TiO_2 focava em trabalhadores industriais. Soldadores expostos a vapores contendo TiO_2 apresentaram níveis elevados deste composto no tecido pulmonar (Andujar et al., 2014). Estudos em animais mostraram que nanopartículas de TiO_2 podem atravessar a barreira hematoencefálica. Exposições intranasais em camundongos resultaram em acúmulo de titânio no cérebro (Wang et al., 2008; Zhang et al., 2011). A presença de revestimentos superficiais, como sílica, influenciou significativamente a translocação para o sistema nervoso central (SNC).

A toxicidade parece ser dependente do tamanho, forma e revestimento das partículas (Chen et al., 2015). O acúmulo prolongado de TiO_2 no SNC pode induzir inflamação, morte celular e, potencialmente, contribuir para doenças neurodegenerativas. Diversos estudos realizados em camundongos demonstraram que a exposição ao nano- TiO_2 pode causar alterações significativas no sistema nervoso, incluindo mudanças histológicas no hipocampo e no córtex cerebral, proliferação de células gliais, necrose e sinais de degeneração celular (Ze y et al., 2014). Também foram observadas desregulações na expressão de genes relacionados ao estresse oxidativo. Além disso, a exposição ao nano- TiO_2 resultou em prejuízos na memória de reconhecimento espacial nesses animais, sendo que os efeitos tóxicos no cérebro, especialmente no hipocampo, mostraram-se dependentes da dose administrada (Ze y et al., 2014).

Em ratos, evidências apontaram para uma desaceleração dos potenciais evocados sensoriais e do potencial de ação no nervo caudal após a exposição ao nano- TiO_2 . Outros achados incluíram a diminuição na expressão da sinaptofisina, um marcador de atividade neuronal, um efeito que foi ainda mais pronunciado em animais mais velhos, mesmo na ausência de detecção direta de nanopartículas de TiO_2 no tecido cerebral (Chang X et al., 2015). Contudo esses estudos realizados em roedores mostraram nano- TiO_2 toxicidade em vários níveis (inflamação pulmonar, efeitos cardiovasculares e neurotoxicidade), principalmente usando altas doses de nano- TiO_2 que excedam em muito as exposições humanas.

Exposição via oral

A exposição oral tem levantado preocupações, devido à possibilidade de efeitos adversos na saúde humana. Embora mesmo sendo considerado inerte por muito tempo, novas evidências vêm sugerindo que sua ingestão pode causar danos celulares e inflamatórios (Argueta-Figueroa et al., 2018).

Após a ingestão, a absorção do TiO_2 pelo trato gastrointestinal é de fato extremamente baixa, permanecendo majoritariamente no lúmen intestinal. Contudo, uma pequena fração pode atravessar a barreira epitelial e alcançar órgãos como fígado e baço, acumulando-se a longo tempo. Esse acúmulo pode ser mais significativo para nanopartículas de tamanho reduzido (Manivannan et al., 2019).

A ingestão oral de nanopartículas de TiO_2 estimula a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), levando ao estresse oxidativo. Esse estresse pode prejudicar funções celulares normais, causar apoptose e contribuir para inflamações crônicas, afetando diretamente tecidos expostos no sistema digestivo (Argueta-Figueroa et al., 2018).

As pesquisas em modelos animais demonstraram que a exposição oral crônica ao TiO_2 pode induzir danos ao DNA em tecidos como fígado, baço e medula óssea. Esses danos foram observados mesmo em concentrações baixas e por curtos períodos de exposição, indicando potencial genotoxicidade sistêmica associada à via oral (Manivannan et al., 2019).

O estudo feito por Brand e colaboradores (2020), comparou dados de exposição animal com concentrações de titânio em órgãos humanos pós-morte e encontrou que TiO_2 pode gerar estresse oxidativo, inflamação e danos celulares no fígado e intestino. Os níveis que causam efeitos em animais são 6 a 30 vezes maiores que os observados em humanos, o que sugere risco real de toxicidade hepática com exposição oral prolongada.

Ratos expostos oralmente a TiO_2 por 90 dias apresentaram leucopenia, alterações em linfócitos, aumento de IgG e IgM, redução da proliferação celular imune e aumento de danos ao DNA. Alterações significativas também foram observadas no baço e medula óssea, evidenciando toxicidade sistêmica (Hashem et al., 2020).

Em outro estudo feito por Vignard et al., (2023) demonstrado que partículas do aditivo E171 conseguem atravessar a mucosa bucal de porcos e se acumular em linfonodos. Em células humanas TR146, causaram danos ao DNA e estresse oxidativo, especialmente em células em proliferação, o que levanta preocupações sobre seu uso em pastas de dente e produtos farmacêuticos orais (Vignard et al., 2023).

Chen et al., (2020) observaram que após 90 dias de exposição em ratos ocorreu redução no peso corporal, alterações em biomarcadores lipídicos (como triglicerídeos e fosfatidilcolinas), além de aumento de peroxidação lipídica (MDA) e redução de enzimas antioxidantes. Esses efeitos indicam alteração do metabolismo e dano oxidativo hepático.

A exposição a produtos com TiO_2 observados em outro estudo, causou hipometilação global e alterações em genes importantes como TP53 e GADD45, o que pode impactar mecanismos de reparo celular e apoptose. A alteração da metilação é um indicativo de risco potencial para câncer e outras doenças crônicas (Wells et al., 2024).

Embora o TiO_2 seja autorizado para uso oral em diversos países, as evidências recentes sugerem necessidade de cautela, especialmente com nanopartículas. A ingestão diária contínua pode representar riscos cumulativos à saúde, principalmente relacionados à genotoxicidade e inflamação intestinal. Estudos adicionais em humanos são fundamentais para estabelecer limites de exposição seguros (Manivannan et al., 2019).

Em 2021, a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) atualizou a avaliação sobre o dióxido de titânio como aditivo alimentar. Apesar de não ter identificado um risco definitivo, a EFSA não pôde excluir a possibilidade de genotoxicidade, ou seja, danos ao DNA (EFSA, 2021). Diante dessa incerteza, a Comissão Europeia decidiu pela proibição do uso do dióxido de titânio em alimentos, seguindo o princípio de precaução.

Toxicidade percutânea

Estudos recentes indicam que o TiO_2 não é significativamente absorvido pela pele intacta. A maioria das nanopartículas permanece na camada superficial da epiderme, sem atingir camadas profundas ou a circulação sistêmica. No entanto, mesmo sem penetração, pesquisas mostram que as partículas de dióxido de titânio, especialmente na forma de nanotubos de titanato (TiNTs), podem causar efeitos biológicos sutis. Um estudo com células endoteliais humanas mostrou que os TiNTs não causam morte celular, mas interferem na sinalização do óxido nítrico (NO), reduzindo a expressão da eNOS e de fatores de transcrição vasculares importantes, o que pode afetar a função dos vasos sanguíneos mesmo sem toxicidade aguda (Li et al., 2020).

Além disso, estudos in vivo com camundongos mostraram que, mesmo após a administração intravenosa de altas doses de TiNTs, não foram observadas alterações tóxicas nos rins ou no fígado, e os materiais foram lentamente eliminados principalmente pelo fígado e baço. Isso indica uma biocompatibilidade relativamente segura em condições sistêmicas, mesmo com exposição prolongada (Baati et al., 2021).

Estudos recentes demonstram que o dióxido de titânio (TiO_2), amplamente utilizado em protetores solares e cosméticos, pode causar efeitos adversos na pele humana, especialmente quando utilizado na forma nanoestruturada. A absorção percutânea de TiO_2 geralmente é considerada baixa em pele íntegra, mas mesmo sem penetração profunda, há riscos potenciais associados à reatividade das nanopartículas.

Em estudo com queratinócitos humanos e um modelo murino de dermatite alérgica de contato, nanopartículas de TiO_2 na forma anatase, rutilo e dopadas com manganês (<100 nm) não causaram morte celular direta, mas as dopadas induziram aumento significativo na geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) e exacerbaram a resposta inflamatória cutânea em camundongos, aumentando o inchaço dérmico (Palmer & DeLouise, 2020).

Outro trabalho usou fibroblastos dérmicos humanos e eritrócitos para avaliar a toxicidade do TiO_2 em concentrações de até 200 ppm. Os resultados indicaram ausência de citotoxicidade e hemólise nas células humanas testadas. No entanto,

efeitos ambientais e microbiológicos foram observados, como toxicidade significativa para algas e mudanças na germinação de sementes, sugerindo seletividade biológica nos efeitos do material (Utgikar et al., 2022).

Em um estudo que analisou produtos cosméticos comerciais contendo TiO_2 , foi identificado que a maioria continha partículas na faixa de 16 a 51 nm, com a presença predominante da forma anatase, conhecida por sua alta fotocatalise. Essa forma pode gerar radicais livres sob exposição à luz UV, levantando preocupações sobre reações cutâneas adversas, especialmente com exposição solar concomitante (Ollengo & Nthiga, 2021).

Liang et al. (2022) investigaram os efeitos combinados de nanopartículas de TiO_2 e ZnO , comuns em protetores solares. O TiO_2 sozinho apresentou baixa citotoxicidade, mas teve efeito protetor contra a toxicidade induzida pelo ZnO , reduzindo a entrada celular de íons Zn^{2+} e limitando o estresse oxidativo. Isso demonstra que a formulação conjunta de filtros solares pode modificar a toxicidade de seus componentes individuais (Liang et al., 2022).

Em estudo utilizando pele humana reconstruída (EpiDerm), Liskova et al. (2020) avaliaram a fototoxicidade de várias formas comerciais de TiO_2 , incluindo nanosheets e produtos de mercado. Nenhuma das amostras causou fototoxicidade ou citotoxicidade aguda, mesmo em altas concentrações. Apesar disso, o estudo aponta para a necessidade de padronização nos testes de segurança, visto que pequenas mudanças na formulação e na aplicação podem afetar os resultados (Liskova et al., 2020). Esses achados indicam que, embora o TiO_2 seja amplamente considerado seguro para uso tópico, a forma nanoestruturada, o tipo cristalino e a presença de dopantes podem alterar significativamente sua toxicidade local e sua interação com a pele, especialmente sob exposição solar.

CONCLUSÃO

O dióxido de titânio (TiO_2), amplamente empregado em alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos, apresenta riscos toxicológicos relevantes quando utilizado em sua forma nanoestruturada. Embora a absorção oral e percutânea seja geralmente baixa, estudos demonstram que nanopartículas podem atravessar barreiras biológicas, acumular-se em órgãos como fígado e cérebro e desencadear estresse oxidativo, inflamação e danos genéticos. A toxicidade está relacionada ao tamanho das partículas, estrutura cristalina e contexto de exposição, como presença de luz UV ou uso crônico. A reavaliação de sua segurança por agências reguladoras, incluindo a proibição do aditivo E171 na União Europeia, reforça a necessidade de abordagens preventivas. Assim, é essencial que o uso de TiO_2 em produtos de consumo seja continuamente monitorado, e que novas pesquisas em modelos humanos sejam incentivadas, visando estabelecer limites seguros de exposição e garantir a proteção à saúde pública.

REFERÊNCIAS

- Cao, x. Et al. Evaluation of the cytotoxic and cellular proteome impacts of food-grade tio₂ (e171) using simulated gastrointestinal digestions and a tri-culture small intestinal epithelial model. *Nanoimpact*, v. 17, p. 100202, 2020. Doi: 10.1016/j.impact.2019.100202.
- Cho, w.s. et al. Comparative absorption, distribution, and excretion of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles after repeated oral administration. *Part fibre toxicol.*, v. 10, p. 9, 2013. Doi: 10.1186/1743-8977-10-9.
- Commission of the codex alimentarius. Report of the 51st session of the codex committee on food additives. *Codex alimentarius*, genebra, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>.
- Commission regulation (eu) no 231/2012 of 9 march 2012 laying down specifications for food additives listed in annexes ii and iii to regulation (ec) no 1333/2008 of the european parliament and of the council (text with eea relevance). Disponível em: <https://publications.europa.eu/s/etmb>.
- Deloid, g.m. et al. An integrated methodology for assessing the impact of food matrix and gastrointestinal effects on the biokinetics and cellular toxicity of ingested engineered nanomaterials. *Particle and fibre toxicology*, v. 1–17, 2017. Doi: 10.1186/s12989-017-0221-5.
- Efsa. Efsa statement on the review of the risk related to the exposure to the food additive titanium dioxide (e171) performed by the french agency for food, environment and occupational health and safety (anses). Efsa, parma, itália, 2019.
- Efsa. Safety assessment of titanium dioxide (e171) as a food additive. *Efsa journal*, v. 19, n. 3, p. 6585, 2021. Disponível em: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6585>.
- Fda. Titanium dioxide in food and cosmetics. U.s. food and drug administration, washington, d.c., 2024. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/titanium-dioxide>.
- Health canada. Safety of titanium dioxide as a food additive. Health canada, ottawa, 2024. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/titanium-dioxide-food-additive>.
- Janer, g. Et al. Cell uptake and oral absorption of titanium dioxide nanoparticles. *Toxicol. Lett.*, v. 228, p. 103–110, 2014. Doi: 10.1016/j.toxlet.2014.04.014.
- Jovanović, b. Critical review of public health regulations of titanium dioxide, a human food additive. *Integrated environmental assessment and management*, v. 11, n. 1, p. 10–20, 2015. Doi: 10.1002/ieam.1571.

Mcclements, d.j. et al. The role of the food matrix and gastrointestinal tract in the assessment of biological properties of ingested engineered nanomaterials (ienms): state of the science and knowledge gaps. *Nanoimpact*, v. 3–4, p. 47–57, 2016. Doi: 10.1016/j.impact.2016.10.002.

Musial, j. Et al. Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products—what do we know about their safety? *Nanomaterials*, v. 10, p. 1110, 2020. Doi: 10.3390/nano10061110.

Ong, c. Et al. *Drosophila melanogaster* as a model organism to study nanotoxicity. *Nanotoxicology*, v. 9, n. 3, p. 396–403, 2015. Doi: 10.3109/17435390.2014.940405.

Peters, r.j. et al. Characterization of titanium dioxide nanoparticles in food products: analytical methods to define nanoparticles. *J. Agric. Food chem.*, v. 62, p. 6285–6293, 2014. Doi: 10.1021/jf5011885.

Song, b. Et al. A review on potential neurotoxicity of titanium dioxide nanoparticles. *Nanoscale res lett.*, v. 10, n. 1, p. 1042, 2015. Doi: 10.1186/s11671-015-1042-9.

Wang, j. Et al. Biological effect of intranasally instilled titanium dioxide nanoparticles on female mice. *Nano*, v. 3, n. 4, p. 279–285, 2008. Doi: 10.1142/s1793292008001325.

Winkler, h.c. et al. Critical review of the safety assessment of titanium dioxide additives in food. *J. Nanobiotechnol.*, v. 16, p. 1–19, 2018. Doi: 10.1186/s12951-018-0376-8.

Xiao, h. Et al. Effects of ingested food-grade titanium dioxide, silicon dioxide, iron (iii) oxide, and zinc oxide nanoparticles on an in vitro model of intestinal epithelium: comparison between monoculture vs. A mucus-secreting coculture model. *Nanoimpact*, v. 17, p. 100209, 2020. Doi: 10.1016/j.impact.2020.100209.

Zhao, y. Et al. Rutile tio2 particles exert size and surface coating dependent retention and lesions on the murine brain. *Toxicol lett.*, v. 207, p. 73–81, 2011. Doi: 10.1016/j.toxlet.2011.08.001.

Zhu, h. Et al. Chronic exposure to titanium dioxide nanoparticles induces deficits of locomotor behavior by disrupting the development of nmj in drosophila. *Sci total environ.*, v. 888, p. 164076, 2023. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164076.

Li, s. Et al. Titanate nanotubes at non-cytotoxic concentrations affect no signaling pathway in human umbilical vein endothelial cells. *Toxicology in vitro*, 2020. Disponível em: https://consensus.app/papers/titanate-nanotubes-at-noncytotoxic-concentrations-li-liu/ed3e920c0d8b580d94d75867fac24876/?utm_source=chatgpt. Acesso em: 29 abr. 2025.

Baati, t. Et al. Assessment of pharmacokinetics, toxicity, and biodistribution of a high dose of titanate nanotubes following intravenous injection in mice. *Acs omega*, 2021. Disponível em: https://consensus.app/papers/assessment-of-pharmacokinetics-toxicity-and-baati-njim/e9a5a534d51e5adea371f9928d03efce/?utm_source=chatgpt. Acesso em: 29 abr. 2025.

Dervin, s. Et al. In vitro pulmonary toxicity of thermally processed titania nanotubes. *Journal of nanoparticle research*, 2020. Disponível em: https://consensus.app/papers/in-vitro-pulmonary-toxicity-of-thermally-processed-dervin-panaitescu/79463b2395ac54c28ab3c2b835e4a96e/?utm_source=chatgpt. Acesso em: 29 abr. 2025.

Palmer, b. C.; delouise, l. A. Morphology-dependent titanium dioxide nanoparticle toxicity in keratinocytes and a mouse allergic contact dermatitis model. *Toxicology in vitro*, 2020. Disponível em: https://consensus.app/papers/morphologydependent-titanium-dioxide-palmer-delouise/3def59d7f7db5f758a36ab474e8c6f85/?utm_source=chatgpt. Acesso em: 29 abr. 2025.

Utgikar, v. P. Et al. Titanium dioxide and its effect on human health and the environment. 2022. Disponível em: https://consensus.app/papers/titanium-dioxide-and-its-effect-on-human-health-and-utgikar-kadam/831a10033f545888a2e549ede40681c0/?utm_source=chatgpt. Acesso em: 29 abr. 2025.

Ollengo, j. N.; nthiga, j. Isolation, characterization and quantitation of titanium dioxide particles in commercial cosmetics. 2021. Disponível em: https://consensus.app/papers/isolation-characterization-and-quantitation-of-ollengo-nthiga/ebbf9d43867f5caaac6a6023e06af457/?utm_source=chatgpt. Acesso em: 29 abr. 2025.

Liang, y. Et al. Antagonistic skin toxicity of co-exposure to physical sunscreens: titanium dioxide and zinc oxide. 2022. Disponível em: https://consensus.app/papers/antagonistic-skin-toxicity-of-coexposure-to-physical-liang-simaiti/bb6c9b8a4fe454c3b7d86267832fc9b7/?utm_source=chatgpt. Acesso em: 29 abr. 2025.

Liskova, a. Et al. Evaluation of phototoxic and cytotoxic potential of tio₂ particles used in sunscreens on a reconstructed human skin model. 2020. Disponível em: https://consensus.app/papers/evaluation-of-phototoxic-and-cytotoxic-potential-of-tio2-liskova-letašiová/201654465ee35e18bcac4ea801245b94/?utm_source=chatgpt. Acesso em: 29 abr. 2025.

CAPÍTULO 3

CORANTES TÊXTEIS SINTÉTICOS: TOXICIDADE, IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS DE BIORREMEDIAÇÃO

DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_03

Sarah de Oliveira Vicente

Programa de Pós-Graduação em Bioquímica
Universidade Estadual de Maringá- Maringá
oliveira.sarah09@outlook.com

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

Doutoranda no Programa de Ciências da Saúde
Universidade Estadual de Maringá
veridiana.1988@alunos.utfpr.edu.br

Lyriel de Oliveira Santos

Programa de Pós-Graduação em Biociências e Fisiopatologia
Universidade Estadual de Maringá
lyrieoliveira96@gmail.com

Joana Gomes Vieira

Mestranda em ciências da saúde
Universidade Estadual de Maringá
joanagv19@gmail.com

RESUMO

Os corantes têxteis têm sido usados pela humanidade desde a antiguidade para trazer cores vibrantes aos tecidos, torná-los mais bonitos, trazer a identidade cultural dos povos e este processo era feito naturalmente por meio do uso de flores, insetos e vegetais. O tingimento natural é uma técnica milenar que tem registros datados de 2600 a.C., na China. Porém com o avanço da indústria, foi crescendo a necessidade de processos mais rápidos e com isso os corantes naturais foram perdendo seu espaço e os corantes sintéticos se fizeram presentes, resultando em um problema ambiental crescente, a poluição por chumbo (Pb), cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), níquel (Ni) contidos nos corantes artificiais. Esses metais são tóxicos, contaminam corpos hídricos e por conta de sua estrutura molecular a sua degradação se torna difícil, pois existe a

possibilidade de tornar o resíduo deste processo ainda mais tóxico. As indústrias negligenciam o tratamento dos efluentes gerados ou empregam o tratamento físico-químico que também pode ser um problema ambiental, mas uma alternativa que vem tomando espaço para resolver esse problema é a biorremediação, utilizando plantas e microrganismos para mitigar os efeitos causados pela contaminação destes corantes no ambiente. Neste capítulo além de discorrer sobre os corantes, sua estrutura, consequências de seu descarte incorreto, serão apresentadas alternativas para solucionar esse problema e perspectivas futuras no assunto.

Introdução

Com o avanço da sociedade, foram surgindo várias necessidades importantes para o desenvolvimento do ser humano, o domínio da agricultura e domesticação de animais, abrigo e proteção, defesa contra predadores, adaptação ao ambiente e também inovação. A inovação acompanha o ser humano ao longo da sua evolução, graças a ela foi possível garantir a sobrevivência nos mais diversos cenários e situações humanas, criando ferramentas e métodos para que pudéssemos nos adaptar da melhor forma. Uma das inovações que acompanha os humanos desde os primórdios são os tecidos. Embora simples, eles são peças fundamentais de sobrevivência, expressão cultural, higiene e saúde. O tecido é um material composto por fios de fibras naturais ou sintéticas e obtido a partir do processo conhecido por tecelagem¹. As primeiras matérias primas usadas eram de origem natural, sendo as mais importantes o linho, a lã, a seda e o algodão². A manipulação dos tecidos foi avançando e criou-se a indústria têxtil, essencial desde a antiguidade até os dias atuais.

Através da revolução industrial do século XVIII houve inovação na produção de tecidos de algodão com a criação do tear mecânico e da máquina de fiar, com o avanço desta indústria, criaram-se diversas técnicas para a confecção dos tecidos e também para tingi-los. Mas o tingimento de tecidos acompanha a humanidade há milênios, o primeiro indício foi na era paleolítica, contudo, essas técnicas foram aprimoradas por outras sociedades, como egípcios, gregos e romanos. Porém foi ressignificada na revolução industrial³. O tingimento dos tecidos traz cores vibrantes, marcantes e os torna mais interessantes e bonitos, porém pela necessidade de processos cada vez mais rápidos, graças ao desenvolvimento acelerado da indústria, urbanização e crescimento da população, o uso de corantes naturais foi deixado de lado e os corantes sintéticos tomaram o lugar. Para a indústria isso significou um grande avanço no processo de produção, pois estes corantes apresentam uma maior resistência, não desbota rápido, ficam uniformes e são mais baratos, porém devido ao descarte indevido e também o tratamento indevido, o uso em larga escala de corantes artificiais acabou causando um problema muito sério, a poluição. Os corantes possuem uma estrutura molecular complexa e geralmente contêm chumbo (Pb), cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), níquel (Ni) em sua composição. Por conta disso, o tratamento dos efluentes têxteis é difícil e exige atenção.

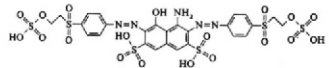
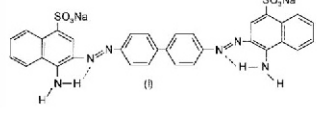
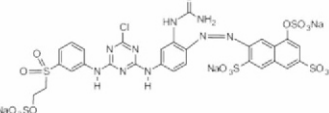
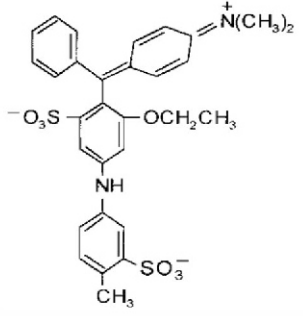
Os métodos de tratamento físico-químicos como adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica, são amplamente utilizados nas indústrias, mas por conta dos corantes serem altamente solúveis em água e pouco biodegradáveis, estes métodos não apresentam resultados tão satisfatórios, além de serem caros. Há uma crescente preocupação sobre isso pois quando os corantes vão para os corpos hídricos, alteram o ecossistema ali encontrado. Eles podem dificultar

a penetração dos raios solares, fazendo o metabolismo fotossintético de algumas espécies ser prejudicado, dessa forma a biodiversidade fica comprometida, uma vez que a interação entre as espécies muda, além dessas substâncias serem recalcitrantes, ou seja, não são degradadas. E eles também podem contaminar o solo ao redor dos corpos d'água onde são despejados. O problema também afeta os humanos e animais, já que estes compostos podem ser bioacumulados. Portanto é necessário atenção à toxicidade dos corantes têxteis, seu tratamento correto e como mitigá-la de forma responsável e limpa.

Tipos de corantes

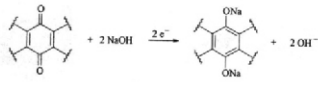
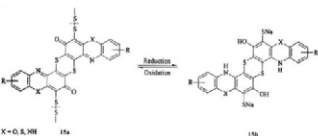
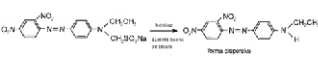
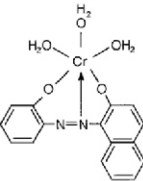
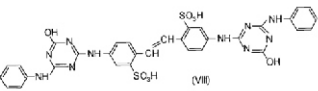
Anualmente, por volta de 7×10^7 toneladas de corantes sintéticos são produzidos mundialmente, com mais de 10.000 toneladas desses corantes sendo usados por indústrias têxteis⁴. Dos 10.000 compostos químicos coloridos produzidos em escala industrial, estimam-se que atualmente 2.000 tipos de corantes estão disponíveis para a indústria têxtil⁵. Estes corantes utilizados podem ser classificados de acordo com sua estrutura química (antraquinona, azo, ácidos, reativos, dispersos, entre outros) ou de acordo com o método pelo qual ele é fixado à fibra têxtil⁶. Abaixo estão agrupados na Tabela 1 os principais tipos de corantes empregados no tingimento de tecidos.

Tabela 1: Exemplos de corantes usados na indústria têxtil.

Tipo de corante	Solubilidade em água	Mecanismo de ação	Exemplo estrutural
Reativos	Alta	Forma ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras proteicas e também com grupos amino das poliamidas.	
Diretos	Sim	Tinge as fibras por meio de interações de Van der Waals.	
Azoicos	Não	São sintetizados na fibra durante o processo de tingimento.	
Ácidos	Sim	Se ligam à fibra através de troca iônica envolvendo o par de elétrons livres dos grupos amino e carboxilato das fibras proteicas, na forma não-protonada.	

Continua

Continuação

Tipo de corante	Solubilidade em água	Mecanismo de ação	Exemplo estrutural
À Cuba	Não, mas se tornam	São aplicados e no processo são reduzidos com ditionito de sódio em solução alcalina, se tornando solúvel e assim, através da oxidação, regenera-se na forma original na fibra.	
De enxofre	Não, mas se tornam	Semelhante aos corantes à Cuba, são aplicados após pré-redução em banho de ditionito de sódio, conferindo a forma solúvel e são reoxidados subsequentemente sobre a fibra pelo contato com ar.	
Dispersivos	Não	São aplicados em fibras hidrofóbicas por suspensão, sofre hidrólise e a forma insolúvel é precipitada sobre acetato de celulose. É necessário o uso de dispersantes de cadeia longa.	
Pré-metalizados	Sim	O metal interage com agrupamentos funcionais portadores de pares de elétrons, como os presentes nas fibras proteicas, formando complexos e fixando-se na fibra.	
Branqueadores	Sim	Podem ser alvejantes químicos, branqueadores ópticos ou fluorescentes, oxidando a fibra têxtil.	

Fonte: Autores, adaptado de GUARATINI e ZANONI, 2000.

A escolha do corante a ser usado no tingimento depende tanto da sua natureza, quanto das características do tecido a ser tingido. Mas claro que antes da escolha, é necessária a fabricação destes corantes, geralmente derivados de petróleo, e a presença de metais pesados como mercúrio, cromo, cádmio, chumbo e arsênio é necessária para a produção dos pigmentos e corantes têxteis⁸, a Tabela 2 traz dados da quantidade destes metais nos corantes. Estes metais são os principais responsáveis pela toxicidade dos corantes, causando diversos problemas ambientais e também de saúde.

Estima-se que aproximadamente 20% dos materiais utilizados no tingimento de fibras têxteis não são fixados e acabam sendo descartados nos efluentes industriais, resultando em águas residuais visivelmente contaminadas⁹. Além de que aproximadamente 1.84 bilhões de toneladas de lodos provenientes dessa indústria são descartados sem nenhum tipo de tratamento, a cada ano¹⁰.

Tabela 2: Concentração dos metais pesados em diferentes corantes.

Metal pesado	Concentração típica em ppm	Tipo de corante com a maior quantidade do metal
Arsênio	<1-1,4	Corantes reativos
Cádmio	<1	Todos
Cromo	3-83	Corantes a cuba
Cobalto	<1-3,2	Corantes ácidos
Cobre	33-110	Corantes a cuba
Chumbo	6-52	Corantes reativos
Mercúrio	0,5-1	Corantes a cuba
Zinco	3-32	Corantes básicos

Fonte: Adaptado de VELUSAMY, et al., 2021.

Toxicidade dos corantes

Como explicado brevemente no tópico anterior, a toxicidade dos corantes se dá principalmente pelos metais pesados usados na sua produção, além de compostos aromáticos de difícil degradação e outras substâncias. Esse fato é o problema central no uso indiscriminado de corantes sintéticos em larga escala, pois a indústria têxtil é a maior poluidora do mundo. Aproximadamente 54% de todos os descartes de corantes sintéticos produzidos são da indústria têxtil¹¹ trazendo consequências ao meio ambiente e à saúde humana. Os efluentes contêm aproximadamente 10-45% de corantes têxteis¹² e o tratamento físico-químico ineficiente faz com que o efluente resultante do processo de confecção e tingimento dos tecidos contamine corpos d'água, com isso os ecossistemas aquáticos são comprometidos, pois alteram a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos dissolvidos totais (SDT) e fósforo total (TFP)¹³, além de afetar a qualidade da água potável e contaminar solos. Essas substâncias conseguem se acumular nas plantas e também nos animais que as comem, causando uma cadeia de bioacumulação.

Estes compostos presentes nos tecidos que entram em contato com a pele podem ser absorvidos dependendo do modo e tempo de exposição, causando irritação, sensibilização de vias respiratórias, cardiopatias, desregulação endócrina, entre outros sintomas. Muitos corantes, como os azo solúveis em água, conseguem ser metabolizados na microflora intestinal e excretados. Já os corantes insolúveis em água podem ser metabolizados no fígado, formando conjugados solúveis que podem ser transportados para o intestino e sujeitos a reduções por bactérias da flora normal, mas estes corantes e seus intermediários apresentam riscos crônicos, carregando potencial carcinogênico e mutagênico¹⁴, pois estes compostos quando biotransformados produzem aminas, benzidinas e outros intermediários que apresentam potencial carcinogênico. Outro ponto importantíssimo é que os

trabalhadores que manipulam os corantes correm o risco de desenvolver dermatites, problemas respiratórios, conjuntivite, entre outros. Ou seja, o uso destes corantes traz riscos em todas as etapas e a todos que entram em contato com eles de forma direta ou indireta. A Tabela 3 traz os efeitos colaterais da exposição a estes metais pesados utilizados nos corantes.

Tabela 3: Efeitos colaterais da exposição a metais pesados.

Íon do metal pesado	Efeitos colaterais na saúde humana
Zn ²⁺	Náusea, febre, diarreia, dores estomacais, vômito.
Cd ²⁺	Problemas ósseos, danos ao sistema respiratório, carcinogenicidade, diversos cânceres, anemia crônica, falência renal, estomacal, hepática e do sistema hematopoiético.
Pb ²⁺	Carcinogenicidade, retardo mental, defeitos de nascença como paralisia, autismo, dislexia, alergias, problemas cerebrais, renal, diminuição da contagem de espermatozoides em homens, dano cerebral, aborto em mulheres, doenças gastrointestinais.
Hg ⁺	Toxicidade gastrointestinal, dano cerebral, renal e hepático e neurotoxicidade.
Cr ⁶⁺	Carcinogenicidade, dano hepático e câncer do trato respiratório e estômago.
As ³⁺	Diabetes, falência hepática e renal, dano neural, câncer, problemas cardiovasculares, aborto espontâneo e problemas respiratórios.
Fe ²⁺	Vômito, diarreia, dor abdominal, desidratação, letargia.
Co ²⁺	Problemas hematológicos, cardiovasculares, hepáticos e endócrinos.
Al ³⁺	Atrofia neuronal no cérebro, substância negra e núcleo canelado.
Cu ²⁺	Desordens abdominais, anormalidades da atividade metabólica.

Fonte: Adaptado de ISLAM, Tarekul et al., 2023.

A Organização Mundial da Saúde e a Agência de Proteção do Meio Ambiente estabeleceram um limite permitido de descarte de metais pesados para poder controlar a poluição ambiental, para cádmio (Cd) é de 0,01 mg/L, cromo (Cr) é de 0,05 mg/L, chumbo (Pb) é de 6×10^{-3} mg/L¹¹. Mas a fiscalização é fraca e falha, fazendo com que esse problema se torne cada vez maior.

Alternativas para mitigar a poluição por corantes têxteis

Já existem diversos estudos visando solucionar este grande problema da poluição causada por corantes, como o uso da micorremediação, uma vertente da biorremediação que utiliza fungos. Esta abordagem é muito estudada pois os fungos possuem uma adaptabilidade alta aos mais diversos ambientes e condições, conferindo maior resistência em ambientes contaminados. Os fungos têm um papel muito importante na biorremediação de uma variedade de contaminantes como POPs (Poluentes Orgânicos Persistentes), corantes têxteis, hidrocarbonetos de petróleo, efluentes de indústria de celulose e papel, pesticidas, entre outros. As enzimas produzidas pelos fungos confere a eles grande vantagem, eles conseguem produzir enzimas poderosas que degradam parcialmente ou ainda completamente, diversos poluentes resistentes à degradação, além de apresentarem baixa especificidade a substratos. Essa degradação é uma forma dos fungos se alimentarem e crescerem, assim eles conseguem realizar a transformação desses materiais orgânicos complexos em água e CO₂ (dióxido de carbono)¹⁵. As principais enzimas responsáveis pela degradação eficiente de diversos compostos são as enzimas extracelulares lignina-peroxidase, manganês peroxidase e lacase, que são enzimas lignolíticas, degradam a lignina, que possui uma estrutura complexa. Além de que as aplicações com fungos tem baixo custo e são promissoras já que eles são organismos que crescem rapidamente e são fáceis de cultivar¹⁶.

A alta tolerância e capacidade de remediação de fungos filamentosos a metais pesados como cádmio, cobre e níquel (mais de 1500 mg/L) presume significância para a biorremediação destes metais de solos contaminados e efluentes¹⁷. Porém como não pode-se descartar a possibilidade de a biodegradação gerar produtos indesejáveis, é necessário que seja feita uma bioprospecção para identificar qual será o melhor fungo para poder fazer o tratamento desejado no corante.

Os estudos com bactérias, são mais robustos e em maior número, pois elas são os organismos mais utilizados para a finalidade de degradação de corantes. As técnicas e condições já estão estabelecidas e elas também são organismos versáteis e podem se adaptar à condição aplicada para tratar os efluentes de corantes¹⁸. Existem estudos que mostram que a degradação de corantes com bactérias conseguiram atingir 79,8 e 100% de eficiência¹⁸.

Há também estudos com plantas, elas conseguem reparar os locais contaminados por resíduos tóxicos e esses processos incluiriam: modificação das propriedades físicas e químicas do contaminante no solo e liberação de exsudados pelas raízes¹⁹. Os mecanismos da fitorremediação para metais pesados estão fundamentados na solubilização do elemento, que pode ser auxiliada por agentes quelantes ou microrganismos²⁰. Por enquanto, ainda são necessários mais estudos sobre a fitorremediação, uma vez que ela necessita adaptar-se às diversas condições as quais a biorremediação é feita.

Conclusão

Diante do apresentado, os corantes têxteis são um grande problema desde a sua produção, até ser fixado ao tecido e seus efluentes também. A crescente poluição causada por eles traz à tona a necessidade de mecanismos para controlar e mitigar os impactos ambientais e de saúde causados aos trabalhadores que os fazem e também os consumidores dos tecidos tingidos.

Há uma perspectiva esperançosa através das alternativas de biorremediação, elas se mostram efetivas e apresentam baixo custo geral, além de em muitos casos, ser possível a biodegradação total dos compostos. É necessário que haja interesse da indústria nessas alternativas e que a fiscalização sobre o tratamento de efluentes têxteis seja mais firme e maior, garantindo o seu cumprimento e diminuindo a poluição causada.

REFERÊNCIAS

- 1- LEAL, Caroline Pinho. Estudo e análise de fragmentos têxteis relacionados a tecidos aplicados como suporte em pinturas de cavalete. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Conservação e Restauração)-Escola de Belas Artes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.
- 2- COSTA, Shirley; BERMAN, Debora; HABIB, Roseane Luz. 150 anos da indústria têxtil brasileira. Rio de Janeiro: Senai-Cetiqt/Texto&Arte, 2000.
- 3- PEZZOLO, Dinah Bueno. Tecidos: história, tramas, tipos e usos. Editora Senac São Paulo, 2021.
- 4- CHANDANSHIVE, Vishal et al. In situ textile wastewater treatment in high rate transpiration system furrows planted with aquatic macrophytes and floating phytobeds. *Chemosphere*, v. 252, p. 126513, 2020.
- 5- ZOLLINGER, H. Color Chemistry, 2nd edn. VCH Verlagsgesellschaft. 1991.
- 6- ALCÂNTARA, Maria Regina; DALTIM, Décio. A química do processamento têxtil. *Química nova*, v. 19, n. 3, p. 320-330, 1996.
- 7- GUARATINI, Cláudia CI; ZANONI, Maria Valnice B. Corantes têxteis. *Química nova*, v. 23, p. 71-78, 2000.
- 8- SINGHA, Kunal et al. Harmful environmental effects for textile chemical dyeing practice. In: *Green chemistry for sustainable textiles*. Woodhead Publishing, 2021. p. 153-164.
- 9- JÚNIOR, Wanison André Gil Pessoa; DE AZEVEDO, Flávia Regina Porto. CORANTES SINTÉTICOS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS: DESAFIOS, LEGISLAÇÃO E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS SUSTENTÁVEIS. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 10, n. 12, p. 3972-3991, 2024.
- 10- RENDÓN-CASTRILLÓN, Leidy et al. Treatment of water from the textile industry contaminated with indigo dye: A hybrid approach combining bioremediation and nanofiltration for sustainable reuse. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, v. 8, p. 100498, 2023.
- 11- VELUSAMY, Sasireka et al. A review on heavy metal ions and containing dyes removal through graphene oxide-based adsorption strategies for textile wastewater treatment. *The Chemical Record*, v. 21, n. 7, p. 1570-1610, 2021.

- 12- ISLAM, Tarekul et al. Impact of textile dyes on health and ecosystem: a review of structure, causes, and potential solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 4, p. 9207-9242, 2023.
- 13- RAMOS, Márcio Daniel Nicodemos et al. A critical analysis of the alternative treatments applied to effluents from Brazilian textile industries. *Journal of Water Process Engineering*, v. 43, p. 102273, 2021.
- 14- CLARKE, E. A e STEINLE, D. *Journal. Soc. Dyes Colour*, v. 25, p. 5, 1995.
- 15- VICENTE, S. O. Biorremediação com fungos- um tratamento natural para poluição. In: CASTOLDI, Rafael. *Conversando sobre meio ambiente e saúde: uma abordagem popular volume II*. Canoas, RS: Merida Publishers, 2024. p.54-68.
- 16- DEVECI, Ece Ümmü et al. Degradation of recalcitrant textile dyes by coupling fungal and photocatalytic membrane reactors. *CLEAN–Soil, Air, Water*, v. 44, n. 10, p. 1345-1351, 2016.
- 17- AKHTAR, Shazia et al. Metal tolerance potential of filamentous fungi isolated from soils irrigated with untreated municipal effluent. *Soil Environ*, v. 32, n. 1, p. 55-62, 2013.
- 18- PINHEIRO, Lucas Rafael Santana et al. Degradation of azo dyes: bacterial potential for bioremediation. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1510, 2022.
- 19- CHANG, Yoon-Young; CORAPCIOGLU, M. Yavuz. Plant-enhanced subsurface bioremediation of nonvolatile hydrocarbons. *Journal of Environmental Engineering*, v. 124, n. 2, p. 162-169, 1998.
- 20- VASCONCELLOS, Maria Cristina; PAGLIUSO, Débora; SOTOMAIOR, Vanessa Santos. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. *Estudos de Biologia*, v. 34, n. 83, 2012.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DE CORANTES ARTIFICIAIS: ENTENDA OS IMPACTOS DESSES ADITIVOS NA SAÚDE

DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_04

Natallya Marques da Silva

Doutoranda em Ciências de Alimentos PPC – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

Doutoranda em Ciências da Saúde – PCS – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Rita de Cássia Dutra

Graduada em Farmácia - Instituição Centro Universitário Ingá- Uningá

Kéthlyn Duarte Costa

Mestranda no Programa de pós graduação em engenharia de alimentos- PEG
UEM(Universidade Estadual de Maringá)

Carmem Torres Guedes

Doutoranda em Ciências de Alimentos PPC – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Sarah de Oliveira Vicente

Mestranda em Bioquímica – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Simone Maria Altoé Porto

Doutoranda em Ciências de Alimentos PPC – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Jéssica de Souza Alves Friedrichsen

Pós Graduação em Sustentabilidade – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

RESUMO

Este estudo investigou os potenciais riscos associados ao consumo de corantes sintéticos, com ênfase nos impactos neurocomportamentais observados em crianças. A análise revelou que esses aditivos, amplamente utilizados na indústria alimentícia, podem contribuir para alterações no comportamento, além de desencadear efeitos adversos. A presença constante desses compostos em alimentos direcionados ao público infantil levanta preocupações quanto à sua influência no desenvolvimento neurológico e na saúde global das crianças. O estudo destaca, assim, a importância de uma postura preventiva e mais crítica por parte de pais, profissionais de saúde e órgãos reguladores, incentivando escolhas alimentares mais naturais e seguras, além de maior controle e transparência na utilização desses aditivos e uma política mais incisiva para diminuição desses aditivos na alimentação.

INTRODUÇÃO

A utilização de corantes artificiais em alimentos é uma prática comum adotada pela indústria alimentícia com o objetivo de tornar os produtos mais atrativos ao consumidor. Esses aditivos são amplamente utilizados em confeitados, bebidas, cereais, produtos lácteos e alimentos ultraprocessados, conferindo colorações vibrantes e uniformes. Entretanto, nas últimas décadas, cresceu a preocupação sobre os possíveis efeitos adversos à saúde relacionados ao consumo contínuo dessas substâncias, especialmente entre crianças e populações mais vulneráveis (Ambroziewicz et al., 2024).

Com o tempo, os corantes alimentares sintéticos passaram a ser preferidos em relação aos naturais, principalmente por oferecerem vantagens como aparência mais atraente, maior intensidade e estabilidade da cor, além de uniformidade entre os lotes. Do ponto de vista comercial, os corantes sintéticos se destacam também por sua resistência a variações de luz e pH, o que os torna mais duráveis e previsíveis no processamento industrial (Zahran, S., Eltalawy, M., & Sheikh, N., 2024).

Contudo, evidências recentes apontam que alguns corantes sintéticos podem estar relacionados a efeitos adversos de ordem neurocomportamental, hepática, alérgica e até potencialmente carcinogênica. Dentre os aditivos mais frequentemente associados a esses riscos destacam-se a Tartrazina (E102), o Azul Brilhante (E133) e o Vermelho Allura (E129). (Sharma et al., 2023).

A legislação vigente, tanto no Brasil quanto em outros países, como EUA e União Europeia, define limites de ingestão diária aceitáveis (ADI) para esses aditivos, mas a ocorrência de exposição cumulativa e o uso em excesso em produtos levanta questionamentos sobre a segurança efetiva dessas substâncias (Amchova et al., 2024).

A toxicidade dos aditivos alimentares é amplamente investigada e continua sendo motivo de preocupação entre consumidores em diversas partes do mundo. Corantes alimentares sintéticos, em especial, são frequentemente vistos como um risco evitável à saúde. Desde a reavaliação conduzida pela Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA) entre 2009 e 2014, o número de estudos científicos sobre esses compostos aumentou significativamente. Novas análises vêm sendo conduzidas e publicadas por órgãos internacionais como o Comitê Conjunto de Especialistas em Aditivos Alimentares da FAO/OMS (JECFA) (Amchova et al., 2024).

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma avaliação toxicológica dos corantes artificiais, abordando os principais efeitos adversos à saúde humana, com base nas evidências mais recentes da literatura científica. Serão discutidos os efeitos sobre órgãos-alvo como o sistema nervoso central. Além disso, serão analisadas as implicações para crianças, a comparação com corantes naturais e as perspectivas regulatórias e tecnológicas para o futuro da indústria alimentícia.

Classificação dos corantes artificiais

Os corantes são classificados em três categorias, eles são, os solúveis em água, solúveis em gordura (lakes) e azo-compostos. Entre os mais comuns estão Tartrazina (E102), Allura Red AC (E129), Ponceau 4R (E124), Sunset Yellow (E110) e Azul

Brilhante FCF (E133). Na tabela 1 os principais corantes sintéticos liberados. Seis dos onze corantes utilizados no Brasil pertencem à classe azo.

Tabela 1: Classificações dos corantes artificiais permitidos no Brasil

Corante	INS	Nome comum	Inglês	CI
1. Azul	133	Azul brilhante FCF, Laca de A	Food Blue2 Acid Blue 9	42090
2. Amarelo	104	Amarelo de quinoleína	Food Yellow 13	47005
3. Amarelo	110	Amarelo Ocaso FCF, Amarelo Sunset Amarelocrepúsculo, Laca de A1	Food Yellow 3	15985
4. Vermelho	122	Azorrubina	Food Red 3	14720
5. Azul	131	Azul patente V, Laca de A1	Food Blue 5 Acid Blue 3	42051
6. Vermelho	127	Eritrosina, Laca de A1	Food Red 14 Acid Red 18	45430
7. Amarelo	102	Tartrazina, Laca de A	Food Yellow 4 Acid Yellow 23	19140
8. Vermelho	124	Ponceau4R, Laca de A1	Food Red 7	16255
9. Vermelho	128	Vermelho 2G	Food Red 10	18050
10. Vermelho	129	Vermelho 40, Vermelho allura AC Laca de A1	Food Red 17	16035
11. Preto	151	Negro brilhante PN	Food black 1	28440

Fonte: dos Autores (2025).

Eles são sintetizados quimicamente para oferecer alta estabilidade e baixo custo, sendo preferidos pela indústria alimentícia para manter a aparência dos produtos durante o processamento e armazenamento (Hristova, M, 2024). Não possuem funções nutricionais, são adicionados para restaurar cores perdidas no processamento, padronizar a coloração de lotes e melhorar o apelo visual de alimentos como doces, bebidas, cereais e sobremesas. Sua aplicação é estratégica para influenciar a percepção de sabor e qualidade pelo consumidor (Koev & Hristova, 2024).

Muitos corantes sintéticos pertencem à classe dos azos, que contém ligações azo (-N=N-) ligadas a grupos aromáticos. Essa estrutura química tem sido relacionada a possíveis efeitos adversos como alergias, hiperatividade e até efeitos carcinogênicos. Embora estudos regulatórios digam que o uso dentro dos limites é seguro, há crescente pressão social e científica para substituí-los por alternativas naturais com menor risco à saúde (Vega et al., 2023).

Corantes artificiais se destacam por sua durabilidade, resistência ao calor e intensidade de cor, enquanto os naturais têm baixa estabilidade à luz e variações de pH, o que limita sua aplicação industrial. Sendo o mais interessante para as indústrias.

Apesar disso, consumidores vêm exigindo rótulos mais limpos e seguros, o que tem impulsionado pesquisas sobre estabilização de pigmentos naturais como antocianinas, curcumina e betalaínas, que também oferecem propriedades antioxidantes e funcionais à saúde. (Samanta et al., 2024). Sua ocorrência não é natural, devido a estruturas químicas, mas têm a vantagem de prevalecer na forma de pós, pastas ou granulados, e são solúveis em água (Silva et al., 2022).

No entanto, neste contexto, a cor é também um dos atributos mais impressionantes dos gêneros alimentícios, que determina diretamente a preferência, seleção e desejos alimentares dos consumidores. Ainda assim, a utilização de aditivos corantes em alimentos é confrontada com debate. Em escala global, o uso de corantes em alimentos tem enfrentado desafios de discordância, principalmente quando adicionados em altas doses além das recomendadas (Silva et al., 2022).

Efeitos Toxicológicos no sistema nervoso

Os corantes alimentares sintéticos têm sido amplamente discutidos devido aos impactos negativos que podem ter nos consumidores, especialmente em crianças, em razão da influência no apelo sensorial e da preferência por certos alimentos. Pesquisas indicam que esses aditivos estão associados a uma série de problemas de saúde, afetando principalmente os mais jovens. Entre os riscos estão o potencial carcinogênico, alergênico, mutagênico, citotóxico e clastogênico, além de questões gastrointestinais e respiratórias. Também há evidências de que esses corantes podem causar alterações comportamentais, tanto em crianças com distúrbios diagnosticados quanto em crianças sem comorbidades. O uso de corantes sintéticos, portanto, continua sendo uma preocupação crescente, considerando seus efeitos adversos (De Oliveira et al., 2024).

Diversos estudos apontam que os corantes artificiais estão fortemente ligados a uma série de condições patológicas, incluindo câncer, alergias alimentares e problemas gastrointestinais e respiratórios. Além disso, há registros de alterações comportamentais em crianças, com especial ênfase no grupo de crianças com Transtorno do Espectro Autista (TEA), que parece ser particularmente afetado por esses efeitos adversos (Petitpierre et al., 2021; Chen et al., 2022).

Uma meta-análise realizada por Miller et al. (2022), na Califórnia, com apoio do Escritório de Avaliação de Riscos à Saúde Ambiental (OEHHA), teve como objetivo investigar a influência dos corantes alimentares em crianças, tanto com quanto sem distúrbios comportamentais. A pesquisa incluiu 27 estudos, incluindo experimentos em animais, que examinaram os efeitos tóxicos desses corantes. Os resultados mostraram que 64% dos estudos indicaram alterações neurocomportamentais em crianças, com 52% apresentando efeitos estatisticamente significativos.

Pesquisas com animais também revelaram que roedores expostos a corantes sintéticos em várias fases de sua vida, desde o período pré-natal até a idade adulta, exibiram alterações comportamentais. Esses achados em modelos animais reforçam os resultados observados em estudos clínicos com humanos, como demonstrado nesta meta-análise por Miller et al. (2022). A consistência entre os dados de experimentos em animais e as pesquisas clínicas destaca a relevância dos corantes alimentares no impacto na saúde comportamental (De Oliveira et al., 2024).

Diversos estudos sugerem que corantes alimentares artificiais podem influenciar negativamente o desenvolvimento do sistema nervoso e o comportamento, especialmente em crianças (Shabnum et al., 2024). O Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) é um exemplo em que o consumo de corantes sintéticos tem sido relacionado à gravidade e frequência dos sintomas (Rambler et al., 2022).

As crianças são particularmente suscetíveis aos efeitos dessas substâncias devido à fase crítica de desenvolvimento cerebral em que se encontram. Durante essa fase, o cérebro é altamente plástico e vulnerável a agentes externos, como exposições químicas, que podem interferir no desenvolvimento normal (Gale, 2004; Senthilvelan et al., 2023).

A neurotoxicidade dos corantes alimentares sintéticos é uma questão complexa, evidenciando a importância de avaliar sua segurança, especialmente devido ao seu uso generalizado em alimentos consumidos com frequência por crianças, que podem ser mais vulneráveis aos efeitos adversos dessas substâncias (Marunganathan e Guru, 2024; Ramamurthy et al., 2024).

Ao longo do tempo, a maioria das investigações sobre corantes alimentares sintéticos concentrou-se na toxicidade aguda e no atendimento às exigências regulatórias. Contudo, muitos desses estudos deixam de abordar os efeitos crônicos e de longo prazo desses aditivos, particularmente no que diz respeito ao desenvolvimento neurológico e à saúde do cérebro. Não obstante, há uma carência significativa de dados na literatura científica sobre os possíveis efeitos herdados entre gerações, o que limita a compreensão mais abrangente dos impactos biológicos desses compostos (Siranjeevi et al., 2024).

Entender os mecanismos que envolvem os efeitos neurotóxicos dos corantes alimentares sintéticos é de suma importância para o desenvolvimento de estratégias que reduzam esses riscos e para embasar decisões regulatórias. No Brasil, a ANVISA é a agência responsável por regulamentar o uso desses aditivos, estabelecendo limites com base na Ingestão Diária Aceitável (IDA). Essa abordagem é semelhante à adotada por outras autoridades internacionais, como a FDA e a EFSA. Através de avaliações toxicológicas que incluem estudos sobre carcinogenicidade, toxicidade reprodutiva e efeitos neurológicos, determina-se a IDA — ou seja, a quantidade máxima do aditivo que pode ser consumida diariamente, ao longo da vida, sem causar danos à saúde (Durazzo et al., 2022).

Pesquisas realizadas com grupos populacionais específicos indicam que os efeitos adversos dos aditivos sintéticos podem configurar um problema de saúde pública, exigindo maior vigilância por parte das autoridades. Essa preocupação é reforçada por estudos como o de Basu et al. que evidenciaram a capacidade do corante Patent Blue V de modificar a estrutura secundária da hemoglobina humana.

Outras pesquisas também relataram diversos efeitos prejudiciais à saúde decorrentes da exposição a corantes artificiais, como atividades citotóxicas, clastogênicas e possíveis efeitos citostáticos (De Oliveira et al., 2024). Na tabela 2 principais problemas neurológicos em crianças devido ao uso de corantes sintéticos.

Tabela 2: principais problemas neurológicos em crianças
devido ao uso de corantes sintéticos.

Diagnóstico	Resultados	Referência
TDAH	Entre os possíveis mecanismos de ação, destacam-se os aditivos alimentares artificiais que podem contribuir para deficiências nutricionais, provocar reações alérgicas e alterar os níveis de neurotransmissores	Miller et al., 202
TDAH	Avanços nas pesquisas têm permitido identificar os mecanismos e alvos moleculares envolvidos nos processos de neurodesenvolvimento relacionados ao Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), bem como a outros sintomas associados ao desenvolvimento neurológico, como alterações na função cognitiva, distúrbios de aprendizagem e déficits de memória. Entre os efeitos observados estão a redução da sinaptogênese e o comprometimento da funcionalidade das redes neurais, além de processos de neuroinflamação e neurodegeneração	Chappell G.A., Britt J.K., Borghoff S.J. 2020
Déficit de atenção	Estudos apontam uma associação entre o consumo de corantes alimentares e o aumento de comportamentos hiperativos em crianças, além de uma possível correlação entre corantes amarelos e distúrbios do sono. Esses efeitos podem estar relacionados a fatores como deficiência de zinco (Zn), acúmulo de mercúrio no organismo e elevação dos níveis de estresse oxidativo	Bakthavachalu et al., 2020.
Déficit de atenção / hiperatividade (TDAH)	O papel da dieta e dos corantes alimentares no transtorno de déficit de atenção / hiperatividade (TDAH)	Nigg et al., 2012
TDAH	Não há um diagnóstico único que vincule diretamente o consumo de corantes azuis ao TDAH. Contudo, a exclusão desses corantes da dieta tem mostrado reduzir os sintomas comportamentais em algumas crianças diagnosticadas com TDAH. Isso sugere que a ingestão de corantes alimentares artificiais, especialmente o Azul nº 1 e Azul nº 2, pode agravar os sintomas do distúrbio	Rambler et al., 2022.
Comportamento	Embora os corantes alimentares artificiais (AFCs) não sejam uma causa principal do TDAH, eles parecem afetar crianças, independentemente de terem ou não o distúrbio, com impacto potencial no comportamento coletivo, como na sala de aula. Mecanismos biológicos sugerem que os AFCs podem influenciar os níveis de nutrientes, a vulnerabilidade genética e as alterações na atividade elétrica cerebral, e a potência da banda beta	Arnold LE, Lofthouse N, Hurtt 2012.

Autores, 2025

Discussão

Dentro dessa categoria, seis dos onze corantes utilizados no Brasil são da classe azo, incluindo Ponceau 4R, Vermelho 40, Azorubina, Tartrazina e Amarelo Crepúsculo. Esses corantes apresentam uma ligação azo ($-N=N-$) e, frequentemente, um grupo sulfonado (SO_3^-), o que aumenta sua solubilidade em água. De caráter ácido, eles possuem propriedades químicas semelhantes e são facilmente reduzidos por agentes redutores fortes, tornando-se pouco sensíveis a agentes oxidantes. Por serem derivados nitrosos (classe azo), como a tartrazina e a carmoisina, esses corantes podem ser reduzidos no organismo a aminas aromáticas, que são compostos com potencial de sensibilização (Amim et al., 2010).

O principal produto de metabolização desses corantes é o ácido sulfanílico. Pesquisas indicam que os corantes da classe azo, como a Tartrazina e a Carmoisina, podem ter efeitos tóxicos significativos no corpo. Esses corantes têm o potencial de modificar marcadores bioquímicos em órgãos essenciais, como o fígado e os rins, não só em doses elevadas, mas também em quantidades menores. Além de causar alterações nos parâmetros hepáticos e renais, esses corantes podem ser mais prejudiciais quando consumidos em maiores concentrações, uma vez que podem gerar estresse oxidativo ao formar radicais livres. Esses radicais livres têm o poder de provocar danos irreversíveis no DNA das células saudáveis, o que pode comprometer o neurodesenvolvimento normal em crianças (Amim et al., 2010).

De acordo com Chappell et al., 2020, a eritrosina pode intensificar os sintomas do TDAH e está ligada a outros problemas, como prejuízos na função cognitiva, dificuldades de aprendizagem e distúrbios de memória. A pesquisa indica que esse corante interfere nas vias neurodesenvolvimentais, resultando em uma diminuição na atividade de neurotransmissores específicos. Essa alteração não se limita ao TDAH, mas também pode levar a comportamentos relacionados à ansiedade em crianças. Os autores atribuem essa mudança comportamental a vários fatores, incluindo a liberação de dopamina, deficiências nutricionais e a liberação de histamina, que são apontados como gatilhos para esses comportamentos. Os dados do programa ToxCast/Tox21 também oferecem suporte a essas preocupações, destacando os riscos tóxicos associados ao corante sintético eritrosina.

A origem do Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) ainda não é totalmente compreendida, mas a predisposição genética é reconhecida como um dos fatores principais para seu desenvolvimento (Jerome; Jerome, 2020). No entanto, há estudos que sugerem que fatores ambientais, como a exposição constante a aditivos alimentares, podem contribuir para a manifestação dos sintomas desse distúrbio. Nesse sentido, a pesquisa realizada por Chappell et al. 2020 analisou o impacto de sete corantes sintéticos aprovados pela Food and Drug Administration (FDA) dos Estados Unidos, utilizados em alimentos, sobre os sintomas do TDAH. Os resultados indicaram que a eritrosina (vermelho nº 3), um dos corantes autorizados pelo FDA, apresentou evidências de interferir no neurodesenvolvimento das crianças.

Alguns resultados laboratoriais selecionados, principalmente em estudos com animais, incluem a inibição da atividade serotoninérgica induzida pela eritrosina em ratos, assim como os efeitos da corticosterona provocados pela eritrosina em ratos. Esses achados sugerem outra via pela qual os corantes alimentares sintéticos (AFCs) podem impactar a função cerebral, mesmo sem atravessar a barreira hematoencefálica. (Arnold LE, Lofthouse N, Hurt E. 2012).

Segundo Rambler et al. 2022, aproximadamente 33% das crianças com diagnóstico de TDAH podem apresentar melhora dos sintomas ao adotar dietas que excluem corantes sintéticos. Além das observações clínicas em humanos, estudos experimentais com camundongos e ratos expostos às doses de Azul nº 1 e Azul nº 2 recomendadas pela FDA mostraram que, mesmo dentro dos limites considerados seguros, o corante Azul nº 1 foi capaz de induzir comportamentos hiperativos nos animais testados (Arnold LE, Lofthouse N, Hurt E. 2012).

Mohammed et al. 2021 identificaram que os corantes artificiais mais consumidos entre os indivíduos avaliados foram o Azul Brilhante (E133) e a Tartrazina (E102), com prevalência de 54,1% e 42,3%, respectivamente. Também foram encontrados níveis acima do permitido de Amarelo Pôr do Sol (E110) em amostras de chocolate, além da presença de Tartrazina em duas bebidas. Os autores destacam a preocupação com a elevada ingestão de alimentos ultraprocessados nessa população, especialmente pelos impactos nutricionais e riscos à segurança alimentar, já que esses produtos frequentemente contêm aditivos derivados do petróleo — uma preocupação compartilhada por estudos de outros países.

Outro aspecto evidenciado pela pesquisa é a escassez de conhecimento sobre os riscos envolvidos na combinação de diferentes corantes sintéticos em um mesmo produto. Além disso, ainda não há evidências científicas robustas que esclareçam os efeitos colaterais associados ao consumo prolongado desses aditivos artificiais (De oliveira et al., 2024).

Outro aspecto relevante diz respeito à presença de corantes sintéticos em medicamentos voltados ao público infantil. Foram identificados três estudos que analisaram esses aditivos em formulações farmacêuticas, além de revisões na literatura que apontam preocupações quanto à exposição excessiva. Esses dados reforçam a necessidade de regulamentações mais rigorosas e monitoramento contínuo para assegurar a proteção da saúde infantil (De oliveira et al., 2024).

Diante desse panorama, cresce o interesse pela substituição dos corantes sintéticos por alternativas naturais e sustentáveis. Uma opção promissora são os corantes extraídos de fontes vegetais e animais, os quais, além de apresentarem menor risco toxicológico, frequentemente oferecem propriedades antioxidantes e benefícios nutricionais adicionais (Castro et al., 2021). Essas alternativas naturais também demonstram potencial para mitigar os impactos ambientais da produção de corantes sintéticos, ao mesmo tempo em que oferecem escolhas mais seguras e alinhadas com uma alimentação consciente, voltada à preservação da saúde (De oliveira et al., 2024).

CONCLUSÃO

Os efeitos negativos associados ao consumo de corantes sintéticos em crianças com ou sem condições pré-existentes são cada vez mais reconhecidos na literatura científica, apontando para a necessidade de atenção redobrada quanto ao uso desses aditivos. Evidências mostram que tais substâncias podem contribuir para alterações comportamentais, reações alérgicas e comprometimentos cognitivos e metabólicos, sendo especialmente problemáticos em casos de TDAH e TEA, onde os sintomas podem se agravar. Mesmo crianças sem diagnósticos prévios não estão imunes aos impactos dessas exposições contínuas. Diante disso, torna-se crucial adotar estratégias educativas voltadas a pais, cuidadores e profissionais da saúde, além de incentivar políticas públicas mais rigorosas que exijam maior transparência nos rótulos e limitem o uso dessas substâncias.

Paralelamente, a valorização de uma alimentação baseada em ingredientes naturais e a substituição progressiva de corantes artificiais por alternativas seguras de origem vegetal ou mineral representam caminhos promissores para a proteção da infância e a promoção de uma cultura alimentar mais consciente.

REFERÊNCIAS

1. ZAHRAN, S.; ETALAWY, M.; SHEIKH, N. Food Color Additives Applications in Food Products, and Related Health Hazards. *Egyptian Journal of Animal Health*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21608/ejah.2024.386386>. Acesso em: 5 mai. 2025.
2. SHARMA, R. et al. Food Color Additives in Hazardous Consequences of Human Health: An Overview. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2174/1568026623666230117122433>. Acesso em: 5 mai. 2025.
3. AMCHOVA, P.; SISKÁ, F.; RUDA-KUCEROVA, J. Food Safety and Health Concerns of Synthetic Food Colors: An Update. *Toxics*, v. 12, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxics12070466>. Acesso em: 5 mai. 2025.
1. HRISTOVA, M. Dietary exposure assessment of artificial food colours. *Bulgarian One Health Journal*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.59496/20241puh3>. Acesso em: 5 mai. 2025.
2. KOEV, K.; HRISTOVA, M. Natural and synthetic colours in food: Impact on consumer health. *Bulgarian One Health Journal*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.59496/20241puh1>. Acesso em: 5 mai. 2025.
3. VEGA, E. et al. Natural Sources of Food Colorants as Potential Substitutes for Artificial Additives. *Foods*, v. 12, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12224102>. Acesso em: 5 mai. 2025.
4. SAMANTA, S.; SARKAR, T.; CHAKRABORTY, R. Multifunctional applications of natural colorants: Preservative, functional ingredient, and sports supplements. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103026>. Acesso em: 5 mai. 2025.
5. SILVA, M. M.; REBOREDO, F. H.; LIDON, F. C. Food Colour Additives: A Synoptical Overview on Their Chemical Properties, Applications in Food Products, and Health Side Effects. *Foods*, v. 11, n. 3, p. 379, 28 jan. 2022. DOI: 10.3390/foods11030379. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods11030379>. Acesso em: 5 mai. 2025.
6. DE OLIVEIRA, Z. B. et al. Synthetic Colors in Food: A Warning for Children's Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 21, n. 6, p. 682, 27 maio 2024. DOI: 10.3390/ijerph21060682. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph21060682>. Acesso em: 5 mai. 2025.

7. CHEN, N. et al. Relationships between autistic traits, taste preference, taste perception, and eating behaviour. *European Eating Disorders Review*, v. 30, p. 628–640, 2022. DOI: 10.1002/erv.2931. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/erv.2931>. Acesso em: 5 mai. 2025.
8. PETITPIERRE, G.; LUISIER, A. C.; BENSALI, M. Eating behavior in autism: Senses as a window towards food acceptance. *Current Opinion in Food Science*, v. 41, p. 210–216, 2021. DOI: 10.1016/j.cofs.2021.04.015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.015>. Acesso em: 5 mai. 2025.
9. MILLER, M. D. et al. Potential impacts of synthetic food dyes on activity and attention in children: A review of the human and animal evidence. *Environmental Health*, v. 21, p. 45, 2022. DOI: 10.1186/s12940-022-00849-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00849-9>. Acesso em: 5 mai. 2025.
10. BASU, A.; KUMAR, G. S. Binding of carmoisine, a food colorant, with hemoglobin: Spectroscopic and calorimetric studies. *Food Research International*, v. 72, p. 54–61, jun. 2015. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.03.013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.013>. Acesso em: 5 mai. 2025.
11. DE OLIVEIRA, Z. B. et al. Synthetic Colors in Food: A Warning for Children's Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 21, n. 6, p. 682, 27 maio 2024. DOI: 10.3390/ijerph21060682. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph21060682>. Acesso em: 5 mai. 2025.
12. MILLER, M. D. et al. Impactos potenciais de corantes alimentares sintéticos na atividade e atenção em crianças: uma revisão das evidências humanas e animais. *Environmental Health*, v. 21, p. 45, 2022. DOI: 10.1186/S12940-022-00849-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/S12940-022-00849-9>. Acesso em: 5 mai. 2025.
13. CHAPPELL, G. A.; BRITT, J. K.; BORGHOF, S. J. Systematic assessment of mechanistic data for FDA-certified food colors and neurodevelopmental processes. *Food and Chemical Toxicology*, v. 140, p. 111310, 2020. DOI: 10.1016/j.fct.2020.111310. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111310>. Acesso em: 5 mai. 2025.
14. BAKTHAVACHALU, P.; KANNAN, S. M.; QORONFLEH, M. W. Food color and autism: A meta-analysis. In: *Advances in Neurobiology*. 2020, v. 24, p. 481–504. DOI: 10.1007/978-3-030-30402-7_15. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-30402-7_15. Acesso em: 5 mai. 2025.
15. NIGG, J. T. et al. Meta-analysis of attention-deficit/hyperactivity disorder or attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms, restriction diet, and synthetic food color additives. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, v. 51, n. 1, p. 86–97.e8, jan. 2012. DOI: 10.1016/j.jaac.2011.10.015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2011.10.015>. Acesso em: 5 mai. 2025.
16. RAMBLER, R. M. et al. A review of the association of blue food coloring with attention deficit hyperactivity disorder symptoms in children. *Cureus*, v. 14, n. 9, p. e29241, 16 set. 2022. DOI: 10.7759/cureus.29241. Disponível em: <https://doi.org/10.7759/cureus.29241>. Acesso em: 5 mai. 2025.

17. ARNOLD, L. E.; LOFTHOUSE, N.; HURT, E. Artificial food colors and attention-deficit/hyperactivity symptoms: Conclusions to dye for. *Neurotherapeutics*, v. 9, n. 3, p. 599-609, jul. 2012. DOI: 10.1007/s13311-012-0133-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13311-012-0133-x>. Acesso em: 5 mai. 2025.
18. AMIN, K. A.; ABDEL HAMEID, H.; ABD ELSTAR, A. H. Effect of food azo dyes tartrazine and carmoisine on biochemical parameters related to renal, hepatic function and oxidative stress biomarkers in young male rats. *Food and Chemical Toxicology*, v. 48, p. 2994–2999, 2010. DOI: 10.1016/j.fct.2010.07.039. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.07.039>. Acesso em: 5 mai. 2025.
19. JEROME, D.; JEROME, L. Approach to diagnosis and management of childhood attention deficit hyperactivity disorder. *Canadian Family Physician*, v. 66, p. 732–736, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/PMC4321798>. Acesso em: 5 mai. 2025.
20. AHMED, M. A. et al. Dietary intake of artificial food color additives containing food products by school-going children. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 28, p. 27–34, 2021. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.08.025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.025>. Acesso em: 5 mai. 2025.
21. DE OLIVEIRA, Z. B. et al. Synthetic Colors in Food: A Warning for Children's Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 21, n. 6, p. 682, 27 maio 2024. DOI: 10.3390/ijerph21060682. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph21060682>. Acesso em: 5 mai. 2025.
22. CASTRO, T. A. et al. Red tomato products as an alternative to reduce synthetic dyes in the food industry: A review. *Molecules*, v. 26, p. 7125, 2021. DOI: 10.3390/molecules26237125. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules26237125>. Acesso em: 5 mai. 2025.

CAPÍTULO 5

BACTÉRIAS TOXIGÊNICAS EM ALIMENTOS: CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS E MECANISMOS DE PRODUÇÃO DE TOXINAS

DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_05

Pablo Ricardo Sanches de Oliveira

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos.
E-mail: prsanchesoliveira@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2380-3506>

Natália Santos Pretes

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos.
E-mail: nataliapretes@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8990-5460>

Isabela Carolina Ferreira da Silva

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos.
E-mail: isabelacfes@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3680-8353>

Jean Lopes da Silva

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos.
E-mail: jeanlopessilva02@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8578-8362>

Emilly Brito Ferreira

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos.
E-mail: emillybbferreira@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9851-0993>

Laines Cassiano Sumera

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade.
E-mail: lainessumera@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1968-1083>

Julia Rabassi Parpinelli

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Departamento de Farmácia
E-mail: juliaparpinelli14@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7601-0036>

Maria Regina Guedes

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Departamento de Biologia.
E-mail: mariareginaguedes13@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0471-3853>

Miguel Machinski Junior

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos.
E-mail: mmjunior@uem.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5380-9186>

Benício Alves de Abreu Filho

Universidade Estadual de Maringá (UEM).
Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos.
E-mail: baafilho@uem.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3271-808X>

RESUMO

A presença de microrganismos patogênicos em alimentos representa um risco expressivo à saúde pública devido à capacidade de muitos desses agentes em produzir toxinas com alto potencial de virulência. A multiplicação bacteriana e a síntese de toxinas estão diretamente relacionadas a condições ambientais e tecnológicas, como temperatura, pH, umidade, presença de conservantes e tempo de armazenamento. Patógenos como *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* (cepas STEC), *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. e *Shigella flexneri* são reconhecidamente associados à produção de enterotoxinas, neurotoxinas e citotoxinas, implicando em quadros clínicos que variam de gastroenterites leves a infecções sistêmicas graves. A diferenciação entre exotoxinas e endotoxinas, bem como a compreensão dos mecanismos gerais de ação dessas moléculas, reforçam a importância da vigilância microbiológica e do controle de pontos críticos na cadeia produtiva de alimentos. Este capítulo aborda os principais aspectos microbiológicos relacionados à segurança alimentar, com foco especial na produção de toxinas bacterianas em alimentos. Inicialmente, são discutidos os conceitos fundamentais de segurança alimentar e a relevância dos microrganismos patogênicos nesse contexto. Em seguida, apresenta-se a relação entre contaminação microbiana e produção de toxinas, bem como uma análise das principais bactérias toxigênicas, incluindo suas toxinas específicas e mecanismos de ação. A compreensão desses elementos é essencial para o controle eficaz das doenças transmitidas por alimentos e para a implementação de medidas preventivas em toda a cadeia produtiva.

Palavras-chave: Doenças transmitidas por alimentos; Toxinas bacterianas; segurança alimentar; Endotoxinas; Exotoxinas.

INTRODUÇÃO

Segurança alimentar: conceito e relevância

A segurança alimentar é um conceito multifacetado que envolve a garantia de acesso regular e permanente a alimentos em quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de uma vida saudável. Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), segurança alimentar ocorre quando “todas as pessoas, em todos os momentos, têm acesso físico, social e econômico a alimentos seguros, nutritivos e em quantidade suficiente para satisfazer suas necessidades dietéticas e preferências alimentares para uma vida ativa e saudável” (FAO, 2006).

No Brasil, a lei nº 11.346/2006, que institui o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN), reforça esse entendimento, incluindo também os aspectos sociais e culturais dos alimentos.

A segurança alimentar, portanto, não se restringe apenas a disponibilidades de alimentos, mas também abrange aspectos como a qualidade sanitária, o valor

nutricional e a ausência de contaminantes, incluindo os microrganismos patogênicos, que representam uma das principais ameaças à saúde pública no contexto do consumo de alimentos.

Segurança alimentar vs. segurança do alimento

Embora os termos "segurança alimentar" e "segurança do alimento" sejam frequentemente utilizados de forma intercambiável, eles se referem a conceitos distintos dentro da área da saúde pública e da ciência dos alimentos.

- **Segurança alimentar:** está relacionada à garantia de acesso físico, social e econômico a alimentos suficientes, seguros e nutritivos para satisfazer as necessidades alimentares e preferências alimentares para uma vida ativa e saudável. Trata-se, portanto, de um conceito amplo, que envolve aspectos sociais, econômicos, ambientais e políticos.

Por outro lado,

- **Segurança do alimento:** refere-se especificamente à garantia de que o alimento consumido não causará danos ao consumidor quando preparado e ingerido conforme o uso pretendido. Este conceito está vinculado diretamente à **inocuidade dos alimentos**, isto é, à ausência de agentes contaminantes — sejam biológicos, químicos ou físicos — que possam colocar em risco a saúde do consumidor. A segurança do alimento é, portanto, um dos pilares que sustentam a segurança alimentar, mas não a esgota como conceito.

Essa distinção é fundamental para a elaboração de políticas públicas, estratégias de controle sanitário e programas de educação alimentar e nutricional (Franco & Landgraf, 2008).

Microrganismos patogênicos e sua importância na segurança alimentar

Microrganismos patogênicos como bactérias, vírus, fungos e parasitas, são agentes infecciosos que podem contaminar os alimentos em diferentes etapas da cadeia produtiva, desde a produção até o consumo. Eles são os responsáveis por doenças de origem alimentar que podem variar desde quadros gastrointestinais leves, até infecções graves e fatais, especialmente em populações vulneráveis, como crianças, idosos e indivíduos imunossuprimidos (WHO, 2022). Entre os patógenos mais comuns estão *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum* e *Bacillus cereus*.

A presença desses microrganismos nos alimentos, reflete falhas nos processos de higienização, armazenamento, manipulação e preparo, destacando a importância de boas práticas de fabricação e do controle sanitário rigoroso. Além disso, surtos de doenças transmitidas por alimentos (DTA) têm impacto direto na saúde pública e na economia, exigindo ações coordenadas de vigilância epidemiológica, educação alimentar e fiscalização sanitária (BRASIL, 2020).

Contaminação microbiana e produção de toxinas: uma relação direta com riscos à saúde pública

A contaminação microbiana de alimentos não está apenas associada à presença de microrganismos viáveis nos alimentos, mas também na capacidade desses microrganismos na produção de toxinas, compostos químicos nocivos que podem persistir mesmo após a eliminação do agente infeccioso (Figura 1.). Muitas bactérias patogênicas, como *S. aureus*, *C. botulinum* e *B. cereus*, são capazes de sintetizar exotoxinas termoestáveis ou neurotoxinas potentes que desencadeiam quadros clínicos graves, mesmo quando presentes em pequenas quantidades. Essas toxinas podem ser produzidas durante o crescimento bacteriano em alimentos mal conservados, sob condições inadequadas de temperatura, pH ou higiene, representando um risco significativo à segurança do alimento. Além disso, a ingestão de toxinas alimentares pode resultar em intoxicações agudas com sintomas neurológicos, gastrointestinais ou até mesmo levar à morte, como é o caso do botulismo (Scallan *et al.*, 2011).

A resistência térmica de certas toxinas, como as enterotoxinas estafilocócicas, torna a simples cocção dos alimentos ineficaz na eliminação do risco, evidenciando a importância do controle preventivo na cadeia produtiva de alimentos. A capacidade de alguns microrganismos de sobreviver e multiplicar-se em ambientes hostis, aliada à síntese de toxinas, reforça a necessidade de práticas rigorosas de higiene, armazenamento e manipulação de alimentos. A avaliação do risco microbiológico em produtos alimentícios deve considerar não apenas a presença do patógeno, mas também seu potencial toxigênico, o que exige métodos específicos de detecção e monitoramento em ambientes de produção (EFSA, 2020).

Principais bactérias patogênicas associadas à produção de toxinas

A presença de bactérias patogênicas em alimentos representa uma ameaça significativa à saúde pública, especialmente quando as cepas são capazes de produzir toxinas com ação local ou sistêmica. As toxinas bacterianas podem ser classificadas, de forma geral, como exotoxinas e endotoxinas, sendo as exotoxinas as mais frequentemente associadas a surtos alimentares, por sua capacidade de desencadear quadros clínicos mesmo na ausência do microrganismo viável. Essas toxinas podem agir em diferentes alvos no organismo humano, como o sistema nervoso, o epitélio intestinal ou o sistema imunológico, causando desde quadros gastrointestinais autolimitados, até infecções invasivas graves. A seguir, destacam-se as principais espécies bacterianas toxigênicas de relevância na segurança alimentar.

Staphylococcus aureus

Staphylococcus aureus é uma bactéria Gram-positiva cocoide, comumente presente na microbiota humana, mas que pode causar intoxicações alimentares por meio da produção de enterotoxinas (principalmente tipos A, B, C, D e E). Essas toxinas são termoestáveis e atuam como superantígenos, ativando de forma indiscriminada as células T do sistema imune, promovendo uma liberação maciça de citocinas inflamatórias, resultando na aparição de sintomas clínicos de forma rápida e intensa, desencadeando vômitos, náuseas e cólicas intensas poucas horas após a ingestão do alimento contaminado. A contaminação geralmente ocorre durante a manipulação dos alimentos por portadores assintomáticos (Argudín *et al.*, 2010).

Clostridium botulinum

Trata-se de uma espécie anaeróbica, esporulada e Gram-positiva, *Clostridium botulinum* produz neurotoxinas extremamente potentes (tipo A-G), que bloqueiam a liberação de acetilcolina nas terminações nervosas, levando à paralisia muscular progressiva, sendo considerada uma substância altamente letal em pequenas doses. A ingestão de alimentos contaminados com esporos ou toxina pré-formada, como conservas caseiras mal processadas pode causar o botulismo alimentar, uma emergência médica que requer intervenção imediata. A toxina é inativada apenas por aquecimento, acima de 85 °C por mais de cinco minutos, reforçando a necessidade de rigor nos processos térmicos (Rasetti-Escargueil *et al.*, 2020).

Bacillus cereus

Essa bactéria Gram-positiva esporulada produz dois tipos distintos de toxinas: a toxina emética (cereulida), termoestável e responsável por vômitos, e as toxinas diarreicas termolábeis, que aumentam a secreção intestinal, sendo responsável por causar diarreia. A cereulida age como um agente mitocondrial, inibindo a síntese de ATP nas células do fígado, o que pode provocar necrose hepática em casos graves. Já a toxina diarreica atua nas células intestinais, aumentando a permeabilidade epitelial e levando à perda de fluidos. Alimentos ricos em amido, como arroz e massas, são os veículos mais comuns para esse tipo de contaminação, especialmente quando mantidos em temperatura ambiente por longos períodos (Ehling-Schulz *et al.*, 2019).

Escherichia coli (cepas produtoras de toxina Shiga - STEC/EHEC)

Trata-se de bacilos, Gram-negativos, anaeróbia facultativa. As cepas de *E. coli* produtoras de toxina Shiga (STEC, especialmente as entero-hemorrágicas (EHEC), como a sorovariedade O147:H7, são patógenos de alta relevância em surtos de origem alimentar. Essas bactérias sintetizam as toxinas Stx1 e Stx2, que inibem a síntese proteica ao se ligarem aos ribossomos das células hospedeiras, causando morte celular. A infecção pode se manifestar como colite hemorrágica, e em casos mais graves, evoluir para síndrome hemolítico-urêmica (SHU), com risco de insuficiência renal, principalmente em crianças e idosos. A transmissão ocorre por ingestão de alimentos contaminados, como carne bovina mal cozida, leite cru e vegetais irrigados com água contaminada. A baixa dose infectante e a resistência das toxinas ao calor parcial tornam essa bactéria um agente crítico para a segurança alimentar (Karmali, 2018).

Listeria monocytogenes

Capaz de sobreviver e se multiplicar em ambientes refrigerados, *L. monocytogenes* é uma bactéria Gram-positiva que produz listeriolisina O, uma toxina citolítica essencial para a evasão do vacúolo fagocítico, permitindo a disseminação intracelular. A listeriose é particularmente perigosa em gestante, recém-nascidos e imunocomprometidos, podendo causar septicemia e meningoencefalite (Radoshevich & Cossart, 2018).

Salmonella spp.

Salmonella é um gênero de bactérias Gram-negativas, pertencentes à família Enterobacteriaceae. São patógenos importantes para a saúde pública, causando doenças que variam de gastroenterites leves até infecções sistêmicas graves, como a febre tifoide. A espécie mais comum associada a doenças humanas é a *Salmonella enterica*, que é dividida em vários sorovares (ou variantes) com diferentes características e patogenicidade.

Entre os sorovares mais conhecidos, *Salmonella Typhimurium* e *Salmonella Enteritidis* são frequentemente isolados em surtos de infecções alimentares. Essas bactérias são encontradas principalmente em alimentos de origem animal, como carnes cruas, ovos e produtos lácteos, e estão entre as principais causas de intoxicações alimentares.

Salmonella enterica serovar Typhimurium

Salmonella Typhimurium é um dos sorovares mais comuns e está frequentemente associada a infecções alimentares em humanos. Essa bactéria tem uma ampla gama de hospedeiros, podendo infectar tanto animais como seres humanos. A *S. Typhimurium* é conhecida por sua capacidade de invadir e colonizar o trato gastrointestinal, resultando em uma gama de sintomas clínicos, como diarreia, cólicas abdominais, febre e náuseas. Em alguns casos, pode evoluir para uma infecção sistêmica, com disseminação para órgãos internos, resultando em septicemia.

O mecanismo de virulência da *S. Typhimurium* envolve a invasão das células epiteliais intestinais, um processo mediado por proteínas de adesão e secreção, como as chamadas proteínas effectores, que permitem a sobrevivência e multiplicação dentro das células do hospedeiro. Essa infecção pode ser autolimitada, mas em alguns casos, especialmente em indivíduos com o sistema imunológico comprometido, pode causar complicações graves (Franco; Landgraf, 2016).

Salmonella enterica serovar Enteritidis

Salmonella Enteritidis é outro sorovar comum de *Salmonella* associado a surtos alimentares, particularmente aqueles relacionados ao consumo de ovos e produtos derivados. Esse sorovar é capaz de contaminar ovos através da infecção das glândulas ovarianas das aves, sem alterar a aparência do ovo. Quando os ovos contaminados são consumidos crus ou mal cozidos, podem causar infecções gastrointestinais em humanos.

A *S. Enteritidis* é responsável por uma infecção intestinal que se apresenta com sintomas típicos, como diarreia, dor abdominal e febre. Embora geralmente seja autolimitada, pode ser mais grave em pessoas com condições preexistentes, como idosos, crianças e imunocomprometidos. A bactéria também pode invadir o sistema linfático e, em casos raros, espalhar-se para a corrente sanguínea, causando septicemia.

Aspectos de Virulência e Mecanismos de Patogenicidade

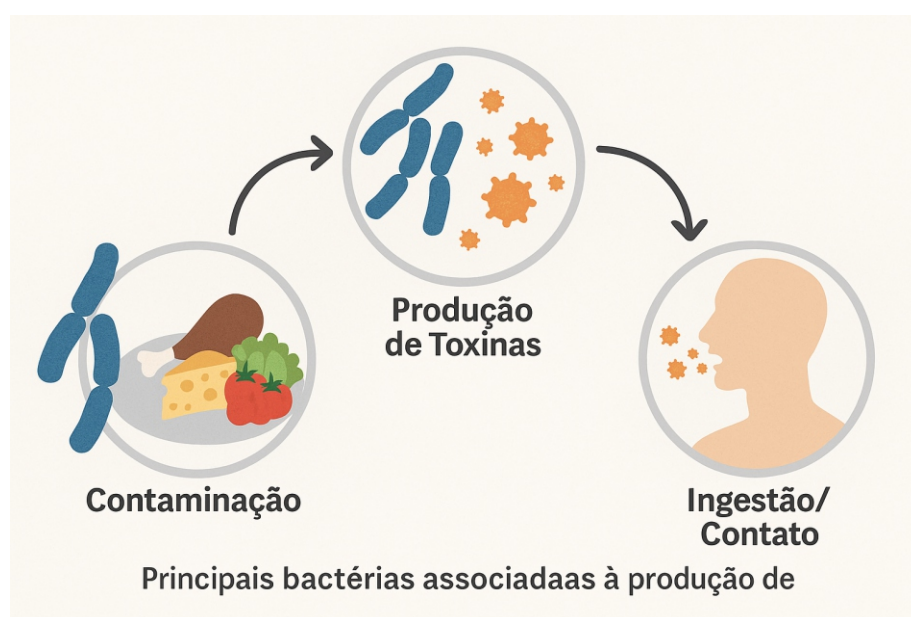
Ambos os sorovares, *S. Typhimurium* e *S. Enteritidis*, possuem mecanismos de virulência que incluem a secreção de toxinas e proteínas que ajudam na invasão das células do hospedeiro. As principais toxinas envolvidas são as enterotoxinas, que afetam a função do intestino, e a lipopolissacarídeo (LPS), que desempenha um papel importante na resposta inflamatória do hospedeiro.

Essas bactérias são capazes de sobreviver em ambientes adversos, o que contribui para sua persistência em alimentos contaminados e superfícies ambientais, representando um risco constante à segurança alimentar. Além disso, a resistência a antibióticos tem sido observada em alguns sorovares de *Salmonella*, o que aumenta a gravidade das infecções, tornando o tratamento mais difícil.

Shigella flexneri

Shigella flexneri é uma bactéria Gram-negativa, não esporulada, de transmissão fecal-oral, causadora de disenteria bacilar. Sua patogenicidade envolve a produção de toxinas Shiga e a habilidade de invadir e multiplicar-se nas células epiteliais do cólon, promovendo lesões teciduais e inflamação intensa. Os sintomas incluem diarreia com muco e sangue, cólicas abdominais, febre e tenesmo. a infecção requer uma dose infectante extremamente baixa (cerca de 10 a 100 células), o que facilita sua disseminação em ambientes com precárias condições sanitárias. A contaminação de alimentos e água ocorre por manipulação inadequada ou exposição a resíduos humano, sendo comum em surtos em creches, escolas e regiões com saneamento deficiente (Ktloff *et al.*, 2018).

Figura 1 – Ciclo de contaminação por toxinas produzidas por bactérias.



Fonte: Produzida pelos autores, 2025.

Outros exemplos relevantes

Além das principais bactérias toxigênicas associadas a surtos alimentares, outras espécies também representam riscos significativos à saúde pública. *Clostridium perfringens*, por exemplo, é uma bactéria Gram-positiva, anaeróbia e formadora de esporos, cuja toxina entérica pode causar quadros de diarreia intensa após ingestão de alimentos mantidos em temperaturas inadequadas (Mcdonel, 2023).

Vibrio cholerae, agente etiológico da cólera, produz a toxina colérica responsável por severa desidratação decorrente de diarreia aquosa profusa, especialmente em regiões com saneamento deficiente (WHO, 2024).

Yersinia enterocolitica, um bacilo Gram-negativo psicrotrófico, pode ser transmitido por carne de porco mal cozida e causar enterocolite, além de complicações pós-infecciosas como artrite reativa (Kim *et al.*, 2023).

Já o *Campylobacter jejuni* está frequentemente associado a carnes de aves mal cozidas, sendo considerado um dos principais agentes de diarreia bacteriana no mundo (Ammar *et al.*, 2024).

A diversidade desses microrganismos reforça a necessidade de vigilância contínua e boas práticas ao longo de toda a cadeia alimentar.

Tabela 1 – Principais microrganismos patogênicos produtores de toxinas em alimentos.

Microorganismo	Tipo de Toxina	Alimentos Associados	Principais Sintomas
<i>Staphylococcus aureus</i>	Enterotoxinas	Carnes, leite, ovos, alimentos manipulados	Náuseas, vômitos, diarreia
<i>Clostridium botulinum</i>	Neurotoxinas (toxina botulínica)	Conservas, embutidos, alimentos enlatados	Paralisia, visão dupla, dificuldade respiratória
<i>Bacillus cereus</i>	Toxinas eméticas e diarreicas	Arroz, massas, carnes, leite	Náuseas, vômitos, diarreia
<i>Escherichia coli</i> (STEC/EHEC)	Toxinas Shiga	Carne mal cozida, leite cru, vegetais	Diarreia sanguinolenta, cólicas, SHU
<i>Listeria monocytogenes</i>	Listeriolisinas	Laticínios não pasteurizados, embutidos vegetais crus	Febre, meningite, aborto espontâneo
<i>Salmonella spp.</i>	Enterotoxinas	Ovos, carnes, leite, frutas e vegetais	Febre, diarreia, dor abdominal
<i>Shigella flexneri</i>	Toxinas Shiga	Água ou alimentos contaminados por fezes humanas	Disenteria, dor abdominal, febre
<i>Clostridium perfringens</i>	Toxina entérica	Carnes cozidas mantidas em temperatura inadequada	Diarreia, dor abdominal
<i>Vibrio cholerae</i>	Toxina colérica	Água contaminada, frutos do mar	Diarreia aquosa intensa, desidratação
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Enterotoxinas	Carne de porco mal cozida, leite	Diarreia, febre, artrite reativa
<i>Campylobacter jejuni</i>	Citotoxinas	Carne de aves mal cozida, leite cru, água	Diarreia (com ou sem sangue), febre, dor abdominal

Fonte: Produzida pelos autores, 2025

Tipos de toxinas bacterianas em alimentos

Exotoxinas vs. Endotoxinas

As toxinas bacterianas são classificadas em dois grupos principais: exotoxinas e endotoxinas. As exotoxinas são proteínas solúveis produzidas e secretadas ativamente por bactérias, tanto Gram-positivas quanto Gram-negativas. Elas apresentam alta especificidade de ação, podendo interferir em processos celulares como síntese proteica, sinalização intracelular ou integridade de membranas, mesmo em baixas concentrações. Além disso, são altamente imunogênicas, permitindo o desenvolvimento de vacinas baseadas em toxicoides. Por outro lado, as endotoxinas correspondem ao lipopolissacarídeo (LPS), componente estrutural da membrana externa de bactérias Gram-negativas. São liberadas principalmente durante a lise celular e atuam como potentes indutores de respostas inflamatórias, podendo desencadear febre, hipotensão e choque séptico. Diferentemente das exotoxinas, as endotoxinas são menos imunogênicas e resistentes ao calor (Morris *et al.*, 2022).

Enterotoxinas, neurotoxinas e citotoxinas: mecanismos gerais de ação

As exotoxinas podem ser subclassificadas conforme seu tropismo e mecanismo de ação:

Enterotoxinas

Atuam no trato gastrointestinal, promovendo secreção excessiva de água e eletrólitos pelas células epiteliais intestinais, resultando em diarreia aquosa. Exemplos incluem a toxina colérica produzida por *Vibrio cholerae* e as enterotoxinas de *Staphylococcus aureus*. Algumas enterotoxinas funcionam como superantígenos, ativando maciçamente linfócitos T e levando a uma resposta inflamatória exacerbada (De oliveira *et al.*, 2021).

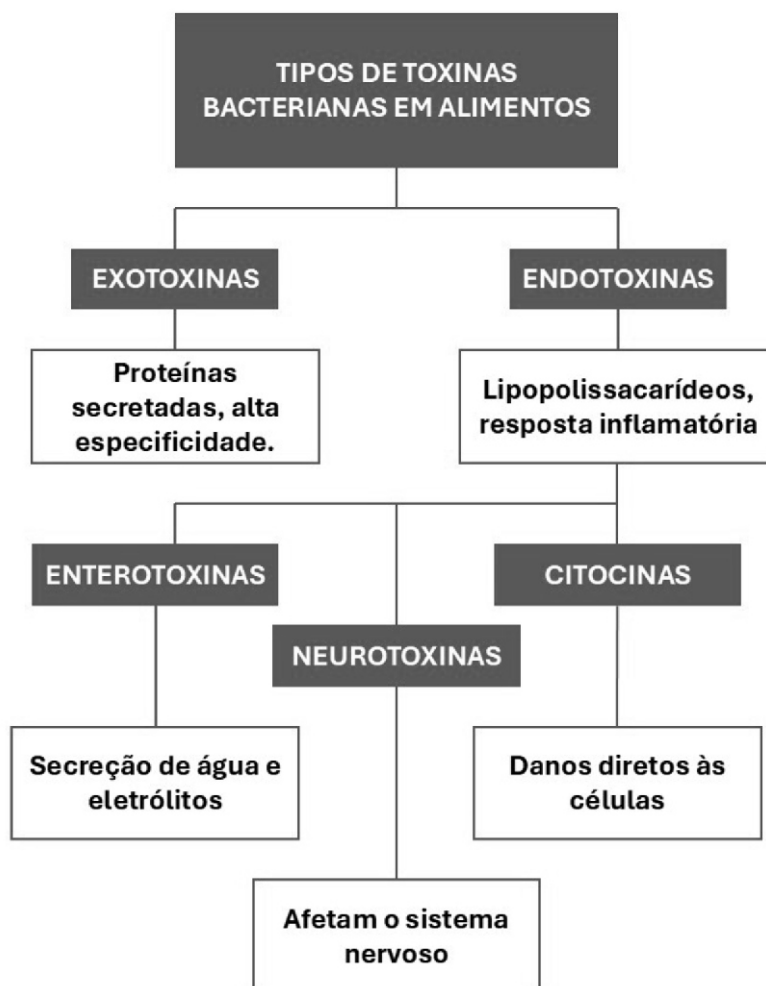
Neurotoxinas

Afetam o sistema nervoso, interferindo na liberação de neurotransmissores. A toxina botulínica, produzida por *Clostridium botulinum*, inibe a liberação de acetilcolina nas junções neuromusculares, causando paralisia flácida. Já a toxina tetânica, de *Clostridium tetani*, bloqueia neurotransmissores inibitórios, resultando em paralisia espástica (Khan & Lee, 2023).

Citotoxinas

Causam danos diretos às células, seja por formação de poros nas membranas celulares, levando à lise, seja por inibição de processos intracelulares essenciais, como a síntese proteica. A toxina Shiga, por exemplo, inibe a síntese proteica ao interferir na subunidade 60S dos ribossomos e está associada a quadros de colite hemorrágica (Zhang & Patel, 2022).

Figura 2: Fluxograma representando os tipos de toxinas bacterianas em alimentos.



Fonte: Produzida pelos autores, 2025.

Fatores que favorecem a produção de toxinas em alimentos

Temperatura

A temperatura é um dos principais fatores que afetam a multiplicação bacteriana e a produção de toxinas em alimentos. A faixa entre 5 °C e 60 °C é considerada crítica, pois permite o crescimento de microrganismos como *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*, especialmente em alimentos prontos para consumo e armazenados de forma inadequada. Por outro lado, bactérias como *Listeria monocytogenes* são capazes de crescer e produzir toxinas mesmo sob refrigeração, o que representa um desafio à segurança alimentar. O controle de temperatura é, portanto, uma das estratégias mais importantes para prevenir intoxicações alimentares (Yuan *et al.*, 2022).

pH

O pH do alimento influencia diretamente a viabilidade e a atividade metabólica de microrganismos produtores de toxinas. Em geral, a maioria das bactérias patogênicas apresenta crescimento ótimo em pH neutro (6,5 a 7,5), mas algumas espécies, como *Clostridium botulinum*, conseguem produzir toxinas em pH ligeiramente ácido, como ocorre em conservas ou alimentos fermentados mal processados. A acidificação, embora represente uma barreira microbiológica, pode não ser suficiente para impedir completamente a síntese de toxinas se outros fatores permissivos estiverem presentes (Rocha *et al.*, 2021).

Atividade de água (a_w)

A atividade de água (a_w) é um parâmetro fundamental que influencia diretamente o crescimento microbiano e a produção de toxinas em alimentos. Microrganismos patogênicos, como *Staphylococcus aureus*, podem produzir enterotoxinas em alimentos com a_w entre 0,86 e 0,90, especialmente em produtos como carnes curadas e queijos. A redução da a_w é uma estratégia eficaz para inibir o crescimento microbiano, sendo alcançada por meio de processos como secagem, adição de solutos ou liofilização. No entanto, é importante ressaltar que níveis muito baixos de a_w podem levar à oxidação de lipídios e formação de compostos tóxicos durante o armazenamento, comprometendo a segurança alimentar (Marchez *et al.*, 2008).

Presença de conservantes

Conservantes alimentares são substâncias adicionadas aos alimentos com o objetivo de inibir o crescimento de microrganismos e, conseqüentemente, a produção de toxinas. Compostos como nitritos, nitratos, sorbatos e benzoatos atuam interferindo em processos metabólicos essenciais das bactérias, como a síntese de proteínas e a integridade da membrana celular. No entanto, a eficácia desses conservantes pode ser influenciada por fatores como pH, temperatura e composição do alimento. Além disso, o uso excessivo ou inadequado de conservantes pode levar ao desenvolvimento de cepas bacterianas resistentes, ressaltando a importância do uso criterioso dessas substâncias (López *et al.*, 2009).

Tempo de armazenamento

O tempo de armazenamento dos alimentos é um fator determinante para a segurança alimentar, especialmente no que diz respeito à produção de toxinas bacterianas. Prolongados períodos de armazenamento, mesmo sob condições adequadas de temperatura e umidade, podem permitir a multiplicação de microrganismos e a subsequente produção de toxinas. Por exemplo, *Clostridium botulinum* pode produzir toxinas em alimentos armazenados por longos períodos em condições anaeróbicas. Portanto, respeitar os prazos de validade e as condições de armazenamento recomendadas é fundamental para prevenir intoxicações alimentares (ANVISA, 2025).

CONCLUSÃO

A compreensão microbiológica da segurança alimentar é essencial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de prevenção e controle das doenças transmitidas por alimentos. Ao longo deste capítulo, foi possível evidenciar que a presença de microrganismos patogênicos nos alimentos, bem como sua capacidade de produzir toxinas, representa uma ameaça significativa à saúde pública. O conhecimento aprofundado sobre os tipos de toxinas bacterianas, os principais patógenos envolvidos e os fatores que favorecem sua produção permite uma abordagem mais precisa e preventiva na cadeia produtiva de alimentos.

Além disso, a diferenciação entre exotoxinas e endotoxinas, assim como a identificação de toxinas específicas — como enterotoxinas, neurotoxinas e citotoxinas —, reforça a necessidade de monitoramento contínuo e de aplicação rigorosa de boas práticas de fabricação e conservação. Fatores ambientais como temperatura, pH, umidade, presença de conservantes e tempo de armazenamento desempenham papéis decisivos na multiplicação microbiana e na expressão gênica responsável pela síntese de toxinas.

Portanto, integrar o conhecimento microbiológico às práticas de controle de qualidade em alimentos não é apenas uma exigência regulatória, mas uma ferramenta indispensável para garantir a inocuidade dos produtos e a proteção da saúde do consumidor. O domínio desses conceitos contribui diretamente para a formação de profissionais mais preparados para enfrentar os desafios da segurança alimentar em contextos industriais, acadêmicos e regulatórios.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Guia orienta sobre prazos de validade de alimentos. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2018/guia-orienta-sobre-prazos-de-validade-de-alimentos>. Acesso em: 7 maio 2025.

AMMAR, A. M. et al. Campylobacteriosis: A rising threat in foodborne illnesses. *Open Veterinary Journal*, v. 13, n. 2, p. 100–110, 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11415892/>. Acesso em: 6 maio 2025.

ARGUDÍN, M. A.; MENDOZA, M. C.; RODICIO, M. R. Food poisoning and *Staphylococcus aureus* enterotoxins. *Toxins*, v. 2, n. 7, p. 1751–1773, 2010. DOI: 10.3390/toxins2071751.

BRASIL. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada. *Diário Oficial da União*, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Doenças transmitidas por alimentos – DTA. Brasília: MS, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/>

DE OLIVEIRA, A. R.; LIMA, M. L.; COSTA, C. J. Bacterial enterotoxins in food: mechanisms and implications for human health. In: MONTEIRO, M. A. (Org.). *Food Safety and Microbial Pathogenesis*. London: IntechOpen, 2021. DOI: 10.5772/intechopen.95085.

EFSA – EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Hazard identification and characterization of foodborne pathogens and toxins. *EFSA Journal*, v. 18, n. 2, e06116, 2020. DOI: 10.2903/j.efsa.2020.6116.

EHLING-SCHULZ, M.; LERECLUS, D.; KOEHLER, T. M. The *Bacillus cereus* group: *Bacillus* species with pathogenic potential. *Microbiology Spectrum*, v. 7, n. 4, 2019. DOI: 10.1128/microbiolspec.GPP3-0032-2018.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. An introduction to the basic concepts of food security. 2006. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/1d059f5e-ec5e-4d9f-8c16-3a94ef33e649/>

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. *Microbiologia dos alimentos*. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2016.

KARMALI, M. A. Factors in the emergence of serious human infections associated with highly pathogenic strains of Shiga toxin-producing *Escherichia coli*. *International Journal of Medical Microbiology*, v. 308, n. 8, p. 1067–1074, 2018.

KHAN, M. S.; LEE, Y. H. Neurotoxins: pathogenesis and cellular targets in foodborne bacterial infections. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, v. 13, p. 1122387, 2023. DOI: 10.3389/fcimb.2023.1122387.

KIM, J. H. et al. *Yersinia enterocolitica* biovar 1A: An underappreciated potential foodborne pathogen. *Food Microbiology*, v. 112, p. 104123, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160523004713>. Acesso em: 6 maio 2025.

KOTLOFF, K. L. et al. Shigellosis. *Lancet*, v. 391, n. 10122, p. 801–812, 2018. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)33296-8.

LÓPEZ, A. M. Q.; LIMA-COELHO, S. F.; LIRA, G. M. Efeito de diferentes concentrações de conservantes sobre o crescimento in vitro de bactérias veiculadas por alimentos. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 68, n. 1, p. 1–7, 2009. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/32742>. Acesso em: 7 maio 2025.

MARCHEZ, A. Y. C.; VALENTE, T. B.; ROSA, C. S. da. Formação de toxinas durante o processamento de alimentos e as possíveis consequências para o organismo humano. *Revista de Nutrição*, v. 21, n. 4, p. 495–504, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/dh8nfxDKTyLsgSZQTWj7MK/>. Acesso em: 7 maio 2025.

MCDONEL, J. L. *Clostridium perfringens*: Opportunistic foodborne pathogen, its epidemiology and toxin regulation. *Microorganisms*, v. 11, n. 6, p. 1234, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10304509/>. Acesso em: 6 maio 2025.

MORRIS, R. K.; ALBERT, J. E.; JOHNSON, T. R. Exotoxins and endotoxins: mechanisms and clinical relevance. *Clinical Microbiology Reviews*, v. 35, n. 2, p. e00042-21, 2022. DOI: 10.1128/cmr.00042-21.

RADOSEVICH, L.; COSSART, P. *Listeria monocytogenes*: Towards a complete picture of its physiology and pathogenesis. *Nature Reviews Microbiology*, v. 16, n. 1, p. 32–46, 2018.

RASETTI-ESCARGUEIL, C.; LEMICHEZ, E.; POPOFF, M. R. Public health risk associated with botulism as foodborne zoonoses. *Toxins*, v. 12, n. 1, p. 17, 2020. DOI: 10.3390/toxins12010017.

ROCHA, K. L. et al. Influence of pH on growth and toxinogenesis of *Clostridium* species in preserved foods. *Journal of Food Protection*, v. 84, n. 4, p. 647–654, 2021. DOI: 10.4315/JFP-20-345.

SCALLAN, E. et al. Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens. *Emerging Infectious Diseases*, v. 17, n. 1, p. 7–15, 2011. DOI: 10.3201/eid1701.P11101.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Food safety. 2022. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Cholera. Fact Sheets, 2024. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cholera>. Acesso em: 6 maio 2025.

YUAN, Y.; LI, Y.; ZHAO, W. et al. Effect of temperature abuse on bacterial growth and enterotoxin production in ready-to-eat foods. *Food Control*, v. 135, p. 108797, 2022. DOI: 10.1016/j.foodcont.2022.108797.

ZHANG, Q.; PATEL, S. D. Mechanisms of action and clinical implications of bacterial cytotoxins in foodborne diseases. *Toxins*, v. 14, n. 5, p. 335, 2022. DOI: 10.3390/toxins14050335.

CAPÍTULO 6

AGROTÓXICOS NO BRASIL: UMA REVISÃO DA LEGISLAÇÃO COM FOCO NA TOXICOLOGIA DE ALIMENTOS

DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_06

Simone Maria Altoé Porto

Doutoranda em Ciências de Alimentos – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Gabrieli de França Tonhão

Graduanda em Engenharia de Alimentos - UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Amábile Mariano Marques

Graduanda em Engenharia de Alimentos - UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

Doutoranda em Ciências da Saúde – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Isabela Carolina Ferreira da Silva

Doutoranda em Ciências de Alimentos - UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Miguel Machinski Junior

Professor Doutor Associado - UEM (Universidade Estadual de Maringá)

RESUMO

A legislação brasileira de agrotóxicos tem sido alvo de críticas por apresentar fragilidades na proteção à saúde pública e ao meio ambiente. Este artigo investiga como a evolução normativa brasileira atende aos princípios da toxicologia de alimentos e à segurança alimentar. Para isso, realiza-se uma **revisão narrativa crítica de literatura**, com base em marcos legais nacionais — como a Lei nº 7.802/1989 e sua revogação pela Lei nº 14.785/2023 — e nas diretrizes de órgãos reguladores (ANVISA, MAPA, IBAMA), além de referências internacionais, como o *Codex Alimentarius*, a União Europeia e os Estados Unidos. A análise identifica lacunas na atualização de substâncias ativas, discrepâncias nos limites máximos de resíduos (LMRs), riscos à saúde por exposição crônica e "efeito coquetel", além da influência de pressões político-legislativas, como o PL nº 1.459/2022. Os resultados indicam que, embora haja avanços regulatórios, persistem desafios significativos na consolidação de uma política nacional de agrotóxicos baseada em evidências científicas e alinhada às melhores práticas internacionais. Conclui-se que o fortalecimento técnico-científico das decisões regulatórias é essencial para garantir a segurança dos alimentos, a saúde dos consumidores e a preservação ambiental.

Palavras-chave: legislação de agrotóxicos, toxicologia de alimentos, segurança alimentar, resíduos de agrotóxicos, impacto ambiental.

ABSTRACT

Brazilian pesticide legislation has been widely criticized for its weaknesses in protecting public health and the environment. This article investigates how the evolution of national regulations meets the principles of food toxicology and food safety. A **critical narrative literature review** is conducted, based on national legal frameworks—such as Law No. 7,802/1989 and its repeal by Law No. 14,785/2023—and on the guidelines of regulatory agencies (ANVISA, MAPA, IBAMA), as well as international references, including the *Codex Alimentarius*, the European Union, and the United States. The analysis identifies gaps in the re-evaluation of active substances, inconsistencies in maximum residue limits (MRLs), health risks from chronic exposure and the "cocktail effect," and the influence of political and legislative pressures, such as Bill nº. 1.459/2022. The findings indicate that, despite regulatory advances, significant challenges remain in consolidating a national pesticide policy based on scientific evidence and aligned with international best practices. It is concluded that strengthening scientific and technical support for regulatory decisions is essential to ensure food safety, consumer health, and environmental protection.

Keywords: pesticide legislation. food toxicology. food safety. pesticide residues. environmental impact.

INTRODUÇÃO

A agricultura moderna, impulsionada pela crescente demanda global por alimentos, tem dependido intensamente do uso de agrotóxicos para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Esses produtos, também conhecidos como defensivos agrícolas, são ferramentas cruciais para assegurar a produtividade das lavouras e, consequentemente, a segurança alimentar em larga escala (FAO, 2024; EMBRAPA, 2023). No entanto, o seu uso indiscriminado ou inadequado representa um risco significativo à saúde humana, ao meio ambiente e, particularmente, à segurança dos alimentos, devido à potencial presença de resíduos tóxicos nos produtos agrícolas consumidos (OMS, 2019).

Diante desse cenário complexo, a legislação é a principal ferramenta para regularizar a produção, comercialização e aplicação de agrotóxicos, buscando mitigar os riscos inerentes a toxicologia, a segurança alimentar e proteger a saúde pública e os ecossistemas. A eficácia e a robustez dessas regulamentações são fundamentais para garantir que os benefícios da agricultura não se traduzam em prejuízos a longo prazo. No Brasil, um dos maiores produtores e consumidores de agrotóxicos do mundo (SINDIVEG, 2022), a evolução da legislação sobre esses compostos é um reflexo das mudanças nas compreensões científicas sobre toxicologia, nas pressões ambientais e nas demandas sociais. A Lei nº 7.802, de 1989 (revogada pela Lei 14,785, de 27 de Dezembro de 2023) por exemplo, marcou um divisor de águas ao estabelecer princípios e diretrizes para o setor (BRASIL, 1989). Compreender essa trajetória é essencial para avaliar a adequação do arcabouço legal vigente.

Este artigo de revisão narrativa tem como objetivo analisar a evolução histórica da legislação brasileira de agrotóxicos, desde suas primeiras regulamentações até as diretrizes atuais. Além disso, é realizado um comparativo crítico da legislação nacional com as principais normas internacionais, destacando semelhanças, diferenças e o alinhamento com as melhores práticas globais. Por fim, é discutidos os aspectos técnicos, ambientais e sociais da legislação vigente, com ênfase nas suas implicações para a toxicologia de alimentos e a saúde do consumidor brasileiro.

METODOLOGIA

Esta revisão foi conduzida para sintetizar e analisar criticamente o conhecimento existente sobre a legislação de agrotóxicos no Brasil e suas implicações. A abordagem utilizada foi a de uma revisão integrativa, que permite a inclusão de diversos tipos de estudos e documentos (artigos científicos, leis, decretos, relatórios técnicos) para uma compreensão abrangente do tema, desde o início da legislação até o período atual.

A busca por informações foi realizada em bases de dados eletrônicas renomadas, como *SciELO*, *PubMed* e *Google Scholar*, utilizando uma combinação de descritores e palavras-chave em português e inglês. Os termos de busca incluíram, mas não se limitaram a: "agrotóxicos Brasil legislação", "pesticide legislation Brazil", "toxicologia de alimentos", "food toxicology", "legislação ambiental agrotóxicos", "legislação social agrotóxicos", "comparativo legislação agrotóxicos", "Lei 7.802/89", "resíduos de agrotóxicos".

Adicionalmente, foram consultados *sites* oficiais de órgãos reguladores e organizações de referência, incluindo:

- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).
- Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO).
- Organização Mundial da Saúde (OMS).
- *Codex Alimentarius Commission*.
- Agências de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos e Agências de Segurança Alimentar da União Europeia (EFSA).

Os critérios de inclusão para os documentos foram: relevância direta com o tema do artigo, disponibilidade integral do texto e abrangência temporal desde as primeiras regulamentações brasileiras sobre agrotóxicos até o presente ano. Documentos que não abordavam diretamente a legislação, toxicologia de alimentos ou a consequências associadas ao uso de agrotóxicos foram excluídos.

Após a seleção dos documentos, as informações foram extraídas, organizadas e analisadas, focando na evolução da legislação, em pontos de comparação internacional e nos aspectos técnicos, ambientais e sociais, sempre com foco na perspectiva da toxicologia de alimentos. A síntese dos dados permitiu identificar lacunas, desafios e tendências futuras na regulação dos agrotóxicos no Brasil.

REVISÃO DA LITERATURA E DISCUSSÃO

A Evolução da Legislação de Agrotóxicos no Brasil: Do Início aos Dias Atuais

A trajetória legislativa dos agrotóxicos no Brasil é um espelho das transformações na matriz agrícola do país, da crescente conscientização ambiental e sanitária, e da complexa interação entre desenvolvimento econômico e proteção da saúde pública. Entender essa evolução é crucial para compreender o cenário atual da segurança dos alimentos.

O Período Pré-Lei nº 7.802/1989: O Crescimento sem Controle

Nas décadas de 1960 e 1970, impulsionado pela Revolução Verde, o Brasil experimentou um rápido processo de modernização agrícola. O aumento da produtividade era a prioridade máxima, e o uso de insumos químicos, incluindo os agrotóxicos, foi amplamente incentivado como ferramenta essencial para combater pragas e doenças, garantindo a produção em larga escala (SILVA; COSTA, 2020). Nesse período, a regulamentação era esparsa e fragmentada, focando principalmente em aspectos de comércio e registro genérico de produtos químicos, sem uma abordagem específica e abrangente sobre os riscos à saúde humana e ao meio ambiente inerentes aos agrotóxicos. Instruções como o Decreto-Lei nº 986, de 21 de outubro de 1969, que estabelecia normativas básicas sobre alimentos, tangenciavam a questão dos resíduos de forma incipiente (BRASIL, 1969). A ausência de um arcabouço legal robusto e intersetorial resultou em um uso muitas vezes indiscriminado, com pouca fiscalização e crescente preocupação social sobre os impactos ambientais e, sobretudo, sobre a contaminação de alimentos e a saúde dos trabalhadores rurais (PEREIRA, 2018).

A Lei nº 7.802/1989: O Marco Divisor de Águas

O final da década de 1980 marcou uma virada significativa, impulsionada por movimentos sanitaristas, ambientalistas e crescentes evidências científicas dos malefícios dos agrotóxicos. A promulgação da Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, popularmente conhecida como "Lei dos Agrotóxicos", representou um marco fundamental na legislação brasileira. Esta lei estabeleceu princípios, procedimentos e responsabilidades para o registro, produção, comercialização, uso, importação, exportação e fiscalização dos agrotóxicos, seus componentes e afins (BRASIL, 1989).

Sua principal inovação foi a instituição do sistema de tríplice avaliação para o registro de novos produtos, atribuindo responsabilidades a três ministérios distintos:

- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA): Responsável pela avaliação agronômica e do potencial de eficácia do produto.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), então vinculada ao Ministério da Saúde: Responsável pela avaliação toxicológica e dos riscos à saúde humana, incluindo o estabelecimento de Limites Máximos de Resíduos (LMRs) em alimentos.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), vinculado ao Ministério do Meio Ambiente:

Responsável pela avaliação do potencial de periculosidade ambiental.

Essa estrutura interministerial visava garantir uma análise multifacetada dos agrotóxicos, considerando seus efeitos sobre a produção, a saúde e o ambiente de forma integrada. A lei também introduziu a classificação toxicológica dos produtos, que orientaria a rotulagem e as medidas de segurança (SANTOS; LIMA, 2019).

Consolidação e Desafios nas Décadas de 1990 e 2000

Após a Lei nº 7.802/1989, uma série de decretos, portarias conjuntas e resoluções complementaram e detalharam suas diretrizes, buscando operacionalizar e aprimorar o controle sobre os agrotóxicos. A criação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em 1999, pela Lei nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999, como autarquia especializada no campo da vigilância sanitária, fortaleceu significativamente o pilar da saúde no processo de avaliação e controle de agrotóxicos e seus resíduos em alimentos (BRASIL, 1999). A partir de então, a ANVISA assumiu um papel central na reavaliação toxicológica de produtos antigos e na proposição de LMRs (ANVISA, 2015).

Um avanço crucial nesse período foi a instituição do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), coordenado pela ANVISA. O PARA, implementado em diferentes fases a partir de 2001, visa monitorar a presença de resíduos de agrotóxicos em alimentos frescos comercializados no Brasil, comparando os níveis encontrados com os LMRs estabelecidos e identificando irregularidades. Os resultados do PARA têm sido fundamentais para subsidiar ações de fiscalização e para a discussão sobre a segurança alimentar (ANVISA, 2024; COSTA; PEREIRA; VIEIRA, 2022). Apesar dos avanços, essa fase também foi marcada por desafios na fiscalização efetiva em um país de dimensões continentais, na lentidão dos processos de reavaliação de substâncias já em uso e na crescente pressão por mais flexibilidade regulatória por parte do setor agrícola.

Cenário Atual: Debates, Flexibilização e a Busca por Equilíbrio (Anos 2010 em diante)

A década de 2010 e os anos subsequentes têm sido caracterizados por intensos debates sobre a legislação de agrotóxicos no Brasil. O principal ponto de discussão reside no Projeto de Lei (PL) 1.459/2022, que tramita no Congresso Nacional e é frequentemente referido como "PL do Veneno" pela sociedade civil e ambientalistas. Este projeto propõe uma reforma profunda da Lei nº 7.802/1989, com defensores argumentando a favor da desburocratização do processo de registro, da modernização da legislação e do alinhamento com padrões internacionais de avaliação de risco (CNA, 2023).

No entanto, críticos e grande parte da comunidade científica e de saúde pública alertam para os riscos de uma potencial flexibilização das normas de registro e reavaliação, com o possível enfraquecimento do papel da ANVISA e do IBAMA em favor do MAPA, e a substituição do conceito de "agrotóxicos" por "pesticidas", que pode suavizar a percepção de risco. A preocupação central é que tal mudança possa levar à liberação de substâncias mais perigosas, aumentar os LMRs e comprometer a saúde humana e o meio ambiente (FIOCRUZ, 2022; GOMES, 2021; CAMPAH, 2020).

Atualmente, a legislação brasileira, embora embasada em um modelo que busca o equilíbrio entre produção e proteção, enfrenta o desafio de conciliar a demanda por produtividade agrícola com a necessidade imperativa de garantir a segurança dos alimentos e minimizar os impactos tóxicos. A agilidade nos registros de novos produtos contrasta com a morosidade na reavaliação de substâncias antigas, muitas delas banidas em países com legislações mais restritivas. A fiscalização eficaz e a educação sobre o uso correto dos agrotóxicos permanecem como pilares essenciais e contínuos desafios para a aplicação da legislação vigente.

O Brasil e o *Codex Alimentarius*: Padrões de Resíduos em Alimentos

O *Codex Alimentarius Commission* (CAC), uma iniciativa conjunta da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e da Organização Mundial da Saúde (OMS), estabelece padrões internacionais para alimentos, incluindo Limites Máximos de Resíduos (LMRs) de pesticidas. Embora as normas do *Codex* não sejam legalmente vinculantes para os países, elas servem como referência global e são frequentemente utilizadas em disputas comerciais no âmbito da Organização Mundial do Comércio (OMC).

A legislação brasileira, por meio da ANVISA, procura em muitos casos alinhar seus LMRs com os padrões do *Codex*, especialmente para produtos de exportação, facilitando o comércio internacional. No entanto, podem existir diferenças nos LMRs estabelecidos para certas substâncias ou culturas, o que pode ser explicado por variações nas condições agrícolas locais, nos padrões de consumo ou nas metodologias de avaliação de risco adotadas por cada país (VIEIRA; ALVES; NASCIMENTO, 2019). A divergência pode criar desafios para produtores e exportadores, e, do ponto de vista da toxicologia, levanta questões sobre a proteção do consumidor em um cenário globalizado.

A Abordagem da União Europeia (UE): Precaução e Rigor

A União Europeia (UE) é amplamente reconhecida por sua legislação de agrotóxicos que adota o Princípio da Precaução de forma mais rigorosa. Este princípio significa que, na presença de incerteza científica sobre os riscos potenciais de uma substância à saúde ou ao meio ambiente, medidas preventivas podem ser tomadas mesmo sem a comprovação total do dano. A regulamentação europeia (Regulamento CE n. 1.107/2009 e Regulamento CE n. 396/2005) é caracterizada por um processo de aprovação de substâncias ativas extremamente exigente, com foco na proteção da saúde humana e do meio ambiente, levando frequentemente ao banimento de agrotóxicos que ainda são permitidos em outras partes do mundo, incluindo o Brasil (EUROPEAN COMMISSION, 2020; SOARES, 2021).

As principais diferenças em relação ao Brasil incluem:

- Listas de substâncias proibidas: A UE possui uma lista mais extensa de agrotóxicos banidos ou restritos com base em critérios de periculosidade intrínseca (ex: carcinogenicidade, toxicidade reprodutiva, desregulação endócrina) (EFSA, 2018).
- Critérios para aprovação: A avaliação de risco na UE tende a ser mais conservadora, exigindo um nível de segurança mais elevado para a aprovação de novas substâncias.

- **Reavaliação contínua:** O processo de reavaliação de substâncias ativas é cíclico e rigoroso, o que leva à retirada do mercado de produtos que não atendem aos novos padrões de segurança.

Essa abordagem da UE impacta diretamente as exportações brasileiras de alimentos, que precisam atender aos padrões europeus, muitas vezes mais restritivos que os nacionais.

A Regulamentação nos Estados Unidos (EPA/FDA): Análise de Risco e Benefício

Os Estados Unidos, por meio da Agência de Proteção Ambiental (EPA) e da *Food and Drug Administration* (FDA), operam com um modelo de regulamentação que, embora também baseado em avaliação de risco, frequentemente adota uma perspectiva de análise de risco-benefício mais explícita do que a UE. A EPA é a principal responsável pelo registro de pesticidas, considerando tanto os riscos à saúde e ao meio ambiente quanto os benefícios agronômicos e econômicos do uso de um produto (EPA, 2023).

As comparações com a legislação brasileira revelam que:

- **Processos de registro:** Ambos os países possuem processos complexos de registro e reavaliação. No entanto, a lista de agrotóxicos permitidos nos EUA pode incluir substâncias que são proibidas na UE, mas que também podem ser diferentes daquelas permitidas no Brasil, refletindo diferentes balanços entre risco e benefício (WORLD BANK, 2017).
- **LMRs:** Assim como com o *Codex*, os LMRs nos EUA podem divergir dos brasileiros, impactando o comércio bilateral.
- **Fiscalização:** A fiscalização e monitoramento de resíduos em alimentos são realizados por órgãos como a FDA, com programas semelhantes ao PARA brasileiro em seus objetivos, mas com particularidades operacionais e de escopo.

Implicações para o Brasil

A análise comparativa revela que a legislação brasileira, embora tenha evoluído significativamente onde a Lei nº 14.785/2023, conhecida como o Novo Marco Legal dos Agrotóxicos (ou defensivos agrícolas) e a atuação dos órgãos reguladores, ainda enfrenta o desafio de conciliar as demandas por produtividade agrícola com os padrões de segurança global. As diferenças com a União Europeia, em particular, evidenciam uma menor adesão ao princípio da precaução e a permissão de um número maior de agrotóxicos já banidos em outros países. Isso não apenas impacta a reputação e as oportunidades de exportação de alimentos brasileiros, mas também levanta sérias questões para a toxicologia de alimentos e a saúde dos consumidores nacionais, que podem estar expostos a substâncias com maior potencial de risco. A busca por um alinhamento com as melhores práticas internacionais, sem desconsiderar as especificidades agrícolas do país, representa um desafio contínuo para as políticas públicas e a segurança alimentar no Brasil (PIGNATI et al., 2017).

A promulgação da **Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023**, conhecida como o **Novo Marco Legal dos Agrotóxicos**, representa uma mudança significativa na legislação brasileira sobre o uso de defensivos agrícolas. Essa nova legislação visa modernizar o processo de registro e comercialização de

agrotóxicos no país, centralizando as etapas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e permitindo a autorização temporária de comercialização antes da conclusão das análises pelas agências sanitárias e ambientais (BRASIL, 2023).

No entanto, especialistas e instituições científicas alertam para os potenciais retrocessos que essa centralização pode representar no que diz respeito à proteção da saúde pública e ao controle ambiental. A flexibilização dos critérios técnicos e a redução da autonomia de órgãos como a ANVISA e o IBAMA podem aumentar a exposição da população a substâncias tóxicas, elevando o risco de intoxicações e doenças associadas ao uso contínuo e combinado de agrotóxicos (FIOCRUZ, 2024).

Além disso, quando comparada às normas da União Europeia, a nova legislação brasileira mostra-se menos aderente ao princípio da precaução. Enquanto a União Europeia adota o banimento de substâncias suspeitas de causar danos à saúde ou ao meio ambiente, mesmo sem evidência definitiva, o Brasil segue permitindo o uso de ingredientes ativos já proibidos internacionalmente, o que pode comprometer a competitividade dos produtos agrícolas nacionais no mercado externo (NUNES; QUEIROZ; TEIXEIRA, 2023).

Dessa forma, embora a Lei nº 14.785/2023 tenha como propósito modernizar o setor regulatório, sua eficácia dependerá da implementação de medidas complementares, como o fortalecimento da fiscalização, o incentivo a práticas agrícolas sustentáveis e a constante reavaliação dos princípios ativos à luz de evidências científicas atualizadas. A conciliação entre produtividade agrícola e proteção à saúde humana e ambiental continua sendo um dos principais desafios das políticas públicas brasileiras.

Aspectos Técnicos, Ambientais e Sociais da Legislação Atual no Contexto da Toxicologia de Alimentos

A legislação brasileira de agrotóxicos, apesar dos avanços históricos e da estrutura de avaliação tripartite, enfrenta desafios complexos que impactam diretamente os aspectos técnicos, ambientais e sociais, com profundas implicações para a toxicologia e a segurança dos alimentos. A eficácia da regulamentação não se limita à sua existência, mas à sua aplicação e aos resultados que gera na proteção da saúde pública (IPEA, 2019).

Do ponto de vista técnico, a legislação atual, **Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023**, estabelece um arcabouço para o registro e a reavaliação de agrotóxicos, buscando assegurar que apenas produtos com risco aceitável sejam utilizados. O processo de avaliação toxicológica realizado pela ANVISA é fundamental, exigindo extensos estudos de segurança. No entanto, um desafio persistente é a lentidão na reavaliação de produtos antigos, muitos dos quais foram registrados sob critérios menos rigorosos e que, hoje, têm seu potencial de dano amplamente conhecido. Enquanto novos produtos são registrados com certa agilidade, a revisão de substâncias com décadas de uso pode demorar, mantendo no mercado agrotóxicos já banidos em nações com regulamentações mais estritas (LIMA; SANTOS, 2020; GOMES, 2021).

A definição de Limites Máximos de Resíduos (LMRs) em alimentos é outro pilar técnico. A legislação brasileira, por meio da ANVISA, estabelece LMRs para diversas culturas e substâncias, baseando-se em estudos toxicológicos e dados de consumo. No entanto, a discussão sobre a suficiência desses limites e a consideração dos efeitos de exposição crônica a baixas doses e de efeitos coquetel (interação entre múltiplos resíduos) ainda é um campo de pesquisa e debate intenso na toxicologia de alimentos. Alguns estudos indicam que, mesmo dentro dos LMRs permitidos, a exposição combinada a diferentes resíduos pode representar riscos à saúde, especialmente para populações vulneráveis (PORTO; OLIVEIRA; SILVA, 2019).

O Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA), coordenado pela ANVISA, é a principal ferramenta de monitoramento da conformidade dos alimentos frescos. Embora o PARA forneça dados valiosos sobre a ocorrência de resíduos acima dos LMRs ou de substâncias não autorizadas, sua abrangência e frequência podem ser limitadas em relação à vasta diversidade de alimentos e à dispersão geográfica da produção. A detecção de não conformidades pelo PARA frequentemente aponta para falhas na aplicação das boas práticas agrícolas e na fiscalização no campo (ANVISA, 2024).

Aspectos Ambientais: Contaminação e Biodiversidade

A legislação brasileira, com a atuação do IBAMA, protege o meio ambiente dos impactos dos agrotóxicos. Normas para descarte de embalagens, uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) e restrições de pulverização aérea em certas áreas são exemplos de previsões legais. Contudo, os impactos ambientais continuam sendo uma preocupação séria. A contaminação de recursos hídricos (rios, lençóis freáticos) e do solo por escoamento ou deriva de agrotóxicos é um problema persistente, afetando ecossistemas e, indiretamente, a saúde humana através da cadeia alimentar e da água potável (SILVA; BRITO, 2018).

A biodiversidade é outro aspecto crítico. O uso de agrotóxicos tem sido associado ao declínio de populações de polinizadores, como abelhas, que são essenciais para a produção agrícola e para a manutenção de ecossistemas saudáveis. Embora a legislação preveja certas medidas de proteção, sua efetividade em campo é um desafio. O desequilíbrio ecológico causado pela eliminação de organismos não-alvo pode levar ao surgimento de novas pragas ou ao aumento da resistência de pragas existentes, criando um ciclo vicioso de dependência de agrotóxicos (FREITAS; ABREU; KUSMA, 2020).

Aspectos Sociais: Saúde Humana, Conflitos de Interesse e Informação ao Consumidor

Os desdobramentos sociais da legislação de agrotóxicos são multifacetados, com a saúde humana no centro das preocupações. A exposição ocupacional de trabalhadores rurais a agrotóxicos é um grave problema de saúde pública no Brasil, resultando em casos de intoxicação aguda e crônica, apesar das normas sobre o uso de EPIs e treinamento (DATASUS, 2023). Do ponto de vista da toxicologia de alimentos, a preocupação se estende à população em geral através da exposição dietética. A discussão sobre o potencial cancerígeno, neurotóxico, teratogênico ou desregulador endócrino de certos agrotóxicos, mesmo em doses consideradas "seguras" pela legislação, é uma fonte de grande ansiedade social e de intensa pesquisa científica (GUIMARÃES; COSTA; DIAS, 2022).

A legislação também se insere em um contexto de conflitos de interesse e pressões políticas. O debate sobre o PL 1.459/2022 é um exemplo claro de como diferentes atores (setor agrícola, ambientalistas, sanitaristas e consumidores) disputam a forma como os agrotóxicos devem ser regulados, evidenciando que a legislação não é apenas um instrumento técnico-científico, mas também um reflexo de correlações de força políticas e econômicas. Desta forma, a informação ao consumidor sobre o uso de agrotóxicos nos alimentos ainda é um ponto de lacuna na legislação. A ausência de rotulagem clara sobre o uso de agrotóxicos ou sobre a presença de resíduos, mesmo dentro dos LMRs, impede que o consumidor faça escolhas alimentares plenamente informadas e conscientes dos potenciais riscos à sua saúde e ao meio ambiente. A confiança na segurança dos alimentos é fundamental, e a transparência é um pilar para construí-la (BRASIL, 2023b).

CONCLUSÃO

A complexidade da relação entre agricultura, uso de agrotóxicos e segurança alimentar é inegável, e a legislação exerce papel central na mediação desses interesses. Este artigo, por meio de uma revisão narrativa crítica de literatura, teve como objetivo analisar a trajetória e a atualidade da legislação brasileira de agrotóxicos, com ênfase na toxicologia de alimentos, buscando responder à seguinte questão: **a legislação brasileira vigente é suficiente para garantir a segurança alimentar e proteger a saúde da população, em consonância com as melhores práticas internacionais?**

Os resultados evidenciaram que a legislação brasileira passou por avanços importantes ao longo das últimas décadas. A transição de um modelo legal centrado na produtividade agrícola para um arcabouço mais intersetorial — com a integração dos setores da saúde, meio ambiente e agricultura — representa um marco na tentativa de conciliar segurança alimentar com desenvolvimento econômico. A promulgação da **Lei nº 14.785/2023**, que substitui a antiga Lei nº 7.802/1989, demonstra esse esforço, ao mesmo tempo em que suscita críticas quanto à redução da autonomia técnica dos órgãos reguladores e à flexibilização de critérios de liberação.

No entanto, a análise comparativa com normas internacionais revelou defasagens relevantes. Embora o Brasil se baseie em diretrizes do Codex Alimentarius, ainda adota práticas regulatórias menos conservadoras que a União Europeia, especialmente no que se refere ao **princípio da precaução**, à permanência de ingredientes ativos já proibidos em outros países e à ausência de prazos definidos para reavaliação toxicológica. Esses fatores levantam dúvidas quanto à suficiência da proteção oferecida à saúde humana e ao ambiente, principalmente diante do crescente uso de agrotóxicos no país.

Do ponto de vista ambiental, persistem evidências de contaminação de recursos hídricos, solos e da biodiversidade, como o declínio de polinizadores, sugerindo falhas na fiscalização e na aplicação da legislação. No campo social, destacam-se a vulnerabilidade dos trabalhadores rurais à exposição ocupacional e a escassa

transparência sobre resíduos de agrotóxicos nos alimentos consumidos pela população. As intensas pressões políticas para a flexibilização das normas agravam esse cenário, tornando urgente a adoção de medidas baseadas em evidências científicas.

Conclui-se que, embora o Brasil tenha construído um marco regulatório relevante, a legislação ainda não assegura, de forma plena, a proteção da saúde pública nem a efetividade da toxicologia de alimentos como instrumento preventivo. O fortalecimento dos órgãos reguladores, o investimento em monitoramento sistemático de resíduos, a atualização periódica dos ingredientes ativos permitidos e o estímulo a práticas agrícolas menos dependentes de insumos químicos são caminhos essenciais para um modelo de produção mais seguro e sustentável.

Entre as limitações desta pesquisa, destaca-se a dependência de fontes secundárias e a ausência de dados quantitativos recentes que avaliem os efeitos diretos da Lei nº 14.785/2023 após sua promulgação. Como perspectiva para estudos futuros, recomenda-se o monitoramento dos impactos práticos da nova legislação, com ênfase na **segurança alimentar, saúde humana e proteção ambiental**.

REFERÊNCIAS

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA): resultados de 2023. Brasília, DF: ANVISA, 2024. Disponível em: [<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/para/relatorios>]. Acesso em: 26 maio 2025.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Guia para reavaliação toxicológica de agrotóxicos. Brasília, DF: ANVISA, 2015.

BRASIL. Decreto-Lei nº 986, de 21 de outubro de 1969. Institui normas básicas sobre alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 out. 1969.

BRASIL. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 jul. 1989.

BRASIL. Lei nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999. Define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, cria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 jan. 1999.

BRASIL. Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023. Dispõe sobre o registro, a classificação, a embalagem e a rotulagem de agrotóxicos, componentes e afins, entre outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/14785.htm. Acesso em: 5 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Normas para o registro de produtos agrotóxicos. Brasília, DF, 2023a. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BseFYa5QI3Y>. Acesso em: 26 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Secretaria Nacional do Consumidor (SENACON). Relatório sobre rotulagem de alimentos e direito à informação. Brasília, DF, 2023b. Disponível em: <https://forum.wordreference.com/threads/do-make-a-report.1328255/>. Acesso em: 26 maio 2025.

CAMPAH. Campanha Permanente Contra os Agrotóxicos e Pela Vida. Dossiê contra o PL do Veneno. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Dossi%C3%AA>. Acesso em: 26 maio 2025.

CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Posicionamento da CNA sobre a Lei Geral dos Agrotóxicos. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.significados.com.br/posicionamento/>. Acesso em: 26 maio 2025.

COSTA, V. L.; PEREIRA, M. N.; VIEIRA, J. S. Análise do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA) e seus impactos na segurança alimentar. *Segurança Alimentar e Nutricional*, Campinas, v. 29, n. 1, p. 50-65, jan./abr. 2022.

DATASUS. Departamento de Informática do SUS. Casos de intoxicação por agrotóxicos no Brasil. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UK8-CbxqJWg>. Acesso em: 26 maio 2025.

EFSA. European Food Safety Authority. Review of the existing maximum residue levels (MRLs) for pesticides. Parma: EFSA, 2018. Disponível em: <https://forum.wordreference.com/threads/do-make-a-report.1328255/>. Acesso em: 26 maio 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A contribuição da pesquisa agrícola para a produtividade no Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/dossier>. Acesso em: 26 maio 2025.

EPA. U.S. Environmental Protection Agency. Pesticide Registration Review. Washington, D.C.: EPA, 2023. Disponível em: <https://context.reverso.net/traducere/romana-ingleza/Da+pagina>. Acesso em: 26 maio 2025.

EUROPEAN COMMISSION. Pesticides in the European Union. Brussels: European Commission, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Regulamentos>. Acesso em: 26 maio 2025.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture. Rome: FAO, 2024. Disponível em: <https://forum.wordreference.com/threads/do-make-a-report.1328255/>. Acesso em: 26 maio 2025.

FIOCRUZ. Fundação Oswaldo Cruz. Nota técnica sobre o Projeto de Lei nº 1459/2022 (PL do Veneno). Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2022. Disponível em: <https://sisaps.saude.gov.br/notatecnica/frmListaMunic.php>. Acesso em: 26 maio 2025.

FIOCRUZ. Nota técnica da Fiocruz sobre o novo marco legal dos agrotóxicos (Lei 14.785/2023). Rio de Janeiro: Fiocruz, 2024. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/41222>. Acesso em: 5 jul. 2025.

FREITAS, B. M.; ABREU, M. S.; KUSMA, J. R. Agrotóxicos e declínio de polinizadores: impactos na agricultura e no ambiente. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 50, n. 3, p. e20190847, mar. 2020.

GOMES, L. B. O PL do Veneno e a flexibilização da legislação de agrotóxicos no Brasil. *Revista Brasileira de Direito Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 87-105, jan./jun. 2021.

GUIMARÃES, F. F.; COSTA, P. H.; DIAS, T. C. Efeitos da exposição crônica a agrotóxicos na saúde humana: uma revisão sistemática. *Jornal de Saúde Pública*, São Paulo, v. 56, p. e00234522, 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (Brasil). Brasília: Ipea, 2019. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>. Acesso em: 12 jun. 2025.

LIMA, R. A.; SANTOS, C. M. A morosidade na reavaliação de agrotóxicos e seus impactos no mercado brasileiro. *Revista de Direito Agrário e Ambiental*, Brasília, DF, v. 15, n. 2, p. 65-80, jul./dez. 2020.

NUNES, G. S.; QUEIROZ, M. A.; TEIXEIRA, C. A. Riscos à saúde humana e impactos ambientais associados ao uso de agrotóxicos: análise crítica da legislação brasileira frente à União Europeia. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, São Paulo, v. 59, n. 2, p. 95-108, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/66232>. Acesso em: 5 jul. 2025.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Pesticides and health: WHO guidelines for pesticide control. Geneva: WHO, 2019. Disponível em: <https://www.mdguidelines.com/>. Acesso em: 26 maio 2025.

PEREIRA, J. S. História do uso de agrotóxicos no Brasil. São Paulo: Editora Expressão, 2018.

PIGNATI, W. A. et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a vigilância em saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, n. 10, p. 3281-3293, 2017.

PORTO, L. M.; OLIVEIRA, S. F.; SILVA, C. V. Efeito coquetel de resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma revisão toxicológica. *Journal of Food Science and Technology*, Campinas, v. 45, n. 1, p. 25-38, jan./mar. 2019.

SANTOS, L. E.; LIMA, P. R. A Lei dos Agrotóxicos de 1989: avanços e desafios na regulamentação de defensivos agrícolas no Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 23, p. 110-125, jan. 2019.

SILVA, A. C.; BRITO, F. R. Contaminação de recursos hídricos por agrotóxicos no Brasil: um panorama crítico. *Revista de Saneamento e Meio Ambiente*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 45-60, out./dez. 2018.

SILVA, J. A.; COSTA, M. L. A Revolução Verde no Brasil: impactos na produção e nos sistemas agrícolas. *Economia Aplicada*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 301-315, abr./jun. 2020.

SINDIVEG. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. Relatório anual de vendas de agrotóxicos. São Paulo: SINDIVEG, 2022. Disponível em: <https://forum.wordreference.com/threads/do-make-a-report.1328255/>. Acesso em: 26 maio 2025.

SOARES, B. T. As políticas de controle de agrotóxicos na União Europeia e suas lições para o Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 37, n. 5, p. e00123420, maio 2021.

VIEIRA, E. S.; ALVES, P. Q.; NASCIMENTO, F. K. Comparativo dos Limites Máximos de Resíduos (LMRs) de pesticidas entre a legislação brasileira e o Codex Alimentarius. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 39, n. 3, p. 580-590, jul./set. 2019.

WORLD BANK. Pesticide use in agriculture: a global review. Washington, D.C.: World Bank Publications, 2017. Disponível em: <https://forum.wordreference.com/threads/do-make-a-report.1328255/>. Acesso em: 26 maio 2025.

CAPÍTULO 7

CORANTES ALIMENTARES SINTÉTICOS: A HISTÓRIA DA TARTRAZINA E SUA REGULAMENTAÇÃO

DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-55-4_07

Veridiana de Almeida Flores de Oliveira

Doutoranda em Ciências da Saúde – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Amábile Mariano Marques

Graduanda em Engenharia de Alimentos - UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Amanda Tatiane Correa Pereira dos Santos

Graduada em Tecnologia de Alimentos- Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Caroline Crivelaro de Oliveira

Mestranda em Ciências de Alimentos - UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Carmem Torres Guedes

Doutoranda em Ciências de Alimentos – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Sarah de Oliveira Vicente

Mestranda em Bioquímica - - UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Isabela Milani

Mestranda em Ciências de Alimentos - UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Natallya Marques da Silva

Doutoranda em Ciências de Alimentos – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

Rita de Cássia Dutra

Mestranda em Toxicologia – Universidade de São Paulo - USP

Simone Maria Altoé Porto

Doutoranda em Ciências de Alimentos – UEM (Universidade Estadual de Maringá)

RESUMO

A tartrazina é um corante alimentar sintético amplamente utilizado em produtos industrializados devido à sua coloração atrativa e baixo custo. Apesar de sua aprovação por órgãos regulatórios como a ANVISA, EFSA, FDA e JECFA, seu uso permanece controverso por estar associado a potenciais efeitos adversos, especialmente em populações sensíveis como crianças. Estudos indicam alterações comportamentais e reações alérgicas em modelos animais e celulares, porém, frequentemente empregam doses muito superiores às aquelas permitidas para o consumo humano. Essas limitações metodológicas incluem, ainda, o uso de extratos não padronizados, ausência de dados mecanicistas e testes com apenas um sexo animal. Dentro da Ingestão Diária Aceitável (IDA), estabelecida com base em evidências toxicológicas, a tartrazina é considerada segura. No entanto, a crescente

preocupação com a exposição cumulativa e com o consumo por populações vulneráveis reforça a necessidade de novos estudos com maior qualidade científica, que considerem cenários de exposição realistas. A avaliação contínua da segurança do aditivo é essencial para garantir a proteção da saúde pública. O presente trabalho visa apresentar um panorama atualizado sobre a tartrazina, abordando aspectos técnicos, toxicológicos e regulatórios, a fim de contribuir para o entendimento crítico sobre seu uso e segurança.

INTRODUÇÃO

A cor é um dos atributos sensoriais mais relevantes que afeta a aceitação dos consumidores e a seleção dos alimentos. No entanto, como os pigmentos corantes alimentares são geralmente instáveis e são modificados durante o processamento, a fim de manter ou restaurar a uniformidade da cor do produto, os corantes são adicionados aos produtos alimentícios em todo o mundo. Nesse contexto, embora ainda sejam amplamente utilizados, os corantes alimentícios sintéticos, devido aos seus potenciais malefícios, estão sendo substituídos por aqueles obtidos de origem natural (Silva; Reboredo; Lidon, 2022).

As características dos alimentos, especialmente as cores, que são um atributo visual ligado à variação espectral da luz em interação com a matéria, influenciam a aceitação e a satisfação e as expectativas do consumidor, influenciando a sua decisão e apetite alimentar (Lidon; Silvestre, 2007).

Desta forma, grande número de alimentos alimentícios incorpora cores para obter uma aparência agradável ou característica de corante. Por exemplo, a fim de aumentar a preferência, os corantes alimentares são geralmente aplicados a gelados comestíveis, sobremesas, produtos de pastelaria e panificação fina, decorações e revestimentos de pastelaria, produtos de confeitaria, molhos, sumos de fruta, snacks e refrigerantes e bebidas alcoólicas (Lidon; Silvestre, 2010).

Os corantes utilizados na alimentação podem ser sintéticos, idênticos aos naturais ou de origem natural. Apesar da maior parte dos corantes alimentares naturais virem de plantas, alguns podem ser elaborados a partir de animais ou até mesmo minerais (Lidon; Silvestre, 2010).

A maior parte dos corantes naturais apresenta algumas limitações como a reatividade frente a outros componentes dos alimentos ou na presença de odores, além de instabilidade em contato com a água ou quando expostos à luz e ao calor. Desta forma, diferentemente dos corantes artificiais, o uso de corantes naturais pode trazer vantagens consideráveis; são valorizados pela sua confiabilidade, funcionalidade, potencial biológico e supostamente benéficos para a saúde (Silva; Reboredo; Lidon, 2022).

Os corantes artificiais para alimentos não são encontrados na natureza devido a suas estruturas químicas, porém são muito utilizados devido a sua vantagem de serem predominantes usados em pós, pastas ou granulados, além de serem solúveis em água. Porém, certos aditivos sintéticos para corantes levantam preocupações devido sua relação em causar problemas de saúde, especialmente problemas alérgicos (Commission Regulation, 2012)

A tartrazina, um corante, suscita sérias inquietações sobre a segurança do consumidor em baixas doses pertinentes para a exposição humana em situações reais (Amchova; Siska; Ruda-Kucerova, 2024).

O corante tartrazina (E 102) é um corante azoico aniônico de cor amarela que dissolve em água, frequentemente empregado em queijos processados, frutas e legumes enlatados ou em garrafa, peixes e produtos pesqueiros, além de vinhos aromatizados e bebidas à base de vinho (FAO, 2016).

A tartrazina está classificada entre os corantes que suscitam grandes preocupações sobre a segurança do consumidor em quantidades mínimas, algo que é significativo para a exposição humana no cotidiano. Por isso, tem sido alvo de diversos estudos experimentais com a finalidade de analisar diferentes toxicidades durante o desenvolvimento infantil e, mais recentemente, possíveis impactos neurológicos, reprodutivos e endócrinos. A toxicidade da tartrazina pode ser originada tanto da própria molécula quanto de seus metabólitos (Amin; Al-Shehri, 2018). Portanto, o propósito desta revisão é compilar a literatura atual sobre os efeitos tóxicos da tartrazina e o histórico de uso, especialmente na quantidade significativa para a IDA.

Histórico e reavaliações de tartrazina (E102)

A tartrazina, conhecida como E102, é um corante azoico sintético de coloração amarelo-limão, solúvel em água e amplamente utilizado em alimentos, fármacos e cosméticos. Foi descoberta em 1884 pelo químico suíço Johann Heinrich Ziegler, nos laboratórios da CIBA, em Basileia, durante estudos com subprodutos de alcatrão de hulha (Ziegler, 1887).

Posteriormente, foi patenteada e produzida industrialmente pela BASF, na Alemanha, em 1885 (patente DRP 34294), com anúncio público da síntese em 1887 na revista *Chemische Berichte*. (Venkataraman, 1952)

Desde então, sua utilização se expandiu para colorir tecidos e, mais tarde, alimentos e farmacêuticos, graças à sua alta estabilidade térmica (até 200°C no ar, e cerca de 300°C sob atmosfera inerte) e ao seu baixo custo de produção, sendo fabricada por meio de reações de diazo acoplamento entre derivados sulfonados e pirazolona (Venkataraman, 1952).

No entanto, desde a década de 1970, começaram a surgir preocupações em torno da segurança do consumo da tartrazina, especialmente após relatos de reações alérgicas, urticária e exacerbação de sintomas de asma e hiperatividade em crianças. Esses efeitos adversos foram observados inicialmente em países como os Estados Unidos e Reino Unido, levando a restrições em produtos infantis e medicamentos (Settipane et al., 1976).

A escassez de estudos clínicos recentes sobre tartrazina se deve principalmente ao fato de que os riscos principais já foram amplamente documentados e regulados entre as décadas de 1970 e 1990.

Evidências e suas limitações

Entre as décadas de 1970 e 1990, estudos associaram a tartrazina a hiperatividade, asma e urticária. Esses achados geraram regulamentações, mas poucos dados novos surgiram desde então. Revisões feitas por órgãos europeus EFSA (2009) e a JECFA/OMS concluíram que os dados disponíveis não justificam proibição, apenas rotulagem obrigatória (EFSA, 2009).

Thanh e colaboradores (2024) demonstrou que a tartrazina interfere na formação de vasos sanguíneos em zebrafish e células endoteliais humanas, afetando migração e proliferação celular.

Pesquisas recentes questionaram a segurança do corante, mesmo nas concentrações de ADI ou inferiores. Um exemplo é o fornecimento a ratos por 30 dias na dose de 7,5 mg/kg, que resultou em problemas histopatológicos no fígado e nos rins, além de danos ao DNA dos leucócitos (Khayyat et al., 2017). Outro estudo evidenciou a mortalidade fetal e a teratogenicidade após a administração de TTZ nas dosagens de 0,45 e 4,5 mg/kg a ratas grávidas entre o 6º e o 15º dia de gravidez. Similarmente, os efeitos neurotóxicos e hemato-imunotóxicos foram identificados como consequências do tratamento com TTZ em níveis de ADI e inferiores (Hashem et al., 2019).

Em seres humanos, a questão de saúde mais debatida relacionada a tartrazina é sua ligação com o transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH). Desde a década de 70, essa alegação voltou a ser foco de debate público em 2007, após estudos conduzidos por McCann et al., que mencionou o corante entre os notórios aditivos alimentares que poderiam provocar hiperatividade em crianças. Além disso, reações do tipo imune e não imune ao corante têm sido reconhecidas há bastante tempo, embora sejam incomuns (Thanh et al., 2024).

Vale lembrar que os jovens são identificados como uma categoria populacional que tem uma chance maior de contato com corante. Isso se deve, em grande parte, ao consumo regular de alimentos coloridos que apresentam quantidades significativas de tartrazina, como refrigerantes e bebidas saborizadas (Haridevamuthu et al., 2024).

O peso reduzido das crianças em comparação com a quantidade de comida que ingerem aumenta sua suscetibilidade à exposição. Além desses perigos para o consumidor, a legislação atual não possui normas claras sobre as quantidades permitidas de corantes alimentares liberados nos corpos d'água, visando principalmente a proteção das espécies aquáticas (Haridevamuthu et al., 2024).

Outro estudo concluiu que o consumo excessivo do corante parece alterar a atividade enzimática das proteases *in vivo*, o que pode ter consequências deletérias na digestão. Abrindo um questionamento que, mesmo que a dose próxima à ingestão diária aceitável não afete essas atividades, o controle rigoroso da dose de tartrazina em alimentos de alto consumo, especialmente entre crianças deve ser considerado (Ameur et al., 2020).

Regulamentação

Nos EUA Food and Drug Administration – FDA, sob a Color Additives Amendment (1960), que exige certificação para corantes sintéticos. A tartrazina foi certificada pela FDA desde 1931 e classificada como corante aprovado destinado a alimentos, medicamentos e cosméticos (FD&C Yellow No. 5). Sendo ADI: 5mg/kg peso corporal por dia, segundo o FDA (equivalente ao que está listado nas normas 21CFR) (Amchova et al., 2024).

O Canadá segue limites similares aos da JECFA, embora a regulamentação se baseie em concentração (até 300ppm em alimentos). Embora não especifique diretamente o ADI, o uso é considerado abaixo de 7,5mg/kg/dia, pois a exposição alimentar estimada está bem abaixo dessa faixa.

União Europeia (1994) Áustria, Alemanha e Noruega baniram temporariamente a tartrazina, mas reverteram após a adoção da Diretiva 94/36/EC. Já o Reino Unido solicitou retirada voluntária em 2008 e manteve rotulagem de aviso junto à legislação de 2010.

A Anvisa proibiu a tartrazina no Brasil em 1989 (Portaria nº 540/87), mas a proibição foi revogada em 1992, quando a tartrazina voltou a ser permitida com exigência de rotulagem obrigatória ("contém tartrazina") por causa de potenciais reações alérgicas. Essa exigência consta na RDC nº 340/2002, que trata sobre aditivos alimentares e exige o aviso nos rótulos para indivíduos sensíveis.

A RDC 727/2022 consolidou as normas gerais de rotulagem e não exige mais a frase específica “contém tartrazina” ela permanece sendo identificada como aditivo, mas sem menção destacada por nome. A decisão judicial de março de 2024 obrigou a ANVISA a reintroduzir uma indicação clara e visível, mas até junho de 2025 não houve atualização normativa formal na RDC ou instrução normativa que altere isso (Anvisa, 2024). Na tabela 1 é possível observar as diretrizes aplicadas em cada país para o corante tartrazina.

Tabela 1: Comparativo sobre Tartrazina (E102)

Região / Lei	Órgão Regulador	Rotulagem	ADI / Nível Permitido	Aviso de hiperatividade infantil
EUA (FD&C Act, 21 CFR)	FDA	FD&C Yellow No. 5”	5 mg/kg peso/dia	Não exigido
Canadá (FDR C.R.C. c.870)	Health Canada / CFIA	Tartrazine” ou “colour” permitido	Até 300 ppm	Não exigido
UE (Dir. 94/36/EC e EC 1333/2008)	EFSA / Comissão Europeia	E102” + aviso obrigatório sobre hiperatividade	0–7,5 mg/kg peso/dia (varia por alimento)	Sim, desde 2010
Brasil (RDC 727/2022)	ANVISA	Nome do aditivo exigido; “contém tartrazina” revogado	Conforme IDA do Codex/JECFA (até 10 mg/kg)	Não obrigatório desde 2022

Fonte: dos Autores (2025).

A tartrazina está sendo amplamente estudada em relação a outros corantes sintéticos usados na alimentação, e questões sobre sua segurança foram levantadas (Amchova et al., 2024).

Discussão

Diversas pesquisas indicam que há efeitos adversos significativos associados a quantidades que não têm relevância para a exposição humana através de alimentos. Assim, a tartrazina aparenta ser segura para o consumo humano dentro da ADI estabelecida atualmente. Entretanto, é fundamental o monitoramento constante para assegurar a segurança dos consumidores, especialmente em doses que são pertinentes para a IDA (Amchova et al., 2024).

Há um entendimento geral de que os corantes artificiais utilizados em alimentos influenciam os consumidores de várias maneiras, especialmente entre as crianças, devido ao seu efeito no prazer sensorial, o que pode levar à preferência por certos tipos de alimentos. Os dados mostraram que esses corantes estão associados a diversos problemas de saúde, afetando principalmente as crianças, incluindo uma maior vulnerabilidade a questões como atividades carcinogênicas, alérgicas, assim como dificuldades gastrointestinais e respiratórias, além de mudanças comportamentais em crianças, sejam elas diagnosticadas com algum transtorno ou não (Oliveira et al., 2024).

A pesquisa realizada por Bakthavachalu et al. (2020) visou investigar de que forma os corantes alimentares sintéticos podem influenciar o metabolismo do zinco (Zn) em crianças que foram diagnosticadas com Transtorno do Espectro Autista. Os cientistas expressaram preocupação em relação aos corantes artificiais devido à habilidade desses aditivos em afetar as funções do Zn no organismo humano.

Esses elementos presentes nos aditivos sintéticos dificultam a remoção de metais pesados. Conforme os autores e as informações da literatura, para que esse procedimento seja eficaz, é fundamental que a expressão do gene da metalotioneína (MT), que é responsável pela produção da proteína metalotioneína que se liga a metais, dependente do zinco, ocorra (Oliveira et al., 2024).

No que diz respeito às intervenções de proteção contra a toxicidade causada pela tartrazina, os achados aparentam ser encorajadores, no entanto, a maior restrição da investigação é a ausência de provas reproduzíveis. Em várias situações, a qualidade das pesquisas é insatisfatória. Os testes utilizam doses de tartrazina que são absurdamente elevadas, extratos não uniformes ou combinações dos agentes de proteção, dificultando ou tornando inviável a repetição dos achados, falham em oferecer informações mecânicas, empregam animais de um único gênero, entre outros fatores (Amchova et al., 2024).

De acordo com Amchova et al., (2024). Outro ponto a ser avaliado é a utilização de materiais de teste que não são padronizados nesses estudos, especialmente uma vez que alguns documentos não utilizam tartrazina que atenda aos padrões alimentares e não indicam o grau de pureza. Contudo, essa metodologia pode ser validada por meio de experimentos futuros e estudos clínicos rigorosos e se transformar em uma terapia auxiliar vantajosa.

CONCLUSÃO

A tartrazina foi submetida a extensas pesquisas sobre sua segurança, mas muitos dos estudos realizam testes com doses que superam significativamente as encontradas nos alimentos, o que prejudica a aplicabilidade dos resultados para a exposição real em humanos. Ademais, existem problemas metodológicos recorrentes, incluindo a utilização de extratos não padronizados, a falta de dados sobre mecanismos de ação e a realização de experimentos apenas em um único sexo de animais. Apesar de alguns dados iniciais sobre intervenções positivas serem encorajadores, a ausência de reprodutibilidade restringe sua viabilidade prática. Dentro do limite atual da Ingestão Diária Aceitável, a tartrazina ainda é vista como segura para o consumo humano, mas a vigilância constante é fundamental.

A Ingestão Diária Aceitável é uma medida essencial para ponderar a segurança de aditivos alimentares, pois considera amplas margens de segurança fundamentadas em estudos toxicológicos. Contudo, é vital que investigações futuras levem em conta a exposição realista, especialmente em grupos vulneráveis como as crianças, que podem apresentar um maior consumo em relação ao seu peso corporal. É importante reconhecer as limitações dos estudos que extrapolam doses ou que não representam o uso alimentar genuíno para evitar interpretações distorcidas do risco e para direcionar corretamente as políticas de saúde pública.

REFERÊNCIAS

- Silva, m. M.; Reboredo, F H.; Lidon, F. C. Food colour additives: A synoptical overview on their chemical properties, applications in food products, and health side effects. *Foods*, Basel, v. 11, n. 3, p. 379, 28 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11030379>.
- Lidon, f. C.; Silvestre, M. M. A. S. *Indústrias alimentares: aditivos e tecnologias*. Lisboa: Escolar Editora, 2007.
- Commission Regulation (EU) No. 1129/2011. Amending Annex II to Regulation (EC) No. 1333/2008 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union list of food additives. *Journal of the European Union*, L 295, p. 1–177, 2011. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011R1129>. Acesso em: 13 jun. 2025.
- Commission Regulation (EU) No. 231/2012 of 22 March 2012. Laying down specifications for food additives listed in Annexes II and III to Regulation (EC) No. 1333/2008 of the European Parliament and of the Council. *Journal of the European Union*, L 83, p. 1–294, 2012. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012R0231>. Acesso em: 13 jun. 2025.
- Amchova, P.; Siska, F.; Ruda-Kucerova, J. Safety of tartrazine in the food industry and potential protective factors. *Heliyon*, v. 10, n. 18, p. e38111, 19 set. 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e38111. PMID: 39381230; PMCID: PMC11458953.
- World Health Organization. Evaluation of certain food additives: eighty-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Geneva: World Health Organization, 2016. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250277/9789241210003-eng.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2025.
- Amin, K. A.; Al-Shehri, F. S. Toxicological and safety assessment of tartrazine as a synthetic food additive on health biomarkers: a review. *Afr. J. Biotechnol*, v. 17, p. 139–149, 2018.
- Alvarez Cuesta, E.; Alcover Sánchez, R.; Sainz Martín, T.; Anaya Turrientes, M.; García Rodríguez, D. *Imunopatol de Alergol (Madr)*, v. 9, p. 45, jan./fev. 1981.
- Ziegler, J. H. Über die tartrazine. *Chem. Ber.*, v. 20, p. 834, 1887. (Artigo original de Ziegler relatando tartrazina).
- Venkataraman, K. In: Fieser, L. F.; Fieser, M. (Ed.). *A química dos corantes sintéticos. Química orgânica e biológica — uma série de monografias*. v. 1. Nova York: Imprensa Acadêmica, 1952. p. 608, cap. 18 (Fabricação).
- Settipane, G.; Chafee, F.; Postman, I.; Levine, M.; Saker, J.; Barrick, R.; Nicholas, S.; Schwartz, H.; Honsinger, R.; Klein, D. Significance of tartrazine sensitivity in chronic urticaria of unknown etiology. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, v. 57, n. 6, p. 541–546, 1976. DOI: 10.1016/0091-6749(76)90004-X.

Khayyat, L.; Essawy, A.; Sorour, J.; Soffar, A. Tartrazine induces structural and functional aberrations and genotoxic effects in vivo. *PeerJ*, v. 5, p. e3041, 2017. DOI: 10.7717/peerj.3041.

Hashem, M. M.; Abd-Elhakim, Y. M.; Abo-El-Sooud, K.; Eleiwa, M. M. E. Embryotoxic and teratogenic effects of tartrazine in rats. *Toxicol. Res*, v. 35, p. 75–81, 2019. DOI: 10.5487/tr.2019.35.1.075.

Ameur, F. Z.; Mehedi, N.; Soler Rivas, C. et al. Effect of tartrazine on digestive enzymatic activities: in vivo and in vitro studies. *Toxicol. Res*, v. 36, p. 159–166, 2020. DOI: 10.1007/s43188-019-00023-3.

Duy Thanh, D.; Bich-Ngoc, N.; Paques, C.; Christian, A.; Herkenne, S.; Struman, I.; Muller, M. The food dye tartrazine disrupts vascular formation both in zebrafish larvae and in human primary endothelial cells. *Scientific Reports*, v. 14, art. 30367, 2024.

Haridevamuthu, B.; Murugan, R.; Seenivasan, B.; Meenatchi, R.; Pachaiappan, R.; Almutairi, B. O.; Arokiyaraj, S.; Kathiravan, M. K.; Arockiaraj, J. Synthetic azo-dye, tartrazine induces neurodevelopmental toxicity via mitochondria-mediated apoptosis in zebrafish embryos. *Journal of Hazardous Materials*, v. 461, p. 132524, 5 jan. 2024.

União Europeia. Diretiva 94/36/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de junho de 1994 relativa aos corantes autorizados para utilização nos produtos alimentares. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L 237, p. 13–29, 10 set. 1994. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:31994L0036>. Acesso em: 13 jun. 2025.

United States. Food and Drug Administration. Code of Federal Regulations: Title 21 — Food and Drugs. Washington, D.C.: U.S. Government Publishing Office, 2023. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-21>. Acesso em: 13 jun. 2025.

Canadá. Health Canada. Food and Drug Regulations (C.R.C. c. 870). Ottawa: Health Canada, 2024. Disponível em: https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/C.R.C._c._870/. Acesso em: 13 jun. 2025.

União Europeia. Regulamento (CE) n° 1333/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2008 relativo aos aditivos alimentares. *Jornal Oficial da União Europeia*, L 354, p. 16–33, 31 dez. 2008. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32008R1333>. Acesso em: 13 jun. 2025.

Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada — RDC n° 727, de 1° de julho de 2022. Dispõe sobre os aditivos alimentares autorizados. *Diário Oficial da União*, seção 1, Brasília, DF, 04 jul. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-727-de-1-de-julho-de-2022-412632046>. Acesso em: 13 jun. 2025.

Japão. Food Safety Commission of Japan. List of existing food additives and their uses. Tóquio: FSCJ, 2024. Disponível em: <https://www.fsc.go.jp/english/index.html>. Acesso em: 13 jun. 2025.

De Oliveira, Z. B.; Silva Da Costa, D. V.; Da Silva Dos Santos, A. C.; Da Silva Júnior, A. Q.; De Lima Silva, A.; De Santana, R. C. F.; Costa, I. C. G.; De Sousa Ramos, S. F.; Padilla, G.; Da Silva, S. K. R. Synthetic colors in food: a warning for children's health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v. 21, n. 6, p. 682, 27 maio 2024. DOI: 10.3390/ijerph21060682. PMID: 38928929; PMCID: PMC11203549.

Bakthavachalu, P.; Kannan, S. M.; Qoronfleh, M. W. Food color and autism: a meta-analysis. *Adv. Neurobiol*, v. 24, p. 481–504, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-30402-7_15.

TOXICOLOGIA NA CADEIA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL E SEUS IMPACTOS NO SETOR DE ALIMENTOS



**APRESENTAÇÃO DOS
AUTORES**

APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



VERIDIANA ALMEIDA FLORES DE OLIVEIRA

Doutoranda em Ciências da Saúde pela UEM, Mestre em Ciência de Alimentos e graduanda em Farmácia. Sua pesquisa está focada na toxicologia ambiental, com ênfase na avaliação de risco de contaminantes em cosméticos, avaliando os impactos desses ingredientes na saúde humana e no meio ambiente.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1933-4682>
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3027227842747506>
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
E- mail: veridiana.1988@alunos.utfpr.edu.br



MARCIELE ALVES BOLOGNESE

Doutora em Ciência de Alimentos (UEM), Mestre em Promoção da Saúde e especialista em Nutrição Oncológica. Membro da SBNO, com experiência em Terapia Nutricional nas Doenças Crônicas não Transmissíveis (Hospital Israelita Albert Einstein). Integrante dos grupos de pesquisa em Nutrição e Dietas Enterais (UEM) e APLE-A (UEM). Docente do curso de Nutrição do Centro Integrado de Campo Mourão.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3417-9566>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4720285806997579>
E- mail: clinicabolognese@gmail.com



AMANDA TATIANE CORREA PEREIRA DOS SANTOS

Formada em Tecnologia de Alimentos pela UTFPR. Atualmente, sou responsável pelo setor de Qualidade na Sipironelli, onde asseguro o cumprimento das normas sanitárias, o controle de processos e a manutenção dos padrões de qualidade dos produtos.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3001-1798>
Lattes: https://www.cnpq.br/cvlattesweb/PKG_MENU.menu?f_bacalhau=070ED1582D5C3B108B1D8CFACD775411
E- mail: amandatatiane@alunos.utfpr.edu.br



APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



ISABELA CAROLINA FERREIRA DA SILVA

Mestre em Engenharia de Alimentos pela UEM, com especialização em Gestão da Qualidade e Tecnologia de Alimentos (IFPR) e graduação em Engenharia de Alimentos (UFPR). Atualmente, doutoranda no PPC em Ciência de Alimentos da UEM, com pesquisas focadas no desenvolvimento de novos produtos e compostos bioativos, especialmente antioxidantes.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3680-8353>

E- mail: isabelacfes@gmail.com



ISABELA MILANI DE SOUZA

Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos - UEM

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7878-451X>

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5076139829548931>

E- mail: isabelamilani022@gmail.com

JESSICA DE SOUZA ALVES FRIEDRICHSEN

Mestre em Ciência de Alimentos pela UEM, com especialização em Química de Alimentos e graduação em Química Industrial (UNIPAR).

Atualmente, doutoranda no PQU/UEM, com pesquisas focadas na valorização de subprodutos vegetais antioxidantes para alimentos funcionais.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3909-3617>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0954223129153507>

E- mail: jessicasouza.uem@gmail.com



PABLO RICARDO SANCHES DE OLIVEIRA

Mestre em Ciência de Alimentos pela UEM, com especialização em Microbiologia e graduação em Biomedicina (Unicesumar). Atualmente, doutorando no PPG em Ciência de Alimentos da UEM, com pesquisas focadas em Microbiologia e Segurança Alimentar, especialmente na utilização de produtos naturais e bioprodutos antimicrobianos.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2380-3506>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0729745583919148>

APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



PITHER JHOEL JAVIER SUCARI

Candidato a Doutor em Ciências de Alimentos pela UEM (Brasil), com Mestrado em Qualidade e Segurança Alimentar pela Universidade de Valencia (UV, Espanha) e graduação em Engenharia Agroindustrial pela UNSAAC (Peru).
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4534-2835>
E- mail: pg55784@uem.br



RITA DE CÁSSIA DUTRA



Especialista em Farmácia Clínica e Hospitalar, graduada em Farmácia pela Uningá. Atualmente, mestranda em Toxicologia na USP-Ribeirão Preto, com projeto focado na validação de método para biomonitoramento em saúde ocupacional, com ênfase em agrotóxicos.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1698-3611>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1963223605870220>
E- mail: rita.farmaciauninga@gmail.com

MIGUEL MACHINSKI JUNIOR

Professor Associado do Departamento de Ciências Básicas da Saúde da Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Área de atuação: Toxicologia e Análises Toxicológicas com ênfase em contaminantes químicos e naturais em alimentos, segurança alimentar, saúde ambiental e avaliação de risco químico.
Lattes iD : <http://lattes.cnpq.br/2555718979759308>
Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-5380-9186>



TOXICOLOGIA NA CADEIA DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL E SEUS IMPACTOS NO SETOR DE ALIMENTOS



<https://www.facebook.com/Synapse-Editora-111777697257115>



<https://www.instagram.com/synapseeditora>



<https://www.linkedin.com/in/synapse-editora-compartilhando-conhecimento/>



31 98264-1586



editorasynapse@gmail.com



Compartilhando conhecimento