



**INSTITUTO  
FEDERAL**  
Piauí

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ  
CAMPUS PICOS  
CURSO LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**ELANNE MARIA DOS SANTOS TORRES PACHECO**

**ESTUDO DE REVISÃO SOBRE CONTAMINANTES QUÍMICOS EM ALIMENTOS  
PROCESSADOS**

**PICOS**

**2026**

ELANNE MARIA DOS SANTOS TORRES PACHECO

ESTUDO DE REVISÃO SOBRE CONTAMINANTES QUÍMICOS EM ALIMENTOS  
PROCESSADOS

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)  
apresentado como exigência parcial para obtenção  
do diploma do Curso de licenciatura em Química do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
do Piauí, Campus Picos.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Brito de Souza Filho.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**

---

Pacheco, Elanne Maria dos Santos Torres

P116e      Estudo de revisão sobre contaminantes químicos em alimentos processados / Elanne Maria dos Santos Torres Pacheco. - 2026.  
46 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Picos, 2026.

Orientador : Prof Dr. Luiz Brito de Souza Filho.

1. Contaminantes químicos. 2. Segurança alimentar. 3. Saúde pública. 4. Métodos analíticos.  
I. Título.

CDD - 540

---

Elaborado por Silvio de Carvalho Gomes Coutinho CRB 3/1362

ELANNE MARIA DOS SANTOS TORRES PACHECO

ESTUDO DE REVISÃO SOBRE CONTAMINANTES QUÍMICOS EM ALIMENTOS  
PROCESSADOS

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)  
apresentado como exigência parcial para obtenção  
do diploma do Curso de Licenciatura em química do  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
do Piauí, Campus Picos.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Luiz Brito de Souza Filho (Orientador)  
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

---

Prof<sup>a</sup>. Ma. Valéria Denise  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

---

Prof. Me. Antoniel de Sousa  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Dedico este trabalho a todas as pessoas que me acompanhou durante esse percurso e que me incentivaram na realização dessa conquista dado apoio, compreensão, paciência e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para enfrentar os desafios ao longo desta caminhada acadêmica. Sua presença foi meu sustento nos momentos de dificuldade e minha inspiração para nunca desistir dos meus sonhos.

Ao meu orientador, Dr. Luiz Brito, minha profunda gratidão pela dedicação, paciência, competência e pelos valiosos ensinamentos compartilhados durante a elaboração deste trabalho. Sua orientação, confiança e incentivo foram fundamentais para a concretização desta pesquisa e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos meus colegas, agradeço pelo companheirismo, pela amizade e pelo apoio ao longo dessa trajetória. Compartilhamos desafios, aprendizados e conquistas que tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora.

À minha família, que sempre acreditou no meu potencial e esteve ao meu lado em todos os momentos, expresso minha eterna gratidão. Em especial, à minha mãe, Maria, exemplo de amor, força e dedicação, que nunca mediu esforços para que eu pudesse chegar até aqui. Seu apoio incondicional, seus conselhos e seu carinho foram essenciais para que eu não desistisse diante das dificuldades.

Às minhas irmãs, Ediely e Mirlla, agradeço por todo o incentivo, pela compreensão e por estarem sempre presentes, oferecendo palavras de conforto, carinho e motivação nos momentos em que mais precisei.

Ao meu namorado, Erivelton, meu sincero agradecimento por caminhar ao meu lado durante essa jornada. Obrigada pelo amor, pela paciência, pelo incentivo constante e por acreditar em mim até mesmo quando eu duvidava das minhas próprias capacidades. Seu apoio foi essencial para que eu mantivesse a confiança e a determinação necessárias para concluir esta etapa tão importante da minha vida.

Ao meu filho, Alan Lucca, dedico uma gratidão especial. Você foi a minha maior inspiração para seguir em frente, mesmo diante das dificuldades. Cada desafio superado teve um propósito maior: construir um futuro melhor para nós. Seu sorriso, seu amor e sua existência me deram forças para nunca desistir. Esta conquista é tão minha quanto sua, pois cada página escrita, cada noite de estudo e cada obstáculo vencido carregaram o desejo de oferecer a você um exemplo de coragem,

determinação e perseverança. Que um dia você se orgulhe desta trajetória e saiba que foi o maior motivo para eu acreditar que era possível chegar até aqui.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo registrada minha mais sincera gratidão. Esta conquista não é apenas minha, mas de todos que estiveram ao meu lado, oferecendo apoio, incentivo e acreditando no meu sonho. Em especial, ela pertence também ao meu filho, que foi minha maior motivação para persistir e transformar este sonho em realidade.

Muito obrigada!

.

A educação   a arma mais poderosa que  
você pode usar para mudar o mundo.

Nelson Mandela

## RESUMO

O aumento do consumo de alimentos processados tem ampliado a preocupação com a presença de contaminantes químicos, substâncias que podem comprometer a segurança dos alimentos e representar riscos à saúde humana, constituindo uma questão relevante para a alimentação e a saúde pública. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar os principais contaminantes químicos presentes em alimentos processados, abordando suas fontes de contaminação, formas de identificação, impactos à saúde e estratégias de prevenção e controle. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica, de natureza qualitativa e abordagem descritiva e exploratória, fundamentada em artigos científicos, livros, legislações e documentos técnicos. A revisão da literatura evidenciou que os contaminantes químicos podem apresentar origem ambiental, agrícola e tecnológica, além de serem provenientes da migração de substâncias presentes nas embalagens. Entre os principais contaminantes destacam-se os metais pesados, resíduos de pesticidas, micotoxinas, acrilamida, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e bisfenol A. Verificou-se, ainda, que fatores como altas temperaturas, tempo de processamento e condições inadequadas de armazenamento podem favorecer a formação, permanência ou acúmulo desses compostos nos alimentos. Para sua identificação e monitoramento, destacam-se técnicas analíticas como a cromatografia gasosa e líquida acopladas à espectrometria de massas e a espectrometria de absorção atômica. Conclui-se que a adoção de boas práticas agrícolas e de fabricação, associada ao monitoramento analítico e ao cumprimento da legislação sanitária, é fundamental para reduzir a exposição aos contaminantes químicos, contribuir para a saúde pública e garantir maior segurança e qualidade dos alimentos.

**Palavras-chave:** contaminantes químicos; alimentos processados; segurança alimentar; saúde pública; processamento de alimentos; métodos analíticos.

## ABSTRACT

The increased consumption of processed foods has raised concerns about the presence of chemical contaminants, substances that may compromise food safety and pose risks to human health, constituting a relevant issue for nutrition and public health. In this context, this study aimed to analyze the main chemical contaminants found in processed foods, addressing their sources of contamination, methods of identification, health impacts, and prevention and control strategies. This is a bibliographic study of a qualitative nature and descriptive and exploratory approach, based on scientific articles, books, legislation, and technical documents. The literature review showed that chemical contaminants may originate from environmental, agricultural, and technological sources, as well as from the migration of substances present in food packaging. Among the main contaminants are heavy metals, pesticide residues, mycotoxins, acrylamide, polycyclic aromatic hydrocarbons, and bisphenol A. It was also found that factors such as high temperatures, processing time, and inadequate storage conditions may favor the formation, persistence, or accumulation of these compounds in foods. For their identification and monitoring, analytical techniques such as gas and liquid chromatography coupled with mass spectrometry and atomic absorption spectrometry are particularly relevant. It is concluded that the adoption of good agricultural and manufacturing practices, combined with analytical monitoring and compliance with health regulations, is essential to reduce exposure to chemical contaminants, contribute to public health, and ensure greater food safety and quality.

**Keywords:** chemical contaminants; processed foods; food safety; public health; food processing; analytical methods.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Contaminantes químicos em alimentos processados .....              | 19 |
| Figura 2- Estrutura química do clorpirifós (pesticida organofosforado) ..... | 32 |
| Figura 3- Estrutura química da aflatoxina B1 .....                           | 34 |
| Figura 4- Estrutura química da acrilamida.....                               | 35 |
| Figura 5- Estrutura química do benzopireno. ....                             | 35 |
| Figura 6- Estrutura química do Bisfenol A (BPA). ....                        | 36 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Principais contaminantes químicos em alimentos processados.....             | 15 |
| Tabela 2 – Fatores associados à formação de contaminantes durante o processamento..... | 16 |
| Tabela 3 – Métodos analíticos para detecção de contaminantes.....                      | 16 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |                                                                                                      |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AAS    | Espectrometria de Absorção Atômica (Atomic Absorption Spectrometry)                                  |
| ANVISA | Agência Nacional de Vigilância Sanitária                                                             |
| CG     | Cromatografia Gasosa                                                                                 |
| CG-MS  | Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas                                             |
| CLAE   | Cromatografia Líquida de Alta Eficiência                                                             |
| EFSA   | Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos                                                   |
| FAO    | Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (Food and Agriculture Organization) |
| FDA    | Food and Drug Administration (Administração de Alimentos e Medicamentos dos Estados Unidos)          |
| HAPs   | Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos                                                              |
| IPCC   | Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change)      |
| ODS    | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável                                                             |
| ONU    | Organização das Nações Unidas                                                                        |
| PB     | Chumbo                                                                                               |
| CD     | Cádmio                                                                                               |
| HG     | Mercúrio                                                                                             |
| AS     | Arsênio                                                                                              |
| UV-VIS | Espectrofotometria no Ultravioleta-Visível                                                           |

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C    Grau Celsius

>    Maior que

[ ]    Colchetes

## SUMÁRIO

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                 | <b>14</b> |
| <b>2 OBJETIVO GERAL.....</b>                                              | <b>17</b> |
| 2.1 Objetivos Específicos .....                                           | 17        |
| <b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                                         | <b>18</b> |
| 3.1 Contaminantes químicos em alimentos processados.....                  | 18        |
| 3.2 Fontes de contaminação química ao longo da cadeia produtiva .....     | 20        |
| 3.3 Métodos analíticos para identificação de contaminantes químicos ..... | 21        |
| 3.4 Efeitos dos contaminantes químicos na saúde humana.....               | 22        |
| 3.5 Legislação e estratégias de controle .....                            | 23        |
| <b>4 METODOLOGIA .....</b>                                                | <b>25</b> |
| 4.1 Modalidade de pesquisa.....                                           | 25        |
| 4.2 Instrumentos de coleta de dados .....                                 | 26        |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                    | <b>28</b> |
| <b>6.CONCLUSÃO .....</b>                                                  | <b>42</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                   | <b>44</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Os regulamentos técnicos que definem identidade e padrões de qualidade de alimentos são essenciais tanto para a indústria alimentícia quanto para a proteção do consumidor. Eles consistem em normas e diretrizes criadas por órgãos reguladores com o objetivo de assegurar que os produtos alimentares atendam a requisitos específicos de composição, segurança, pureza e rotulagem (MARINS et al., 2014).

Entre os principais objetivos dessas normas está a garantia da segurança alimentar, prevenindo a presença de contaminantes químicos, físicos ou microbiológicos que possam representar riscos à saúde humana. Ao seguir essas regulamentações, os fabricantes contribuem para a redução da ocorrência de agentes nocivos nos alimentos, promovendo maior confiabilidade ao longo da cadeia produtiva (OLIVEIRA et al., 2025).

Além da segurança, esses regulamentos também definem critérios de qualidade, abrangendo características sensoriais como sabor, textura, aroma e aparência. Dessa forma, possibilitam que os consumidores tenham acesso a produtos padronizados e de elevado padrão de qualidade sempre que os adquirirem (TANCREDI; MARINS, 2014).

O processamento de alimentos desempenha papel fundamental na conservação, digestibilidade, absorção de nutrientes e melhoria das características sensoriais dos produtos alimentícios (LOVEDAY, 2023). Operações como lavagem, higienização, armazenamento, corte, moagem, peneiramento, extrusão, fermentação, maturação, fervura, cozimento, fritura, assamento, irradiação, aplicação de pressão e ultrassom promovem alterações nas propriedades físico-químicas dos alimentos, favorecendo reações químicas como a reação de Maillard e a caramelização, que influenciam diretamente a cor, o aroma e o sabor dos alimentos (LEONG et al., 2019; RANNOU et al., 2016; CAPUANO; FOGLIANO, 2011).

Embora essas transformações sejam importantes para a qualidade e a segurança dos alimentos, elas também podem resultar na formação de compostos químicos potencialmente tóxicos. A química de alimentos auxilia na compreensão desses processos, porém prever a ocorrência e a concentração dessas substâncias

continua sendo um desafio, tanto em ambientes industriais quanto em preparações domésticas. Diversos fatores, como a composição do alimento, a temperatura, o tempo de processamento e as condições de armazenamento, influenciam a formação de contaminantes químicos, tornando complexo seu monitoramento e controle (MARQUES, 2019).

Diante desse cenário, surge um importante problema relacionado à segurança alimentar: a formação de contaminantes químicos durante o processamento dos alimentos e os riscos que essas substâncias podem representar à saúde dos consumidores. Além disso, a variabilidade na formação desses compostos dificulta o estabelecimento de estratégias eficazes de controle e o cumprimento dos limites regulatórios estabelecidos pelas legislações vigentes. A concentração dessas substâncias é um dos principais critérios utilizados para definir se um alimento representa ou não risco à saúde, sendo também a base para a elaboração de normas que visam minimizar a exposição da população a contaminantes químicos. No Brasil, existem regulamentações específicas que estabelecem limites aceitáveis e boas práticas relacionadas às substâncias formadas durante o processamento de alimentos (BRASIL, 2004, 2005).

Paralelamente, o aumento da preocupação com a alimentação, a produção, o consumo e a segurança alimentar têm impulsionado iniciativas voltadas à sustentabilidade ambiental, econômica e social do sistema agroalimentar (IPCC, 2019). Nesse contexto, a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), adotada por 193 países, propõe objetivos globais voltados ao desenvolvimento sustentável. Entre eles, destacam-se o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12 (Consumo e Produção Responsáveis), que incentivam a cooperação internacional para enfrentar desafios relacionados à produção e ao consumo de alimentos seguros e sustentáveis (Assembleia Geral da ONU, 2015).

Dessa forma, torna-se fundamental compreender como os contaminantes químicos são formados durante o processamento dos alimentos, quais fatores influenciam sua ocorrência, quais os limites regulatórios aplicáveis e quais estratégias podem ser adotadas para minimizar sua formação. A análise desses aspectos contribui para o fortalecimento da segurança alimentar, para a proteção da saúde do

consumidor e para o alinhamento das práticas industriais às exigências legais e aos princípios do desenvolvimento sustentável.

## 2. OBJETIVO GERAL

Analisar os principais contaminantes químicos presentes em alimentos processados, suas fontes de contaminação, métodos de identificação e análise, bem como os impactos à saúde humana e as medidas de prevenção e controle.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conceituar contaminantes químicos no contexto da segurança alimentar;
- diferenciar contaminantes naturais, ambientais e aqueles formados durante o processamento dos alimentos;
- Identificar os principais tipos de contaminantes químicos relevante em alimentos processados;
- Descrever as principais fontes de contaminação ao longo da cadeia produtiva;
- Apresentar os métodos de identificação e análise utilizados para detectar contaminantes químicos;
- Relacionar os impactos dos contaminantes químicos à saúde humana, considerando toxicidade aguda e crônica;

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Contaminantes químicos em alimentos processados

Os contaminantes químicos presentes em alimentos processados correspondem a substâncias que não são adicionadas de forma intencional, mas que podem estar presentes em função das diferentes etapas da cadeia produtiva. Essas substâncias podem ter origem natural, ambiental ou tecnológica, sendo introduzidas durante o cultivo, o processamento industrial, o armazenamento ou o contato do alimento com materiais e superfícies inadequadas (ANVISA, 2021). A literatura científica recente destaca que os principais grupos de contaminantes incluem metais pesados, resíduos de pesticidas, micotoxinas, compostos formados durante o processamento térmico e substâncias provenientes da migração de embalagens (LI, 2025; EFSA, 2025).

O processamento de alimentos está associado a diversas transformações químicas, as quais podem resultar, em determinadas situações, na geração de compostos nocivos à saúde ou no aumento de sua toxicidade (REVIEW ARTICLE; 2024). A formação dessas substâncias indesejáveis pode ser reduzida por meio do controle das etapas do processamento, embora sua eliminação completa seja improvável, uma vez que depende diretamente das condições aplicadas, como temperatura e pH do sistema. Além disso, a composição química própria da matéria-prima utilizada, incluindo os teores de carboidratos, proteínas e lipídeos, exerce influência significativa sobre esses processos (BJELDANES; SHIBAMOTO, 2014).

Durante o processamento de alimentos, diversos contaminantes químicos pode estar presente, originando-se de forma natural, ambiental ou tecnológica ao longo da cadeia produtiva (EFSA, 2025). Esses contaminantes incluem metais pesados, resíduos de pesticidas, micotoxinas, compostos formados durante o processamento térmico e substâncias provenientes da migração de embalagens. A Figura 1 ilustra de forma esquemática as principais origens desses contaminantes, os pontos da cadeia produtiva em que podem ser introduzidos, e exemplos típicos encontrados em alimentos processados.

Figura 1- Contaminantes químicos em alimentos processados



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

Como mostrado na Figura 1, os contaminantes químicos em alimentos processados podem se originar de múltiplas fontes e etapas da cadeia produtiva. A literatura aponta que esses compostos podem surgir naturalmente, como no caso de micotoxinas produzidas por fungos; ambientalmente, devido à presença de metais pesados e pesticidas no solo ou na água; ou tecnologicamente, quando são formados durante o processamento industrial, armazenamento inadequado ou migração de substâncias de embalagens (EFSA, 2025).

Além disso, os diferentes grupos de contaminantes possuem impactos variados na saúde humana, o que reforça a importância de estratégias de controle em todas as etapas da produção, desde a matéria-prima até o produto final. A Figura 1 sintetiza esses pontos, evidenciando os principais contaminantes, suas origens e exemplos de

alimentos afetados, servindo como referência visual para a análise dos riscos químicos em alimentos processados (EFSA, 2025).

### 3.2 Fontes de contaminação química ao longo da cadeia produtiva

A presença de contaminantes químicos em alimentos processados pode ser atribuída a diversos fatores que atuam ao longo de toda a cadeia produtiva, abrangendo desde a fase agrícola até as etapas finais de processamento e armazenamento. Na produção primária, a exposição do ambiente agrícola a insumos químicos, poluentes industriais e efluentes podem resultar na incorporação de substâncias indesejáveis aos alimentos, seja por absorção pelas plantas ou por acúmulo em organismos de origem animal.

Embora os vegetais apresentem, em condições naturais, níveis mínimos de metais, tais concentrações normalmente não oferecem risco à saúde humana. Entretanto, práticas antrópicas intensivas, como o uso inadequado do solo, atividades industriais e o descarte incorreto de resíduos, podem elevar significativamente os teores de metais potencialmente tóxicos nos alimentos (Khan et al., 2018). Nessas circunstâncias, produtos alimentícios tradicionalmente associados a efeitos benéficos podem tornar-se veículos de exposição a contaminantes químicos. Assim, a avaliação sistemática de metais traço em alimentos configura uma ferramenta indispensável para a prevenção de riscos à saúde e para o apoio à tomada de decisões regulatórias.

Nas etapas de transformação industrial, a contaminação química pode ser introduzida ou intensificada por deficiências nos processos produtivos. O contato do alimento com superfícies inadequadas, a utilização de equipamentos mal conservados, bem como resíduos de agentes de higienização e o uso incorreto de aditivos, representam fontes relevantes de incorporação de substâncias químicas indesejáveis.

Adicionalmente, os materiais utilizados para acondicionar os alimentos exercem papel significativo na contaminação química. Evidências científicas demonstram que compostos presentes em embalagens, especialmente aquelas fabricadas com materiais poliméricos, podem migrar para o alimento ao longo do tempo. A extensão desse fenômeno depende de variáveis como temperatura, duração do armazenamento e propriedades físico-químicas do produto, podendo envolver

plastificantes, aditivos e substâncias residuais (Utyanov et al., 2025).

Por fim, determinados contaminantes não são introduzidos externamente, mas formados durante o próprio processamento. Métodos que envolvem elevadas temperaturas, como fritura, torrefação e grelhamento, favorecem reações químicas responsáveis pela geração de compostos com reconhecido potencial tóxico, incluindo a acrilamida e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, amplamente discutidos na literatura por seus efeitos adversos à saúde (EFSA, 2025).

Dessa forma, a contaminação química dos alimentos deve ser compreendida como um fenômeno multifatorial, que exige controle rigoroso em todas as etapas da cadeia produtiva, a fim de garantir a segurança dos alimentos e reduzir a exposição do consumidor a substâncias potencialmente nocivas.

### 3.3 Métodos analíticos para identificação de contaminantes químicos

A identificação e quantificação de contaminantes químicos em alimentos processados dependem de métodos analíticos capazes de fornecer respostas precisas, confiáveis e seletivas. Um método é considerado seletivo quando consegue distinguir o sinal do analito de interesse daqueles provenientes de outros compostos presentes na amostra, conhecidos como interferentes. Essa seletividade garante que o pico cromatográfico observado seja atribuível exclusivamente ao composto em estudo. Na prática, pode-se avaliar essa característica comparando-se os resultados obtidos de uma matriz livre do analito com os de uma matriz fortificada com padrões de referência, assegurando que nenhum interferente apresente tempo de retenção coincidente com o analito (Freire et al., 2008; Química Nova).

No entanto, diferentes substâncias podem gerar respostas analíticas similares, tornando necessárias técnicas confirmatórias, como a espectrometria de massas. Nesse caso, a comparação entre os espectros da amostra e do padrão de referência permite confirmar a presença do composto de forma inequívoca.

Para a análise de alimentos, métodos instrumentais como cromatografia gasosa e líquida acopladas à espectrometria de massas, assim como técnicas baseadas em espectrometria de absorção atômica, são amplamente utilizados. Essas abordagens permitem identificar contaminantes em níveis cada vez mais baixos,

fortalecendo o monitoramento da segurança alimentar e garantindo conformidade com os limites legais. O avanço tecnológico na área analítica tem ampliado significativamente a capacidade de controle desses contaminantes, contribuindo para a proteção do consumidor e para decisões mais precisas em vigilância sanitária (Silva et al., 2024).

Nesse contexto, destacam-se como métodos analíticos mais empregados na literatura nacional as técnicas cromatográficas, como a cromatografia gasosa (CG) e a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), amplamente discutidas em periódicos da área de Química. Quando acopladas à espectrometria de massas, essas técnicas apresentam elevada seletividade e sensibilidade, sendo aplicadas na identificação de contaminantes orgânicos, como pesticidas, micotoxinas e resíduos de fármacos veterinários. Para contaminantes inorgânicos, especialmente metais pesados, são frequentemente utilizadas técnicas como a espectrometria de absorção atômica, reconhecida por sua precisão e aplicabilidade em análises de alimentos (Borges et al., 2006; Lanças, 2009; Jardim & Almeida, 2014).

Além dos métodos instrumentais de alta resolução, que apresentam maior custo de aquisição e operação, também são utilizados métodos analíticos de menor custo, especialmente em etapas de triagem e monitoramento preliminar. Entre eles, destacam-se as técnicas espectrofotométricas, como a espectrofotometria UV-Vis, além de ensaios colorimétricos e métodos enzimáticos. Essas abordagens, embora apresentem menor seletividade em comparação com técnicas cromatográficas acopladas à espectrometria de massas, oferecem vantagens como rapidez, simplicidade operacional e menor consumo de reagentes e equipamentos mais acessíveis. Por esse motivo, são amplamente aplicadas em laboratórios de rotina e em contextos em que há necessidade de análises em larga escala com recursos limitados, podendo inclusive servir como etapa inicial antes da confirmação por métodos instrumentais mais avançados.

### 3.4 Efeitos dos contaminantes químicos na saúde humana

A padronização na produção e no manuseio de alimentos é essencial para garantir a segurança alimentar. Ela estabelece limites máximos para a presença de contaminantes, define normas de higiene e orienta práticas adequadas durante todo

o processo produtivo. Essas medidas são fundamentais para prevenir a ocorrência de doenças transmitidas por alimentos e proteger a saúde dos consumidores (Teixeira; Pazzoti, 2021).

A ingestão de alimentos contaminados por substâncias químicas pode causar diversos efeitos adversos à saúde, que variam conforme o tipo de contaminante, a concentração presente e a duração da exposição. Os impactos podem ir desde sintomas leves até alterações crônicas, incluindo distúrbios hormonais, efeitos neurotóxicos e maior propensão ao desenvolvimento de doenças crônicas.

Estudos recentes de avaliação de risco indicam que a exposição contínua a certos contaminantes na dieta constitui um problema significativo de saúde pública. Esses achados reforçam a importância de implementar estratégias de prevenção, controle e fiscalização eficazes em todas as etapas da cadeia produtiva de alimentos (Health Risk Assessment, 2025).

### 3.5 Legislação e estratégias de controle

A legislação alimentar engloba o conjunto de leis e regulamentos que disciplinam a produção, a rotulagem, a distribuição e a comercialização de alimentos. No Brasil, essas normas podem ser definidas em níveis federal, estadual ou municipal, dependendo da competência legal, e têm como principal objetivo proteger a saúde da população, garantindo a qualidade e a segurança dos produtos consumidos (BRASIL, 2019).

As normas alimentares correspondem às diretrizes técnicas detalhadas que complementam a legislação, estabelecendo exigências específicas para diferentes tipos de alimentos. Elas abrangem aspectos como a composição dos produtos, os limites permitidos de aditivos, os métodos de análise e testes, os procedimentos de rotulagem, além dos critérios de higiene e segurança alimentar. Dessa forma, a legislação e as normas atuam conjuntamente como um arcabouço legal e técnico que orienta toda a cadeia produtiva, assegurando que os alimentos estejam em conformidade com os padrões de identidade, qualidade e segurança, fortalecendo a confiança dos consumidores quanto à autenticidade dos produtos (BRASIL, 2019).

No contexto brasileiro, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é

responsável por definir limites máximos toleráveis para contaminantes químicos em alimentos, com base em estudos científicos e avaliações de risco. Em âmbito internacional, órgãos como a Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA) e a Food and Drug Administration (FDA) desempenham funções equivalentes, regulamentando, fiscalizando e atualizando normas relacionadas à segurança alimentar.

Portanto, compreender esses conceitos é essencial para entender o papel regulatório na indústria de alimentos, garantindo que os produtos oferecidos ao consumidor atendam aos padrões de qualidade e segurança necessários, além de promover transparência e confiança no mercado alimentar.

## 4. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica, de natureza qualitativa, com abordagem descritiva e exploratória, desenvolvida com o objetivo de analisar os principais contaminantes químicos presentes em alimentos processados, suas fontes de contaminação, métodos de identificação e análise, impactos à saúde humana e medidas de prevenção e controle. Para a construção do estudo, foram utilizadas informações provenientes da literatura científica especializada, contemplando artigos científicos, livros, documentos técnicos, legislações nacionais e internacionais e publicações de órgãos reguladores relacionadas à segurança dos alimentos.

A pesquisa bibliográfica possibilitou reunir e analisar informações referentes aos diferentes tipos de contaminantes químicos encontrados em alimentos processados, considerando suas origens ao longo da cadeia produtiva, as condições que podem favorecer sua ocorrência, os métodos empregados para sua identificação e quantificação e os possíveis efeitos decorrentes da exposição humana. A análise da literatura também permitiu abordar aspectos relacionados à prevenção, ao controle e à regulamentação desses contaminantes, proporcionando uma visão integrada da problemática da segurança alimentar.

### 4.1 Modalidade de Pesquisa

A revisão bibliográfica constituiu a base para o desenvolvimento da pesquisa, sendo realizada por meio do levantamento de estudos científicos e documentos técnicos relacionados à presença de contaminantes químicos em alimentos processados. Foram consultadas bases de dados científicas reconhecidas, como SciELO, PubMed e Google Acadêmico, além de periódicos especializados nas áreas de Química, Ciência dos Alimentos e Segurança Alimentar.

As buscas foram direcionadas para conteúdos relacionados aos contaminantes químicos em alimentos processados, segurança alimentar, fontes de contaminação, processamento de alimentos, métodos analíticos e efeitos à saúde humana. Entre os temas contemplados na revisão estão os metais pesados, resíduos de agrotóxicos, micotoxinas, contaminantes formados durante o processamento térmico e

substâncias provenientes da migração de materiais utilizados em embalagens.

Foram priorizadas publicações mais recentes, conforme estabelecido na metodologia do trabalho, buscando garantir atualidade às informações utilizadas. Também foram considerados documentos oficiais e materiais de referência necessários à fundamentação dos aspectos técnicos e normativos relacionados à segurança dos alimentos.

Além da literatura científica, foram consultados documentos oficiais de instituições reguladoras, especialmente da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), da European Food Safety Authority (EFSA) e da Food and Drug Administration (FDA). Esses documentos contribuíram para a compreensão dos aspectos relacionados aos limites, controle, monitoramento e regulamentação dos contaminantes químicos presentes nos alimentos.

#### 4.2 Instrumentos de Coleta de Dados

Após o levantamento bibliográfico, as informações obtidas foram organizadas de acordo com os principais aspectos relacionados ao tema da pesquisa, considerando os tipos de contaminantes, suas fontes de ocorrência, métodos de identificação e análise, efeitos à saúde humana e medidas de prevenção e controle.

Para a organização dos resultados, os contaminantes químicos foram sistematizados em cinco grupos principais: metais pesados, resíduos de agrotóxicos, micotoxinas, contaminantes formados durante o processamento térmico e substâncias provenientes da migração de componentes das embalagens. Essa organização possibilitou discutir as características dos contaminantes, suas principais fontes e as condições que podem favorecer sua presença nos alimentos processados.

Também foram analisados os principais métodos empregados na identificação e quantificação dos contaminantes, com destaque para técnicas como cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS), espectrometria de absorção atômica (AAS) e métodos espectrofotométricos. A análise considerou a aplicação dessas técnicas na determinação dos diferentes grupos de contaminantes.

Por fim, as informações foram relacionadas aos possíveis impactos da exposição humana aos contaminantes químicos, especialmente em situações de

exposição prolongada, bem como às estratégias de prevenção e controle ao longo da cadeia produtiva. Dessa forma, a análise bibliográfica permitiu integrar os aspectos químicos, analíticos, toxicológicos e regulatórios relacionados à ocorrência de contaminantes químicos em alimentos processados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão bibliográfica permitiu verificar que os contaminantes químicos presentes em alimentos processados podem ser introduzidos em diferentes etapas da cadeia produtiva, desde a produção agrícola até o processamento industrial, armazenamento, transporte e comercialização. Essa diversidade de fontes demonstra que a contaminação química constitui um problema multifatorial, exigindo estratégias integradas de prevenção e controle para garantir a segurança dos alimentos (EFSA, 2025; ANVISA, 2021).

Com base nos estudos analisados, foi possível agrupar os contaminantes químicos em cinco categorias principais: metais pesados, resíduos de pesticidas, micotoxinas, contaminantes formados durante o processamento térmico e compostos provenientes da migração de embalagens. Esses grupos representam os principais riscos químicos monitorados pelos órgãos reguladores nacionais e internacionais devido à elevada frequência de ocorrência e aos potenciais efeitos tóxicos decorrentes da exposição contínua (EFSA, 2025; FAO/WHO, 2024).

Os principais contaminantes identificados na literatura encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais contaminantes químicos em alimentos processados

| <b>Grupo</b>   | <b>Exemplos</b>              | <b>Origem</b>                   | <b>Alimentos mais afetados</b> | <b>Referências</b> |
|----------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Metais pesados | Pb, Cd, Hg, As               | Solo, água, poluição industrial | Peixes, cereais, vegetais      | EFSA (2025)        |
| Pesticidas     | Organofosforados, carbamatos | Agricultura intensiva           | Frutas e hortaliças            | ANVISA (2021)      |
| Micotoxinas    | Aflatoxinas, ocratoxina A    | Fungos no armazenamento         | Grãos, milho, amendoim         | FAO/WHO (2024)     |

|                         |                                         |                       |                                |                       |
|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Contaminantes térmicos  | Acrilamida, HAPs, aminas heterocíclicas | Processamento térmico | Batata frita, carnes grelhadas | Mottram et al. (2020) |
| Migrantes de embalagens | Bisfenol A, ftalatos                    | Plásticos e polímeros | Alimentos industrializados     | EFSA (2025)           |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EFSA (2025), ANVISA (2021), FAO/WHO (2024) e Mottram et al. (2020).

A análise da literatura evidencia que a contaminação química raramente ocorre de forma isolada. Em condições reais de consumo, um mesmo alimento pode conter resíduos de pesticidas, metais pesados e contaminantes formados durante o processamento, resultando em exposição simultânea a diferentes substâncias químicas. Esse cenário aumenta a complexidade das avaliações toxicológicas, uma vez que os efeitos podem ser aditivos ou sinérgicos, dificultando a estimativa precisa dos riscos à saúde humana (WHO, 2023; EFSA, 2025).

Além da origem dos contaminantes, verificou-se que as condições empregadas durante o processamento dos alimentos exercem influência direta na formação de compostos potencialmente tóxicos. Variáveis como temperatura, tempo de aquecimento e tipo de processamento determinam a intensidade das reações químicas envolvidas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Fatores associados à formação de contaminantes durante o processamento

| <b>Fator</b>               | <b>Efeito</b>                        | <b>Exemplos de contaminantes gerados</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| Alta temperatura (>120°C)  | Intensifica reações químicas         | Acrilamida, HAPs                         |
| Tempo prolongado de cocção | Aumenta degradação térmica           | Aminas heterocíclicas                    |
| Reação de Maillard         | Formação de compostos de cor e sabor | Acrilamida                               |

|                       |                               |                              |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Defumação e combustão | Formação de compostos tóxicos | Hidrocarbonetos policíclicos |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|

Fonte: adaptado de EFSA (2025); Skog (2021)

Sob a perspectiva da Química dos Alimentos, essas alterações são consequência de reações de oxidação, pirólise, desidratação e condensação que modificam a estrutura molecular dos constituintes naturais dos alimentos. Embora esses processos sejam fundamentais para melhorar características sensoriais, como sabor, aroma, textura e cor, também podem originar moléculas com potencial tóxico, especialmente quando temperaturas elevadas são empregadas por períodos prolongados (Mottram et al., 2020).

No monitoramento desses contaminantes, o desenvolvimento da Química Analítica Instrumental possibilitou avanços significativos na identificação de compostos presentes em concentrações extremamente baixas. Os principais métodos empregados para determinação de contaminantes químicos encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Métodos analíticos para detecção de contaminantes

| Método  | Aplicação                      | Vantagens          | Referências             |
|---------|--------------------------------|--------------------|-------------------------|
| CG-MS   | Compostos voláteis e orgânicos | Alta sensibilidade | Lanças (2009)           |
| CLAE-MS | Pesticidas e micotoxinas       | Alta seletividade  | Jardim & Almeida (2014) |
| AAS     | Metais pesados                 | Alta precisão      | WHO (2023)              |
| UV-Vis  | Triagem rápida                 | Baixo custo        | Silva et al. (2024)     |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Lanças (2009), Jardim e Almeida (2014), WHO (2023) e Silva et al. (2024).

As técnicas cromatográficas acopladas à espectrometria de massas constituem atualmente o padrão de referência para determinação de contaminantes orgânicos em alimentos devido à elevada capacidade de separação e identificação molecular. A cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS) apresenta melhor desempenho para compostos voláteis e termicamente estáveis, enquanto a cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massas (CLAE-MS) é mais indicada para moléculas polares e termolábeis, como micotoxinas e diversos pesticidas. Para metais pesados, a espectrometria de absorção atômica (AAS) continua sendo uma das técnicas mais empregadas devido à elevada sensibilidade para determinação de elementos metálicos. Já a espectrofotometria UV-Vis permanece como importante ferramenta para análises de triagem, principalmente em laboratórios de rotina, em razão do menor custo operacional e da rapidez na obtenção dos resultados (Lanças, 2009; Jardim; Almeida, 2014; WHO, 2023).

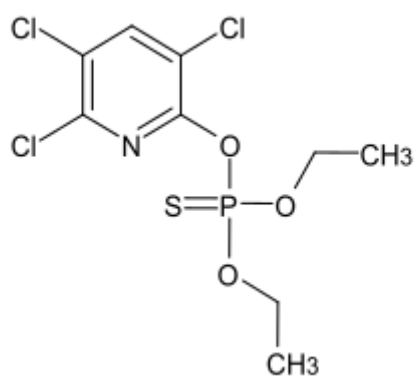
Entre os contaminantes identificados nesta revisão, os metais pesados destacam-se pela elevada persistência ambiental e pela capacidade de bioacumulação. Chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e arsênio (As) podem ser incorporados aos alimentos por meio da contaminação do solo, da água utilizada para irrigação e das emissões provenientes de atividades industriais. Após serem absorvidos pelas plantas ou acumulados em organismos aquáticos, esses elementos são transferidos ao longo da cadeia alimentar, podendo atingir concentrações capazes de representar riscos à saúde humana (Khan et al., 2018; WHO, 2023).

Diferentemente dos contaminantes orgânicos, os metais pesados são encontrados na forma de elementos químicos ou íons metálicos, não apresentando estruturas moleculares passíveis de representação em softwares como ChemSketch ou ChemDraw. Entretanto, seu comportamento químico está diretamente relacionado à elevada afinidade por grupos funcionais presentes em biomoléculas, especialmente grupos sulfidril (-SH), carboxila (-COOH) e amina (-NH<sub>2</sub>). A interação com esses grupos provoca alterações conformacionais em proteínas e enzimas, comprometendo processos metabólicos essenciais e favorecendo a ocorrência de estresse oxidativo, neurotoxicidade e nefrotoxicidade (WHO, 2023).

Outro grupo amplamente identificado corresponde aos resíduos de pesticidas utilizados na agricultura. Entre eles, destacam-se os organofosforados, compostos empregados no controle de insetos em diferentes culturas agrícolas. Apesar da importância econômica desses produtos para a produtividade agrícola, sua utilização inadequada pode resultar na permanência de resíduos em frutas, hortaliças, cereais e alimentos processados, tornando-se importante fonte de exposição química para a população (ANVISA, 2021; FDA, 2025).

Os organofosforados apresentam como principal característica estrutural a presença do grupo funcional fosforotioato ( $P=S$ ) ou fosfato ( $P=O$ ), além de ligações éster fosfórico ( $P-O-C$ ). Esses grupos determinam propriedades importantes da molécula, como polaridade, estabilidade química e reatividade. Após absorção pelo organismo, muitos desses compostos são metabolizados formando derivados oxon, que apresentam elevada afinidade pela enzima acetilcolinesterase. A ligação praticamente irreversível ao sítio ativo dessa enzima impede a degradação da acetilcolina nas sinapses nervosas, promovendo hiperestimulação do sistema nervoso e justificando a elevada toxicidade característica dessa classe de pesticidas (Casida; Durkin, 2013).

Figura 2- Estrutura química do clorpirifós (pesticida organofosforado)



Fonte: Elaborada pela autora (2026)

A molécula do clorpirifós apresenta um átomo central de fósforo ligado ao enxofre ( $P=S$ ), um grupo éster fosfórico, além de um anel piridínico clorado, características que influenciam diretamente sua estabilidade química, lipofilicidade e persistência ambiental. A presença do átomo de cloro aumenta a estabilidade da molécula, enquanto a estrutura aromática contribui para sua interação com matrizes

orgânicas e sua distribuição nos tecidos biológicos. A identificação desses grupos funcionais permite compreender a relação entre estrutura molecular, propriedades físico-químicas e atividade biológica, evidenciando a importância da Química Orgânica na avaliação da toxicidade dos pesticidas.

Os estudos analisados indicam que o monitoramento contínuo dos resíduos de pesticidas, associado à adoção de Boas Práticas Agrícolas, ao cumprimento dos Limites Máximos de Resíduos (LMRs) e à fiscalização realizada pelos órgãos reguladores, constitui uma das principais estratégias para minimizar a exposição da população a esses contaminantes e garantir maior segurança aos alimentos destinados ao consumo humano (ANVISA, 2021; FDA, 2025).

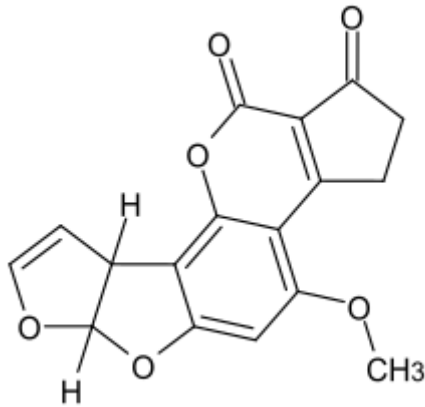
A análise dos estudos revisados também evidenciou que as micotoxinas representam um dos grupos de contaminantes químicos de maior relevância para a segurança dos alimentos devido à elevada toxicidade, estabilidade química e ampla ocorrência em produtos de origem vegetal. Essas substâncias são metabólitos secundários produzidos principalmente por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, que se desenvolvem em condições inadequadas de armazenamento, caracterizadas por elevada umidade, temperaturas favoráveis ao crescimento fúngico e tempo prolongado de estocagem (FAO/WHO, 2024).

Entre as micotoxinas descritas na literatura, a aflatoxina B1 destaca-se como a mais tóxica e estudada, sendo frequentemente detectada em milho, amendoim, castanhas, cereais e seus derivados. Sua elevada estabilidade térmica faz com que os processos convencionais de cozimento e industrialização sejam insuficientes para promover sua completa degradação, tornando indispensável o controle preventivo durante a produção, secagem e armazenamento das matérias-primas (FAO/WHO, 2024).

Sob o ponto de vista da Química Orgânica, a aflatoxina B1 apresenta uma estrutura molecular altamente complexa, composta por um anel lactônico, um anel furânico contendo oxigênio heterocíclico, ligações duplas conjugadas e sistemas aromáticos condensados. Esses grupos funcionais conferem elevada estabilidade química e favorecem sua ativação metabólica pelas enzimas do citocromo P450, originando um epóxido altamente reativo capaz de formar ligações covalentes com o

DNA, mecanismo diretamente relacionado ao seu elevado potencial mutagênico e carcinogênico.

Figura 3- Estrutura química da aflatoxina B1



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

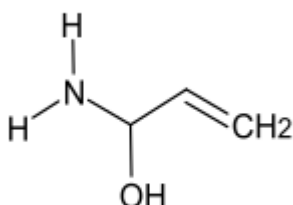
A presença do anel lactônico contribui para a estabilidade estrutural da molécula, enquanto o sistema de duplas ligações conjugadas favorece a distribuição eletrônica e aumenta sua reatividade após a bioativação. Essas características explicam a elevada toxicidade da aflatoxina B1 e sua associação com o desenvolvimento de carcinoma hepatocelular descrita em diversos estudos epidemiológicos (FAO/WHO, 2024).

Outro aspecto amplamente abordado na literatura refere-se aos contaminantes formados durante o processamento térmico dos alimentos. Processos como fritura, torrefação, assamento e grelhamento são indispensáveis para melhorar as características sensoriais e garantir a segurança microbiológica dos alimentos. Entretanto, quando realizados em temperaturas elevadas e por períodos prolongados, favorecem reações químicas capazes de originar compostos potencialmente tóxicos (Mottram et al., 2020).

Entre esses compostos destaca-se a acrilamida, formada principalmente durante a Reação de Maillard, que ocorre entre açúcares redutores e o aminoácido asparagina em temperaturas superiores a aproximadamente 120 °C. Esse contaminante é frequentemente encontrado em batatas fritas, biscoitos, torradas, cafés torrados, cereais matinais e diversos produtos de panificação (EFSA, 2025).

Quimicamente, a acrilamida apresenta uma estrutura relativamente simples, constituída por um grupo funcional amida (-CONH<sub>2</sub>) ligado a uma cadeia carbônica contendo uma ligação dupla carbono-carbono (alceno).

Figura 4- Estrutura química da acrilamida



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

O grupo amida apresenta elevada polaridade devido à presença da carbonila (C=O), favorecendo interações intermoleculares por ligações de hidrogênio. Já a ligação dupla carbono-carbono aumenta a reatividade da molécula, permitindo reações de adição e oxidação. Durante o metabolismo hepático, a acrilamida pode ser convertida em glicidamida, metabólito epóxido altamente reativo que apresenta afinidade por proteínas e ácidos nucleicos, justificando a preocupação relacionada à exposição prolongada a esse contaminante (EFSA, 2025).

Além da acrilamida, os estudos revisados destacam os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) como importantes contaminantes gerados durante a combustão incompleta de matéria orgânica. Esses compostos são formados principalmente durante a defumação, grelhamento direto sobre chama e carbonização de carnes e outros alimentos ricos em lipídios (Motttram et al., 2020).

Dentre os HAPs, o benzopireno é considerado um dos principais indicadores de contaminação química devido ao seu elevado potencial carcinogênico.

Figura 5- Estrutura química do benzopireno.



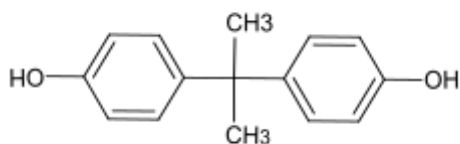
Fonte: Elaborada pela autora (2026).

A molécula do benzopireno é constituída exclusivamente por cinco anéis aromáticos condensados, formando um sistema altamente conjugado. A extensa deslocalização dos elétrons  $\pi$  confere elevada estabilidade química, baixa biodegradabilidade e grande persistência ambiental. Além disso, a natureza apolar da molécula favorece elevada lipofilicidade, permitindo sua acumulação em tecidos ricos em gordura. Durante a biotransformação hepática, podem ser formados derivados epoxídicos altamente reativos capazes de interagir com o DNA, aumentando significativamente o risco de mutações e desenvolvimento de neoplasias (Mottram et al., 2020).

Outro grupo de contaminantes identificado nesta revisão corresponde às substâncias provenientes da migração de embalagens alimentícias. O crescente emprego de materiais poliméricos na indústria de alimentos aumentou a preocupação em relação à transferência de compostos químicos para os alimentos durante o armazenamento, especialmente em condições de aquecimento ou contato prolongado (EFSA, 2025).

Entre essas substâncias destaca-se o Bisfenol A (BPA), amplamente utilizado na fabricação de polycarbonatos e resinas epóxi empregados em embalagens, revestimentos internos de latas e recipientes destinados ao armazenamento de alimentos.

Figura 6- Estrutura química do Bisfenol A (BPA).



Fonte: Elaborada pela autora (2026).

A estrutura molecular do BPA apresenta dois grupos hidroxila fenólica (-OH) ligados a dois anéis aromáticos, unidos por uma ponte isopropilideno. Os grupos fenólicos conferem caráter levemente ácido à molécula e permitem sua interação com receptores hormonais, justificando sua classificação como desregulador endócrino.

Os anéis aromáticos aumentam a estabilidade química e a lipofilicidade do composto, favorecendo sua migração para alimentos com elevado teor de gordura. Essas propriedades físico-químicas explicam a importância do monitoramento desse contaminante e o desenvolvimento de materiais alternativos para embalagens alimentícias (EFSA, 2025).

Os resultados obtidos nesta etapa evidenciam que a estrutura molecular dos contaminantes exerce influência direta sobre seu comportamento químico, estabilidade, biodisponibilidade e mecanismos de toxicidade. Dessa forma, a identificação dos grupos funcionais presentes em cada molécula constitui ferramenta fundamental para compreender sua formação, reatividade e interação com sistemas biológicos. Sob a perspectiva da Química, o conhecimento dessas características estruturais também subsidia o desenvolvimento de métodos analíticos mais sensíveis, tecnologias de processamento mais seguras e estratégias destinadas à redução da contaminação química dos alimentos.

A revisão da literatura também evidenciou que a avaliação da segurança química dos alimentos não depende apenas da identificação dos contaminantes presentes, mas também da compreensão de seus mecanismos de ação, da frequência de exposição da população e da capacidade dos métodos analíticos em detectar essas substâncias em concentrações cada vez menores. Nesse contexto, a Química Analítica desempenha papel fundamental na garantia da qualidade dos alimentos, permitindo a identificação de compostos em níveis de traço e subsidiando as ações de fiscalização desenvolvidas pelos órgãos reguladores.

As técnicas cromatográficas acopladas à espectrometria de massas, como a cromatografia gasosa (CG-MS) e a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE-MS), são atualmente consideradas métodos de referência para determinação de contaminantes orgânicos em alimentos. Essas metodologias apresentam elevada sensibilidade, seletividade e capacidade de identificar diferentes compostos em matrizes complexas, permitindo a determinação simultânea de resíduos de pesticidas, micotoxinas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e outros contaminantes químicos (Lanças, 2009; Jardim; Almeida, 2014).

Para a determinação de metais pesados, técnicas como a espectrometria de absorção atômica (AAS) continuam sendo amplamente empregadas devido à elevada precisão e confiabilidade analítica. Em contrapartida, métodos espectrofotométricos na região do ultravioleta e visível (UV-Vis) permanecem importantes em análises de triagem e monitoramento de rotina, especialmente por apresentarem menor custo operacional e maior rapidez na obtenção dos resultados (WHO, 2023; Silva et al., 2024).

A escolha da metodologia analítica depende diretamente das propriedades físico-químicas do contaminante investigado. Compostos voláteis apresentam melhor desempenho analítico por cromatografia gasosa, enquanto moléculas polares, termolábeis ou de elevada massa molecular são preferencialmente determinadas por cromatografia líquida. Da mesma forma, elementos metálicos requerem técnicas específicas capazes de quantificar concentrações extremamente baixas com elevada exatidão. Dessa forma, verifica-se que a seleção adequada da metodologia constitui etapa fundamental para garantir resultados confiáveis e compatíveis com os limites estabelecidos pela legislação vigente.

Outro aspecto relevante identificado na literatura refere-se aos efeitos da exposição crônica a contaminantes químicos. Diferentemente das intoxicações agudas, normalmente associadas à ingestão de elevadas concentrações em curto intervalo de tempo, a exposição contínua a pequenas quantidades pode produzir efeitos cumulativos ao longo dos anos. Esse comportamento é observado principalmente para metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, micotoxinas e determinados compostos orgânicos persistentes, cujos mecanismos de bioacumulação favorecem o aumento gradual das concentrações nos tecidos biológicos (WHO, 2023).

Sob o ponto de vista químico, esse comportamento está diretamente relacionado às propriedades estruturais das moléculas. A presença de anéis aromáticos, cadeias carbônicas hidrofóbicas e grupos funcionais específicos influencia parâmetros como polaridade, solubilidade, coeficiente de partição octanol/água ( $\log P$ ) e afinidade por membranas biológicas. Compostos mais lipofílicos apresentam maior tendência de acumulação em tecidos adiposos, enquanto moléculas mais polares são geralmente eliminadas com maior facilidade pelos

processos fisiológicos de excreção (Atkins; Jones, 2018; Nelson; Cox, 2021; WHO, 2023).

Além das propriedades estruturais, a biotransformação metabólica constitui fator determinante para a toxicidade de diversos contaminantes. Em alguns casos, o metabolismo promove a detoxificação da molécula, aumentando sua polaridade e facilitando sua eliminação. Entretanto, determinados compostos sofrem bioativação enzimática, originando metabólitos mais reativos do que a molécula original. Esse processo ocorre com a aflatoxina B1, que origina um epóxido altamente eletrofílico, com a acrilamida, convertida em glicidamida, e com diversos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, que formam epóxidos capazes de interagir com proteínas e ácidos nucleicos (Guengerich, 2008; EFSA, 2025; FAO/WHO, 2024).

Os estudos analisados também evidenciaram que a população está frequentemente exposta a múltiplos contaminantes químicos simultaneamente. Na prática, um único alimento pode conter resíduos de pesticidas provenientes da produção agrícola, contaminantes térmicos formados durante o processamento, metais pesados absorvidos do ambiente e compostos migrados das embalagens. Essa condição torna a avaliação toxicológica mais complexa, pois os efeitos resultantes podem diferir daqueles observados para cada substância isoladamente (EFSA, 2025; WHO, 2023; Li, 2025).

Nesse contexto, verifica-se que uma das principais limitações da literatura científica consiste na predominância de estudos que avaliam compostos individualmente. Embora essas pesquisas sejam fundamentais para compreender mecanismos específicos de toxicidade, ainda são escassos os trabalhos que investigam os efeitos da exposição simultânea a diferentes contaminantes químicos presentes nos alimentos. Essa lacuna demonstra a necessidade de novas pesquisas que permitam avaliações de risco mais representativas das condições reais de consumo (EFSA, 2025; WHO, 2023).

Outro aspecto relevante refere-se ao desenvolvimento de novas tecnologias voltadas à redução da contaminação química dos alimentos. O aperfeiçoamento dos processos industriais, a otimização das condições de aquecimento, a utilização de

matérias-primas de melhor qualidade e o desenvolvimento de embalagens com menor potencial de migração representam importantes estratégias para minimizar a formação e a transferência de contaminantes sem comprometer as características sensoriais e nutricionais dos produtos (Loveday, 2023; Utyanov et al., 2025; EFSA, 2025).

Da mesma forma, a adoção de Boas Práticas Agrícolas (BPA), Boas Práticas de Fabricação (BPF), programas de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) e sistemas de rastreabilidade constitui ferramenta essencial para reduzir a ocorrência desses contaminantes ao longo da cadeia produtiva. Essas medidas possibilitam identificar pontos críticos de controle, prevenir falhas durante o processamento e garantir maior segurança ao consumidor (ANVISA, 2021; FAO/WHO, 2024; Oliveira et al., 2025).

No âmbito regulatório, observa-se que instituições como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a European Food Safety Authority (EFSA), a Food and Drug Administration (FDA), a Food and Agriculture Organization (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (WHO) desempenham papel fundamental na elaboração de normas técnicas, definição de limites máximos permitidos e atualização periódica dos programas de monitoramento. A atuação conjunta desses órgãos tem contribuído significativamente para o aprimoramento das políticas de segurança alimentar e para a redução da exposição da população a contaminantes químicos (ANVISA, 2021; EFSA, 2025; FDA, 2025; WHO, 2023).

Entretanto, a constante evolução dos processos industriais, o surgimento de novos materiais utilizados em embalagens e as mudanças nos padrões de consumo exigem atualização permanente das legislações e dos métodos analíticos empregados pelos laboratórios de controle de qualidade. Além disso, fatores ambientais, como alterações climáticas e intensificação das atividades agrícolas, podem modificar os padrões de ocorrência de determinados contaminantes, reforçando a importância do monitoramento contínuo (EFSA, 2025; FAO/WHO, 2024; Utyanov et al., 2025).

De maneira geral, os resultados desta revisão evidenciam que a contaminação química em alimentos processados representa um desafio multidisciplinar que envolve

conhecimentos de Química Orgânica, Química Analítica, Toxicologia, Ciência dos Alimentos e Saúde Pública. A compreensão das estruturas moleculares, dos grupos funcionais e das propriedades físico-químicas dos contaminantes permite explicar sua formação, estabilidade, comportamento analítico, biodisponibilidade e mecanismos de ação tóxica, fornecendo embasamento científico para o desenvolvimento de estratégias preventivas mais eficientes (Lanças, 2009; Jardim; Almeida, 2014; Nelson; Cox, 2021; WHO, 2023).

Por fim, conclui-se que a produção de alimentos seguros depende da integração entre conhecimento científico, inovação tecnológica, fiscalização eficiente e adoção de boas práticas ao longo de toda a cadeia produtiva. A ampliação das pesquisas sobre contaminantes químicos, associada ao desenvolvimento de métodos analíticos cada vez mais sensíveis e ao fortalecimento das políticas públicas de segurança alimentar, contribuirá para reduzir a exposição da população a essas substâncias e promover maior proteção da saúde pública (EFSA, 2025; ANVISA, 2021; FAO/WHO, 2024).

## 6.CONCLUSÃO

A partir da revisão bibliográfica realizada, foi possível compreender que os contaminantes químicos em alimentos processados constituem um problema relevante e complexo dentro do contexto da segurança alimentar. Esses compostos podem ter origem em diferentes etapas da cadeia produtiva, incluindo a produção agrícola, o processamento industrial, o armazenamento e até mesmo o contato com materiais de embalagem, evidenciando que a contaminação não está restrita a um único ponto, mas resulta da interação de múltiplos fatores.

Os resultados evidenciam que os principais contaminantes encontrados em alimentos processados incluem metais pesados, resíduos de pesticidas, micotoxinas, compostos formados durante o processamento térmico, como acrilamida e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, além de substâncias migradas de embalagens. Cada um desses grupos apresenta mecanismos distintos de formação e diferentes níveis de toxicidade, o que reforça a necessidade de abordagens específicas para controle e prevenção.

Observou-se também que o processamento de alimentos, embora essencial para a conservação, melhoria sensorial e segurança microbiológica, pode favorecer a formação de substâncias indesejáveis, especialmente quando envolve altas temperaturas e longos períodos de exposição ao calor. Dessa forma, existe um equilíbrio necessário entre a qualidade tecnológica dos alimentos e a minimização de riscos à saúde humana.

Outro aspecto importante identificado foi a relevância dos métodos analíticos na detecção e monitoramento desses contaminantes. Técnicas instrumentais avançadas, como cromatografia acoplada à espectrometria de massas, desempenham papel fundamental na identificação de substâncias em níveis traço, contribuindo para o controle sanitário e para o cumprimento das legislações vigentes. No entanto, ainda há desafios relacionados ao custo, à complexidade das análises e à necessidade de maior disseminação dessas tecnologias.

Do ponto de vista da saúde pública, a literatura consultada indica que a exposição contínua a contaminantes químicos pode estar associada a efeitos adversos crônicos, como distúrbios metabólicos, hormonais, neurológicos e aumento

do risco de doenças degenerativas. Esse cenário reforça a importância de estratégias preventivas e de controle rigoroso em todas as etapas da cadeia alimentar.

Apesar da existência de regulamentações estabelecidas por órgãos nacionais e internacionais, como ANVISA, EFSA e FDA, ainda persistem desafios na padronização e fiscalização efetiva, principalmente devido à variabilidade na formação desses compostos e à diversidade das matrizes alimentares. Assim, torna-se fundamental o fortalecimento das políticas de controle, o avanço das tecnologias de processamento mais seguras e a ampliação das práticas de monitoramento.

Conclui-se, portanto, que a segurança dos alimentos processados depende de uma abordagem integrada, envolvendo boas práticas agrícolas e industriais, controle rigoroso das condições de processamento, uso de métodos analíticos adequados e constante atualização das normas regulatórias. Além disso, destaca-se a importância de investimentos em pesquisa científica para melhor compreender os mecanismos de formação desses contaminantes e desenvolver estratégias mais eficazes de prevenção, visando a proteção da saúde do consumidor e a promoção de um sistema alimentar mais seguro e sustentável.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Contaminantes em alimentos**. Brasília, DF: ANVISA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/alimentos/contaminantes>. Acesso em: 30 jan. 2026.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Contaminantes químicos em alimentos**. Brasília, DF: ANVISA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa>. Acesso em: 25 jan. 2026.
- ASSEMBLEIA GERAL DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: Organização das Nações Unidas, 2015.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- BJELDANES, L. F.; SHIBAMOTO, T. **Introduction to Food Toxicology**. 2. ed. Amsterdam: Academic Press, 2014.
- BORGES, K. B.; FERRAZ, H. G.; OLIVEIRA, A. R. M. Cromatografia líquida de alta eficiência: princípios e aplicações. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1327-1334, 2006.
- BRASIL. Ministério da Cidadania. **Guia de Boas Práticas para Bancos de Alimentos**. Guia n. 26, versão 1. Brasília, DF: Ministério da Cidadania, 2019.
- CAPUANO, E.; FOGLIANO, V. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): a review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. **LWT – Food Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 793-810, 2011.
- CASIDA, J. E.; DURKIN, K. A. Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance and secondary effects. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 99-117, 2013.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). **Chemical contaminants in food and feed**. Parma: EFSA, 2025. Disponível em: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/chemical-contaminants-food-feed>. Acesso em: 30 jan. 2026.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). Update on the risks for human health related to the presence of acrylamide and polycyclic aromatic hydrocarbons in food. **EFSA Journal**, v. 23, n. 1, e09001, 2025.
- FAO; WHO. **Food Safety and Mycotoxins: Risk Assessment and Control Measures**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; Geneva: World Health Organization, 2024.
- FREIRE, M. T. A. et al. Contaminantes voláteis provenientes de embalagens plásticas: desenvolvimento e validação de métodos analíticos. **Química Nova**, São

Paulo, v. 31, n. 6, p. 1522-1532, 2008.

GUENGERICH, F. P. Cytochrome P450 and chemical toxicology. **Chemical Research in Toxicology**, v. 21, n. 1, p. 70-83, 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change and Land: an IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems**. Geneva: IPCC, 2019.

JARDIM, W. F.; ALMEIDA, F. V. Contaminação química dos alimentos e métodos analíticos de controle. **Química Nova na Escola**, v. 36, n. 4, p. 256-263, 2014.

KHAN, S. et al. Heavy metals in agricultural soils and crops: sources, impacts and remediation strategies. **Environmental Pollution**, v. 234, p. 21-37, 2018.

KOSZUCKA, A.; NOWAK, A. Thermal processing food-related toxicants: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 22, p. 3579-3596, 2019.

LANÇAS, F. M. Cromatografia em fase gasosa: fundamentos e aplicações. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1905-1913, 2009.

LEONG, S. Y. et al. The formation of flavour compounds and contaminants during food processing. **Food Chemistry**, v. 271, p. 343-354, 2019.

LI, C. Chemical contaminants and food quality. **Foods**, Basel, v. 14, n. 13, p. 2317, 2025.

LOVEDAY, S. M. Food processing: principles and applications for improved food quality and safety. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 14, p. 1-24, 2023.

MARINS, B. R.; TANCREDI, R. C. P.; GEMAL, A. L. **Segurança alimentar no contexto da vigilância sanitária: reflexões e práticas**. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz, 2014.

MARQUES, A. C. Contaminantes químicos em alimentos: ocorrência, formação e riscos à saúde humana. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2019.

MOTTRAM, D. S.; WEDZICHA, B. L.; DODSON, A. T. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. **Nature**, London, v. 419, p. 448-449, 2002.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. 8. ed. New York: W. H. Freeman, 2021.

OLIVEIRA, V. S. et al. Food quality ensures hygienic and sanitary conditions to obtain a product free from contaminants while maintaining its sensory and nutritional characteristics. **Interações**, Campo Grande, v. 26, n. 1, 2025.

PEKMEZCI, H.; SIPAHI, S.; BAŞARAN, B. Health risk assessment of dietary chemical exposures: a comprehensive review. **Foods**, Basel, v. 14, n. 23, p. 4133,

2025.

RANNOU, C. et al. Food processing and formation of heat-induced contaminants: a review. **Food Chemistry**, v. 196, p. 1-9, 2016.

SILVA, S. A. et al. Atuação do Núcleo de Contaminantes Orgânicos na análise de contaminantes em alimentos e águas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, 2024.

SKOG, K. Formation of food carcinogens during cooking and processing. **Food and Chemical Toxicology**, 2021.

TANCREDI, R. C. P.; MARINS, B. R. Evolução da higiene e do controle de alimentos no contexto da saúde pública. In: MARINS, B. R.; TANCREDI, R. C. P.; GEMAL, A. L. (org.). **Segurança alimentar no contexto da vigilância sanitária: reflexões e práticas**. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz, 2014. p. 15-36.

TEIXEIRA, G. F.; PAZZOTI, G. S. O. Implantação de boas práticas de fabricação e procedimentos operacionais padronizados em uma indústria de alimentos. **Revista Científica**, v. 1, n. 1, 2021.

UNITED STATES FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). **Chemical Contaminants in Food**. Silver Spring: FDA, 2025. Disponível em: <https://www.fda.gov>. Acesso em: 25 jan. 2026.

UTYANOV, D. et al. Chemical migration from polymeric food packaging materials and potential risks to food safety. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 35, p. 101234, 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Food safety: chemical risks in food**. Geneva: World Health Organization, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/food-safety>. Acesso em: 30 jan. 2026.