



Graduação  Pós-Graduação

Artigo completo  Relato de prática  Resumo expandido

## TRANSFORMAÇÕES NA INDÚSTRIA ALIMENTAR IMPULSIONADAS POR TECNOLOGIAS EMERGENTES: tendências da literatura

**Renato Araujo**

**Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)**

**renatoaraujo@estudante.ufscar.br**

**Lucas Rodrigues Deliberador**

**Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)**

**lucasdeliberador@ufgd.edu.br**

**Mário Otávio Batalha**

**Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)**

**dmob@ufscar.br**

### RESUMO

A indústria alimentar enfrenta pressões crescentes relacionadas à sustentabilidade, à evolução das preferências dos consumidores e à segurança alimentar e à dos alimentos, o que impulsiona a adoção de novas tecnologias e promove transformações em diferentes etapas da cadeia de valor. Apesar do crescente interesse acadêmico sobre o tema, ainda há uma compreensão limitada e integrada sobre como essas tecnologias têm sido investigadas na literatura científica e quais tendências de pesquisa emergem nesse campo. Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo mapear a produção científica sobre as transformações tecnológicas na indústria alimentar, identificando as principais tecnologias investigadas e as áreas de aplicação mais recorrentes. Para isso, foi realizada uma análise bibliométrica de 72 artigos científicos, selecionados por meio de um processo PRISMA nas bases Scopus e Web of Science. Os resultados evidenciam a predominância de estudos relacionados a tecnologias digitais, físicas e biológicas aplicadas à produção, ao processamento, à rastreabilidade, à qualidade e ao desenvolvimento de produtos alimentares, além de indicarem tendências temáticas e lacunas de pesquisa. O estudo contribui ao oferecer uma visão estruturada da evolução do campo, apoiando futuras investigações e a tomada de decisão por pesquisadores e profissionais da área.

**Palavras-chave:** Indústria alimentar; Transformações; Tecnologias.

## 1 INTRODUÇÃO

Pressionada pela necessidade de alimentar uma população global em crescimento com maior qualidade e menor uso de recursos naturais, a indústria alimentar passa por um processo contínuo de transformação (Galanakis, 2024). Integrada ao sistema alimentar global, essa indústria é responsável pela transformação de matérias-primas em alimentos seguros, nutritivos e acessíveis (Lamm et al., 2024). Estima-se que, até 2050, o setor deverá suprir as necessidades alimentares de cerca de 10 bilhões de pessoas (Sadigov, 2022).

Entretanto, o modelo de produção vigente apresenta limitações relevantes, incluindo elevados níveis de perdas e desperdícios, emissões de gases de efeito estufa, uso intensivo de recursos naturais e riscos associados à fraude alimentar (Onyeaka et al., 2025; Çakmakçı et al., 2024; Liberty, 2025). Além disso, surgem novos desafios relacionados à padronização de dados, à integração de sistemas e a questões éticas e de cibersegurança, evidenciando a necessidade de uma transformação estrutural da indústria (Krupitzer; Stein, 2024; Singh et al., 2025). Essas pressões estão associadas principalmente a três dimensões contemporâneas de demanda: sustentabilidade, evolução das preferências do consumidor e segurança alimentar e dos alimentos (Mac Clay et al., 2024).

A sustentabilidade destaca-se como uma das dimensões mais críticas, uma vez que o crescimento populacional e as mudanças nos padrões de consumo intensificam a pressão sobre recursos naturais como terra, água e energia (Corigliano; Algieri, 2024). Paralelamente, consumidores demandam alimentos mais saudáveis, seguros e produzidos de forma responsável, exigindo da indústria equilíbrio entre qualidade, preço e conformidade regulatória (Taner, 2024; Liu et al., 2023). No campo da segurança alimentar, fatores como mudanças climáticas, conflitos geopolíticos e pandemias ampliaram os riscos de insegurança alimentar. Além disso, na questão da segurança dos alimentos, permanecem desafios relacionados à contaminação microbiana e química, bem como à necessidade de maior rastreabilidade e transparência nas cadeias produtivas (Paudel et al., 2023; Djekić et al., 2023).

Nesse contexto, novas tecnologias têm assumido um papel central na transformação da indústria alimentar. Tecnologias digitais, como inteligência artificial, *big data*, internet das coisas e *blockchain*, possibilitam maior integração de dados, rastreabilidade e automação de processos. Tecnologias físicas, como a manufatura aditiva e as embalagens inteligentes, ampliam a eficiência e a vida útil dos produtos, enquanto avanços em biotecnologia, incluindo proteínas alternativas e alimentos funcionais, contribuem para a inovação e a sustentabilidade

(Singh et al., 2025; Pavón Losada et al., 2025; Alem Fonseca et al., 2024). Essas tecnologias têm promovido mudanças significativas em diferentes etapas da cadeia produtiva, desde a produção primária até o processamento, a logística e a gestão organizacional, favorecendo um modelo industrial mais eficiente, orientado por dados e alinhado às demandas contemporâneas (Orjuela-Garzon et al., 2024).

Apesar do crescente interesse acadêmico por tecnologias emergentes aplicadas aos sistemas alimentares, ainda há uma compreensão limitada e integrada sobre como essas tecnologias, em conjunto, estão transformando especificamente a indústria alimentar. A literatura frequentemente aborda transformações amplas nos sistemas alimentares, considerando fatores como mudanças climáticas, crescimento populacional e escassez de recursos, mas permanece uma lacuna quanto à análise sistemática dessas transformações no elo central do sistema alimentar, a indústria alimentar (Hassoun, 2025; Orjuela-Garzon et al., 2024). Além disso, são escassos os estudos que relacionam diretamente as tecnologias emergentes às áreas específicas de impacto na indústria, bem como às barreiras que dificultam sua adoção (Rajan; Wani, 2025; Singh et al., 2025).

Este estudo teve como objetivo examinar as transformações ocorrendo na indústria alimentícia impulsionadas por novas tecnologias, por meio do mapeamento da produção científica sobre o tema. Procura identificar as principais tecnologias estudadas, as áreas da cadeia de valor mais abordadas e as tendências emergentes na literatura. Para isso, utilizou-se uma análise bibliométrica que permite explorar a estrutura do campo de pesquisa, revelando padrões de publicação e lacunas de investigação. O estudo contribui ao oferecer uma visão atualizada do estado da arte das transformações tecnológicas na indústria alimentar, ajudando pesquisadores, gestores e formuladores de políticas públicas a compreender caminhos para o desenvolvimento de sistemas alimentares mais eficientes, seguros e sustentáveis.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A indústria alimentar evoluiu continuamente em resposta a mudanças tecnológicas, econômicas e sociais. Sua configuração moderna emergiu no século XIX, com a transição da produção artesanal para o processamento industrial, impulsionada por inovações como o enlatamento, a pasteurização e a refrigeração (Akhila et al., 2022; Ubbink; Levine, 2025). Ao longo do século XX, a urbanização, a maior participação das mulheres no mercado de trabalho e a expansão do comércio global aumentaram a demanda por alimentos processados e

convenientes (Silva et al., 2018). O progresso tecnológico, a concentração do varejo e a globalização reconfiguraram as cadeias de suprimentos e os modelos de negócio, contribuindo para a produção em larga escala, a padronização de produtos e a consolidação de empresas multinacionais do setor (Reardon; Timmer, 2007). Mais recentemente, preocupações com sustentabilidade ambiental, saúde e transparência ampliaram a complexidade das cadeias alimentares e reforçaram o papel estratégico da indústria alimentar nos sistemas agroalimentares (Galanakis, 2024).

A transformação contemporânea da indústria alimentar é impulsionada por múltiplas pressões relacionadas à sustentabilidade, à evolução das preferências dos consumidores e à segurança alimentar e à dos alimentos. As pressões por sustentabilidade estão associadas às mudanças climáticas, à escassez de recursos naturais e aos impactos ambientais dos padrões de produção e consumo atuais. Essas preocupações têm estimulado a adoção de princípios da economia circular, de ferramentas de avaliação do ciclo de vida e de modelos produtivos mais eficientes no uso de recursos (Corigliano; Algieri, 2024). Paralelamente, as preferências dos consumidores têm se orientado para alimentos mais saudáveis, seguros e transparentes, incluindo produtos de origem vegetal, alimentos funcionais e formulações com menor presença de aditivos (Liu et al., 2023). A digitalização tem ampliado o acesso à informação, aumentando a conscientização dos consumidores e fortalecendo as demandas por rastreabilidade, responsabilidade socioambiental e práticas produtivas éticas (Wilkinson, 2023).

A segurança alimentar (*food security*) e a segurança dos alimentos (*food safety*) constituem outra dimensão central das transformações atuais. Mudanças climáticas, conflitos geopolíticos e pandemias têm evidenciado vulnerabilidades nas cadeias globais de suprimentos, afetando a disponibilidade e o acesso a alimentos (Paudel et al., 2023). Ao mesmo tempo, a crescente complexidade das cadeias produtivas intensifica riscos relacionados à contaminação microbiológica, perigos químicos e fraudes alimentares, exigindo padrões mais rigorosos, sistemas de monitoramento e mecanismos de rastreabilidade (Mangla et al., 2021). Essas pressões reforçam a necessidade de coordenação entre os diferentes elos da cadeia de valor para garantir a qualidade, a segurança e a confiabilidade dos alimentos.

Nesse contexto, as tecnologias emergentes têm se consolidado como importantes habilitadoras da transformação da indústria alimentar. Sob os paradigmas da Indústria 4.0 e da Indústria 5.0, tecnologias digitais, físicas e biológicas contribuem para aumentar a eficiência produtiva, promover a sustentabilidade e fortalecer a segurança dos alimentos, além de viabilizar novos modelos de negócio e estratégias produtivas (Hassoun et al., 2024). Essas

tecnologias favorecem a tomada de decisão orientada por dados, a otimização de processos e o desenvolvimento de sistemas mais circulares e eficientes no uso de recursos. Também possibilitam a valorização de subprodutos e a redução de perdas e desperdícios ao longo das cadeias de suprimentos (Aït-Kaddour et al., 2024).

As tecnologias digitais, como inteligência artificial, *big data*, internet das coisas, *blockchain* e *digital twins*, permitem o monitoramento em tempo real, a manutenção preditiva, a rastreabilidade e a otimização de processos produtivos (Bisht et al., 2025). Esses recursos viabilizam conceitos como *Food Processing 4.0* e *Food Quality 4.0*, baseados na automação orientada por dados e no controle contínuo dos atributos de qualidade (Hassoun et al., 2022). Além disso, a digitalização contribui para maior transparência e para a redução de assimetrias de informação entre os atores da cadeia de suprimentos, fortalecendo a confiança e melhorando o desempenho operacional (Arshad et al., 2025).

As biotecnologias contribuem para o desenvolvimento de novos ingredientes, proteínas alternativas e alimentos funcionais, apoiando simultaneamente objetivos de inovação e de sustentabilidade. Técnicas como a engenharia genética e a edição gênica permitem o uso de microrganismos capazes de produzir enzimas, compostos bioativos e nutrientes específicos (Areche et al., 2023). A biotecnologia também possibilita o desenvolvimento de proteínas de origem vegetal, carne cultivada e produtos nutracêuticos, embora questões regulatórias e de aceitação pelo consumidor ainda representem desafios relevantes (Liu et al., 2023).

As tecnologias físicas incluem métodos avançados de processamento, robótica, manufatura aditiva e embalagens inteligentes. Tecnologias como processamento por alta pressão, campos elétricos pulsados e plasma frio contribuem para melhorar a conservação, a segurança e a qualidade dos alimentos (Misra et al., 2017). Embalagens inteligentes integram sensores e materiais ativos para monitorar as condições dos produtos e prolongar sua vida útil, contribuindo para a rastreabilidade e a redução de desperdícios (Galanakis, 2024). Robôs e sistemas ciberfísicos aumentam a precisão e a produtividade das operações industriais, promovendo ambientes mais flexíveis e eficientes (Smetana et al., 2021).

De modo geral, a literatura indica que a inovação tecnológica é um dos principais fatores na transformação estrutural da indústria alimentar. Tecnologias digitais, biológicas e físicas interagem para melhorar a produtividade, a qualidade dos produtos, a sustentabilidade e a coordenação das cadeias de suprimentos. Essas transformações contribuem para a transição rumo a sistemas alimentares mais eficientes, resilientes e sustentáveis, reforçando a importância de compreender como tecnologias emergentes estão moldando a evolução da indústria

alimentar.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo adota a análise bibliométrica como procedimento metodológico, com o objetivo de mapear as tendências emergentes da literatura científica sobre transformações na indústria alimentar impulsionadas por tecnologias emergentes. A análise bibliométrica permite identificar padrões de produção científica, redes de colaboração, evolução temática e relações entre conceitos por meio de técnicas quantitativas aplicadas a publicações acadêmicas (Donthu et al., 2021). Essa abordagem é particularmente adequada para sintetizar grandes volumes de literatura e identificar lacunas de pesquisa, contribuindo para o avanço do conhecimento em áreas interdisciplinares.

A coleta de dados foi realizada por meio de uma busca sistemática nas bases de dados científicas Scopus (*Elsevier*) e Web of Science (*Thomson Reuters Institute for Scientific Information*). Utilizando combinações de palavras-chave relacionadas à indústria alimentar, às tecnologias emergentes e à transformação industrial. As palavras-chave e a *string* de busca adotadas neste trabalho estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1: Estratégia de busca e palavras-chave utilizadas na coleta de dados**

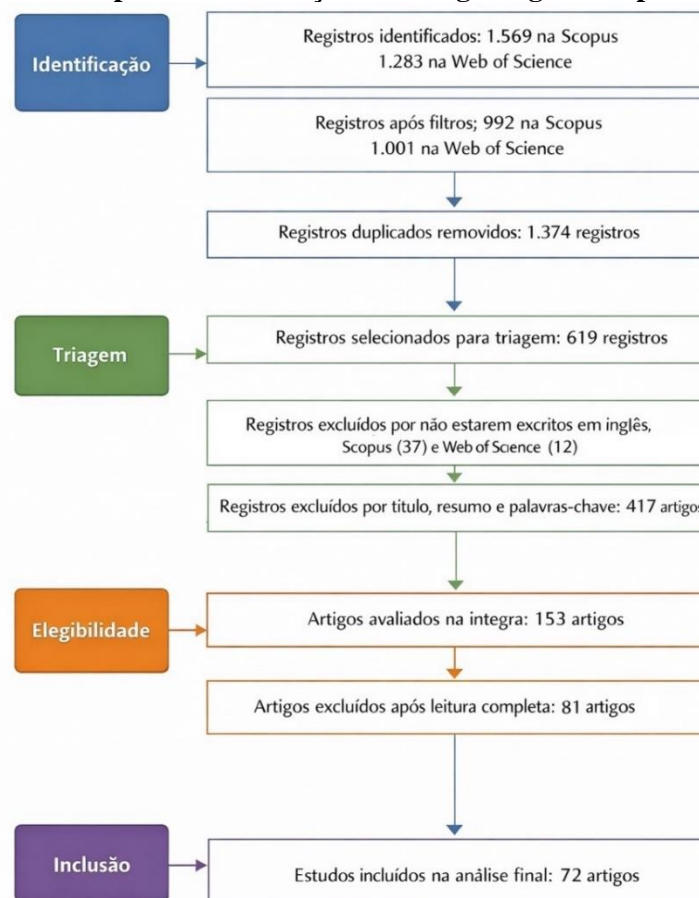
Construto	Palavras-chave	Estratégia de busca	Base de dados
Transformações no segmento industrial da indústria alimentar impulsionadas por tecnologias emergentes	Transformation; Transition; Food system; Food industry; Global supply chain; Agrifood value chain; Digitalization; Emerging technologies	("transformation*" OR "trend*" OR "change*" OR "innovation*" OR "transition*" OR "restructuring*" OR "adaptation*" OR "modification*") AND ("food system*" OR "food indust*" OR "agri-food system*" OR "food supply system*" OR "agri-food network*" OR "global food system*" OR "agri-food chain" OR "value chain" OR "supply chain" OR "supply network*" OR "value network*" OR "global supply chain" OR "global value chain") AND ("technolog*" OR "digital*" OR "information technology" OR "digital transformation" OR "industry 4.0" OR "IoT" OR "Internet of Things" OR "blockchain" OR "artificial intelligence" OR "AI" OR "big data" OR "automation" OR "robotics" OR "cloud computing" OR "smart farm*" OR "precision agriculture" OR "data-	Web of Science; Scopus

Construto	Palavras-chave	Estratégia de busca	Base de dados
		driven" OR "ICT" OR "Information and Communication Technologies")	

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Foram considerados apenas artigos revisados por pares, publicados em periódicos científicos, a fim de garantir a qualidade e a confiabilidade das evidências analisadas. Esta pesquisa utilizou a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) para estabelecer diretrizes para a seleção e avaliação dos artigos finais a serem analisados. A metodologia PRISMA 2020 foi concebida para auxiliar pesquisadores a relatarem, de forma transparente, a revisão, os métodos empregados e as principais conclusões obtidas a partir das buscas (Page et al., 2021). Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, obteve-se uma amostra final de 72 artigos científicos, que compõem o corpus de análise deste estudo. A Figura 1 ilustra o processo de seleção PRISMA aplicado.

**Figura 1: Fluxograma do processo de seleção dos artigos segundo o protocolo PRISMA 2020**



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

As informações bibliométricas foram extraídas dos metadados dos artigos, incluindo autores, ano de publicação, periódico, palavras-chave, citações e resumos. Esses dados permitiram analisar a evolução temporal das publicações, identificar os principais periódicos, autores e temas investigados, bem como mapear relações entre conceitos e áreas de pesquisa.

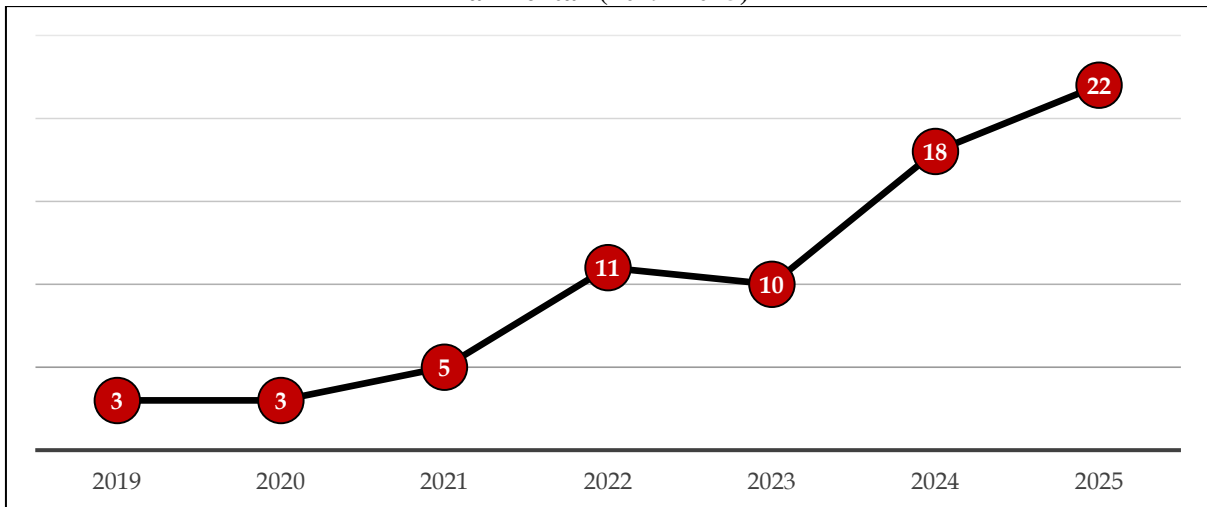
A análise bibliométrica também foi conduzida com o apoio do *software* especializado VOSviewer, na versão 1.6.20, que permite a construção de redes de coocorrência de palavras-chave, a análise de coautoria e a identificação de clusters temáticos. A análise de coocorrência permite identificar os principais temas investigados e suas inter-relações, enquanto a análise de coautoria permite compreender a estrutura de colaboração científica no campo. A análise de citações contribui para identificar estudos influentes e a base intelectual que sustenta o desenvolvimento da área.

A combinação dessas técnicas permite compreender como as tecnologias digitais, físicas e biológicas têm sido investigadas na literatura e em quais áreas da indústria alimentar seus impactos são mais evidentes. Dessa forma, a análise bibliométrica fornece evidências estruturadas sobre tendências emergentes, lacunas de pesquisa e oportunidades para investigações futuras.

#### 4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A amostra final da análise bibliométrica, resultado do processo de seleção PRISMA, compreende 72 artigos científicos publicados entre 2019 e 2025, o que ressalta a natureza recente e emergente do tema. Um aumento constante no número de publicações é evidente ao longo do tempo, com uma concentração mais acentuada a partir de 2022. O número de estudos atinge o pico em 2024 (19 artigos) e em 2025 (22 artigos). Essa tendência indica um crescente interesse acadêmico pela transformação da indústria alimentar e pelo papel das novas tecnologias nesse processo. A Figura 2 mostra a evolução das publicações ao longo dos anos.

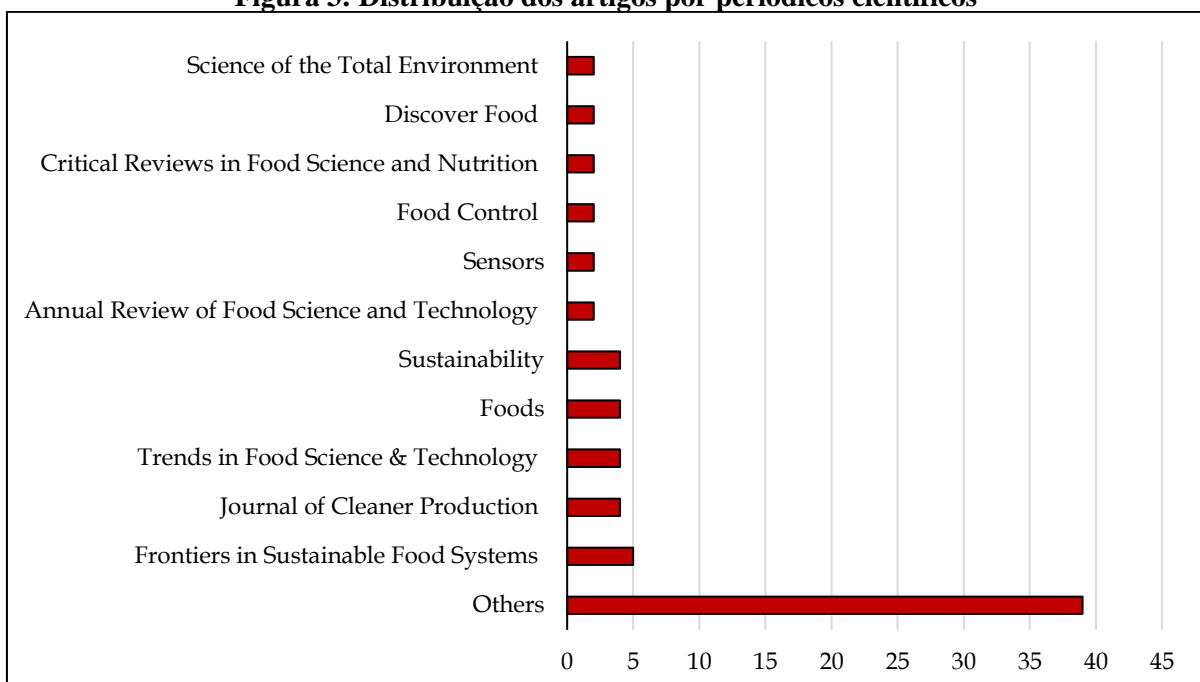
**Figura 2: Evolução temporal das publicações sobre tecnologias emergentes na indústria alimentar (2019–2025)**



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Em termos de periódicos, os artigos estão distribuídos por uma ampla gama de publicações, com predominância de periódicos internacionais consolidados em estudos alimentares e sustentabilidade, engenharia, operações e gestão da cadeia de suprimentos, como se vê na Figura 3. A dispersão por diferentes periódicos reforça a natureza transversal do tema e sugere que as transformações da indústria alimentícia sejam discutidas em múltiplos domínios científicos, em vez de uma única disciplina.

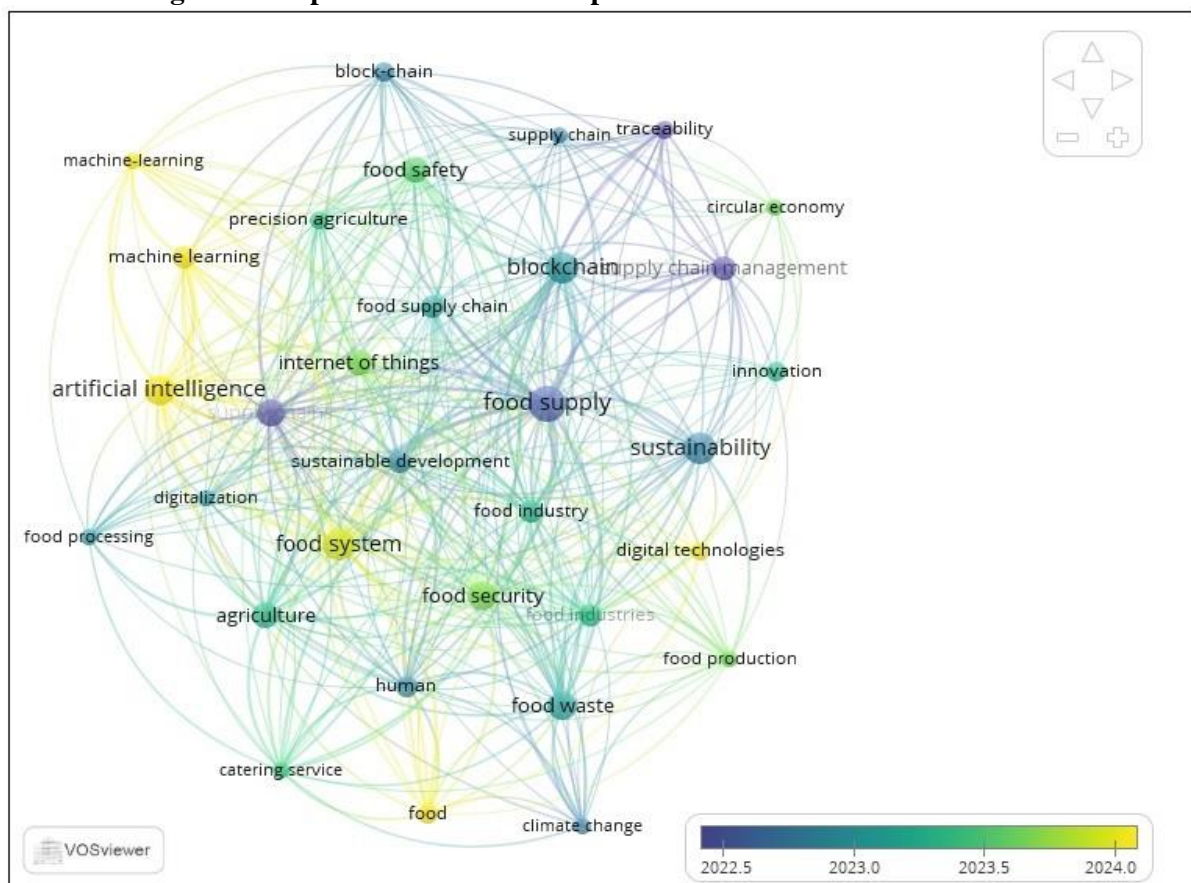
**Figura 3: Distribuição dos artigos por periódicos científicos**



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Para analisar as palavras-chave identificadas pelo *software* VOSviewer, o número mínimo de ocorrências de cada palavra-chave foi definido em 2. Com isso, as 32 palavras-chave encontradas são apresentadas na Figura 4. O resultado da análise bibliométrica é apresentado em quatro agrupamentos, que definem a temática pela proximidade de assuntos e também indicam as ocorrências ao longo da temporalidade de seu aparecimento, evidenciando temas mais maduros e futuras direções de pesquisa. O agrupamento com temas mais recentes (em amarelo) apresenta pesquisas relacionadas a tecnologias emergentes, com palavras-chave como inteligência artificial (*artificial intelligence*), aprendizado de máquina (*machine learning*) e tecnologias digitais (*digital technologies*). Temas mais maduros (em azul) indicam pesquisas já mais exploradas com palavras-chave como suprimento de alimentos (*food supply*), sustentabilidade (*sustainability*) e cadeia de suprimentos (*supply chain*). Os estudos apresentados em tons de verde representam a produção científica de período intermediário, evidenciando uma fase de transição entre as pesquisas mais antigas (em azul) e as investigações mais recentes (em amarelo).

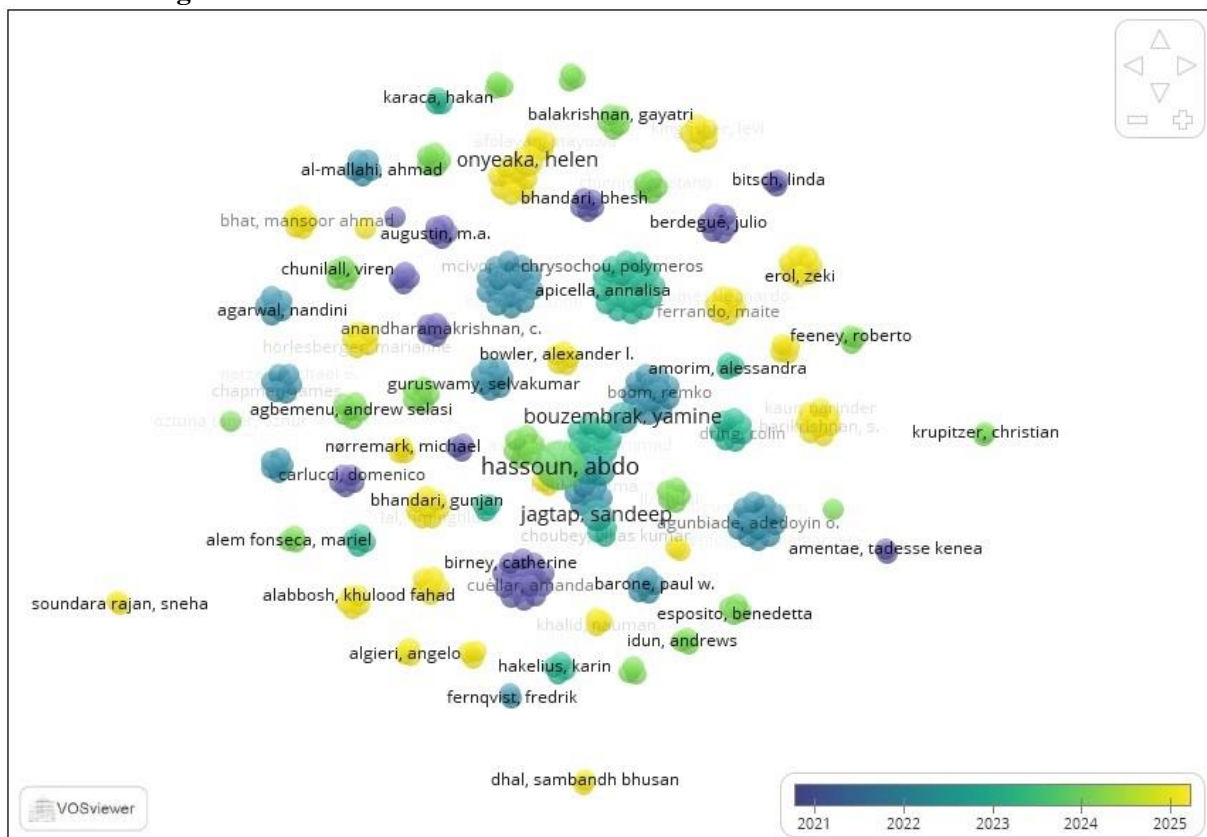
**Figura 4: Mapa de coocorrência de palavras-chave da literatura analisada**



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

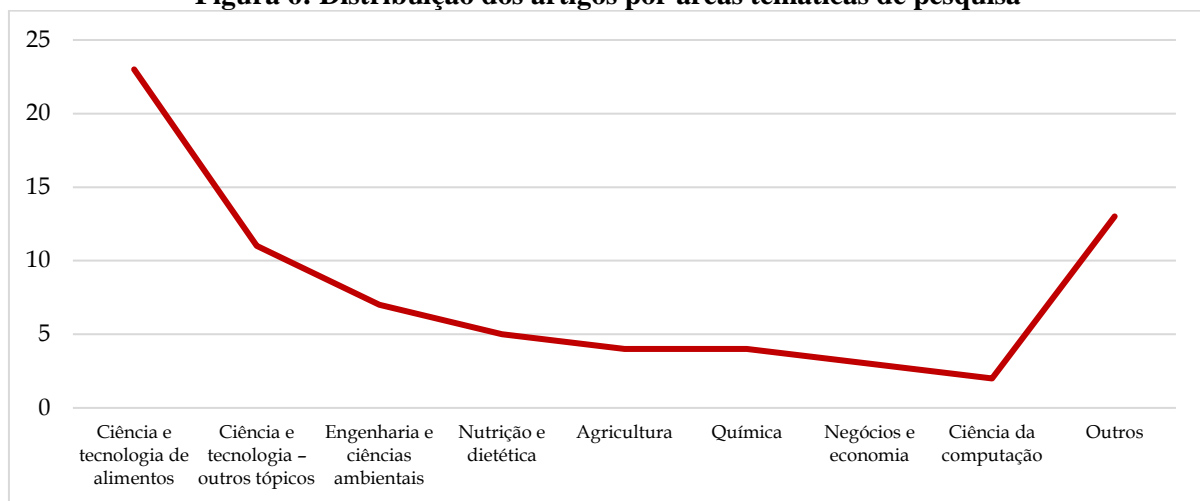
A coocorrência de autores citados revelou que o *software* identificou um total de 381 autores, indicando colaboração entre grupos e a temporalidade das publicações. Essa análise auxilia na identificação de grupos de pesquisa por tema e estágio de desenvolvimento dos trabalhos, como ilustrado na Figura 5.

**Figura 5: Rede de coocorrência de autores citados na literatura analisada**



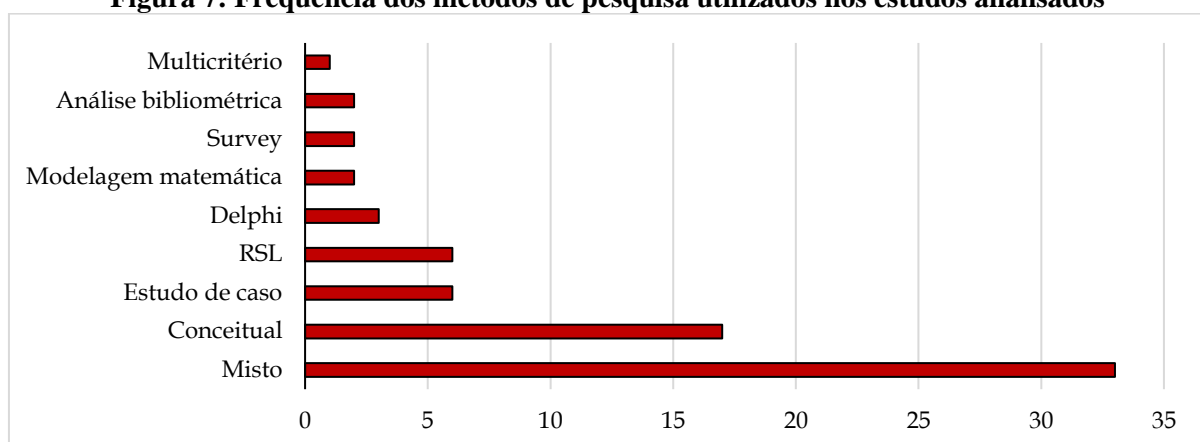
Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Em relação às áreas temáticas, a maioria dos estudos se concentra em ciência dos alimentos e tecnologia, que representam a maior parte da amostra (23 artigos). Outras áreas relevantes incluem combinações de ciências ambientais, engenharia e tópicos multidisciplinares, bem como contribuições de áreas como agricultura, nutrição, química, ciência da computação e negócios, conforme mostrado na Figura 6. Essa distribuição confirma a natureza multidisciplinar da área e reflete a necessidade de integrar aspectos tecnológicos, organizacionais, ambientais e econômicos.

**Figura 6: Distribuição dos artigos por áreas temáticas de pesquisa**

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

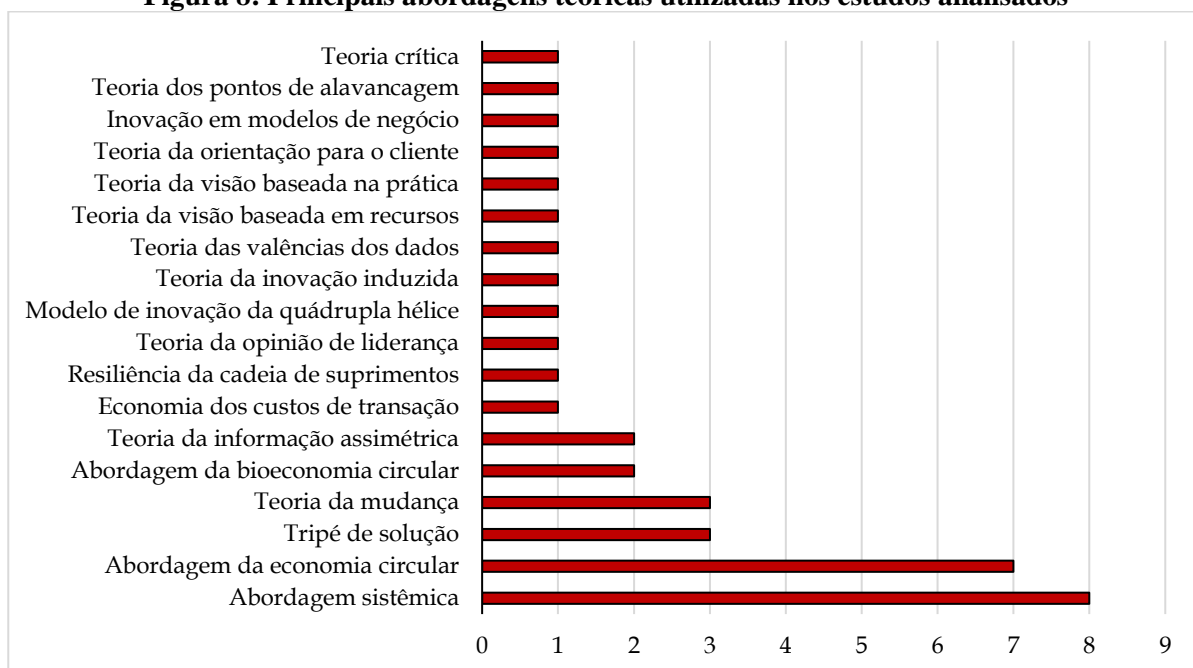
Em relação aos métodos de pesquisa, a literatura é dominada por abordagens mistas (33 estudos), o que indica uma forte tendência a combinar evidências de métodos qualitativos e quantitativos. Estudos conceituais também representam uma parcela significativa da amostra (17 artigos), destacando a fase exploratória e de construção teórica da área. Abordagens empíricas incluem estudos de caso (6) e estudos Delphi (3), enquanto as abordagens quantitativas e métodos formais, como modelagem matemática, *surveys*, revisão sistemática da literatura, análises bibliométricas e métodos multicritério, são menos utilizados. Essa distribuição sugere que, embora a validação empírica esteja avançando, a área ainda está amplamente focada no desenvolvimento conceitual e nas análises integrativas. A Figura 7 apresenta a frequência dos métodos utilizados.

**Figura 7: Frequência dos métodos de pesquisa utilizados nos estudos analisados**

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Em termos de fundamentos teóricos, os estudos baseiam-se numa ampla gama de abordagens, fragmentada. As estruturas orientadas a sistemas são as mais frequentemente aplicadas, com a abordagem sistêmica (8 estudos) e a abordagem da economia circular (7 estudos) sendo as mais utilizadas. Outras teorias recorrentes incluem a Teoria do Tripé de Solução (*Triple Bottom Line*) e a Teoria da Mudança (*Theory of Change*), ambas aplicadas a três estudos, o que reflete ênfase na sustentabilidade, nas trajetórias de impacto e nos resultados socioeconômicos. Abordagens adicionais, como a Bioeconomia Circular, a Teoria da Informação Assimétrica, a Economia dos Custos de Transação, a Resiliência da Cadeia de Suprimentos, a Visão Baseada em Recursos e a Inovação em Modelos de Negócios, aparecem de forma esporádica. Essa dispersão teórica indica um campo que ainda está consolidando seus fundamentos conceituais e experimentando múltiplas lentes para explicar os processos de transformação na indústria alimentar, como se observa na Figura 8.

**Figura 8: Principais abordagens teóricas utilizadas nos estudos analisados**

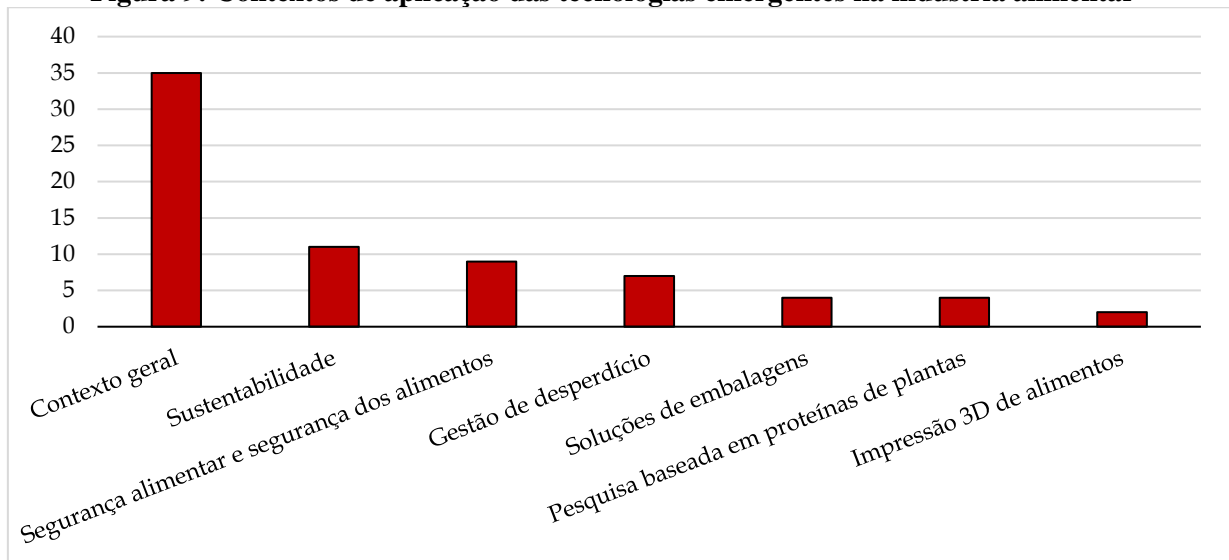


Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Em relação ao contexto da indústria alimentícia, uma parte substancial dos estudos adota uma perspectiva geral ou transversal (35 artigos), abordando transformações sem foco em um segmento específico. Entre os contextos mais emergentes, destacam-se a sustentabilidade (11 estudos) e a segurança alimentar e dos alimentos (9 estudos), que são os temas mais relevantes, seguidos pela gestão do desperdício alimentar (7 estudos) e por soluções de embalagem (4 estudos). Tópicos emergentes e mais especializados, como a pesquisa sobre proteínas vegetais

e a impressão 3D de alimentos, aparecem com menos frequência, sugerindo que essas áreas ainda se encontram em estágios iniciais de desenvolvimento, como ilustrado na Figura 9.

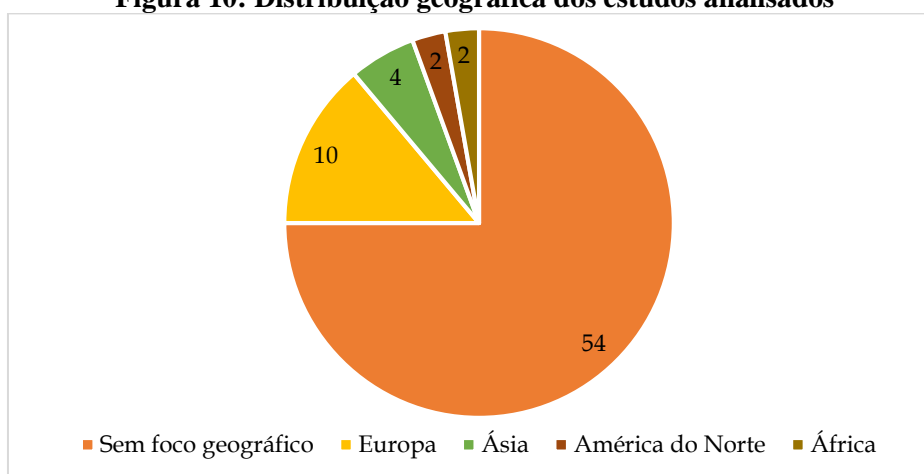
**Figura 9: Contextos de aplicação das tecnologias emergentes na indústria alimentar**



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Em relação ao contexto geográfico, a maioria dos estudos (55) não se concentra em uma região específica e adota uma perspectiva global ou conceitual, como mostrado na Figura 10. Quando há uma abordagem regional, a Europa apresenta maior representatividade (10 estudos), seguida por Ásia (4 estudos), América do Norte (2 estudos) e África (2 estudos). Esse padrão reforça a relevância global do tema e indica oportunidades para estudos futuros que incorporem evidências empíricas adicionais de regiões sub-representadas.

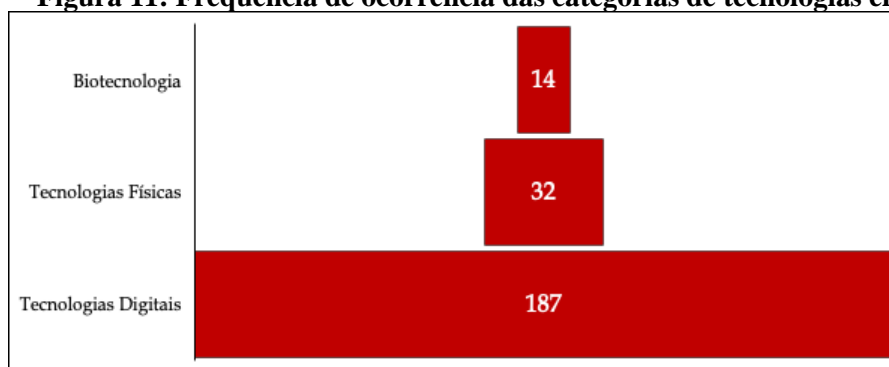
**Figura 10: Distribuição geográfica dos estudos analisados**



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

A análise dos 72 artigos selecionados evidencia um forte foco em tecnologias digitais. Na comparação, houve 187 referências a tecnologias digitais, enquanto tecnologias físicas tiveram 32 referências e apenas 14 a tecnologias biológicas, como mostrado na Figura 11. Esse resultado sugere que a pesquisa atual sobre a transformação da indústria alimentar é impulsionada principalmente por soluções digitais. O grande número de estudos sobre tecnologias digitais reflete sua importância no uso de dados, na automação, na conectividade e no monitoramento em tempo real. Essas tecnologias são frequentemente vistas como mais fáceis de implementar e integrar aos sistemas de produção existentes, ajudando as empresas a melhorar a eficiência, o controle de qualidade e a rastreabilidade.

**Figura 11: Frequência de ocorrência das categorias de tecnologias emergentes identificadas**



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

A análise bibliométrica identificou três grupos principais de tecnologias emergentes que impulsionam a transformação na indústria alimentar: tecnologias digitais, físicas e biológicas, como ilustrado na Figura 12. As tecnologias digitais são as mais frequentemente discutidas na literatura e incluem inteligência artificial, *big data*, internet das coisas, *blockchain*, gêmeos digitais, computação em nuvem e de borda, realidade estendida e aumentada, robôs colaborativos e tecnologias de comunicação de próxima geração, como o 6G. Essas tecnologias dão suporte principalmente à integração de dados, ao monitoramento em tempo real, à automação, à rastreabilidade, à tomada de decisões e à otimização de processos em atividades de produção, logística, controle de qualidade e gestão.

As tecnologias físicas abrangem inovações relacionadas ao processamento, materiais e embalagens, como embalagens ativas, inteligentes e comestíveis, impressão 3D de alimentos, nanotecnologia, reciclagem de materiais e soluções de embalagens biodegradáveis ou

recicláveis. Essas tecnologias estão principalmente associadas a melhorias na qualidade do produto, na vida útil, na eficiência de recursos, na redução de resíduos e na sustentabilidade ambiental.

As biotecnologias incluem alimentos geneticamente modificados, agricultura celular, fermentação de precisão, código de barras de DNA, biorreatores, meios de cultura, biologia sintética, proteínas alternativas e de origem vegetal, técnicas de extração de proteínas e tecnologias ômicas. Este grupo concentra-se na transformação da composição do produto, perfis nutricionais, eficiência da produção e segurança alimentar, além de apoiar o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e fontes alternativas de proteínas.

**Figura 12: Classificação das tecnologias emergentes por categoria**

Tecnologias digitais	Tecnologias Físicas	Biotecnologias
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inteligência artificial</li> <li>• Big data</li> <li>• Internet das coisas</li> <li>• Blockchain</li> <li>• Gêmeos digitais</li> <li>• Computação em nuvem/borda</li> <li>• Realidade estendida/aumentada</li> <li>• Robôs colaborativos</li> <li>• Comunicação 6G</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embalagem ativa</li> <li>• Embalagem inteligente</li> <li>• Embalagem comestível</li> <li>• Impressão 3D de alimentos</li> <li>• Reutilização de recursos</li> <li>• Nanotecnologia</li> <li>• Embalagem biodegradável e reciclável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentos geneticamente modificados</li> <li>• Agricultura celular</li> <li>• Fermentação de precisão</li> <li>• Código de barras DNA</li> <li>• Biorreatores</li> <li>• Proteínas alternativas</li> <li>• Biologia sintética</li> <li>• Extração de proteínas</li> <li>• Tecnologias Ômicas</li> </ul>

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Essas três categorias, juntas, representam a essência multidimensional da transformação tecnológica na indústria alimentar, abrangendo digitalização, inovação física e avanços biológicos que, em conjunto, remodelam processos, produtos e práticas organizacionais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar a produção científica relacionada às transformações na indústria alimentar impulsionadas por novas tecnologias, por meio de uma análise bibliométrica da literatura acadêmica. Os resultados evidenciaram um crescimento consistente do interesse científico pelo tema, especialmente nos últimos anos, refletindo a intensificação dos desafios associados à sustentabilidade, à eficiência produtiva, à rastreabilidade e à segurança alimentar e à dos alimentos. Observa-se que diferentes grupos de

tecnologias digitais, físicas e biológicas vêm contribuindo para a reconfiguração dos processos produtivos, logísticos e de desenvolvimento de produtos, promovendo maior integração de dados, automação e capacidade de monitoramento ao longo da cadeia de valor alimentar.

Do ponto de vista teórico, o estudo contribui ao oferecer uma visão estruturada do campo de pesquisa, identificando os principais temas investigados, autores, periódicos e as tecnologias emergentes que mais impactam a indústria alimentar. Além disso, a identificação de clusters de palavras-chave, classificados por temporalidade, contribui para evidenciar lacunas teóricas, especialmente quanto à integração entre tecnologias e à análise de seus efeitos sistêmicos sobre o desempenho organizacional da indústria alimentar.

Em termos práticos, os resultados oferecem subsídios para gestores, formuladores de políticas públicas e profissionais da indústria alimentar, ao destacar as principais tecnologias emergentes e as dimensões em que atuam, seja digitais, físicas ou biotecnológicas. A compreensão das tendências tecnológicas pode apoiar processos de tomada de decisão relacionados a investimentos em inovação, ao desenvolvimento de capacidades organizacionais e à adaptação a novas exigências regulatórias e de mercado.

É importante destacar que este estudo apresenta algumas limitações a serem consideradas. A análise foi restrita a artigos indexados nas bases de dados selecionadas, o que pode limitar a abrangência dos resultados. Além disso, a utilização de critérios específicos de busca pode ter influenciado a composição da amostra analisada. Apesar dessas limitações, a abordagem bibliométrica permitiu identificar padrões relevantes na literatura e oferecer uma visão abrangente do estado da arte das transformações tecnológicas na indústria alimentar, contribuindo para o avanço do conhecimento e para o desenvolvimento de pesquisas futuras.

Como agenda para pesquisas futuras, sugere-se o aprofundamento de investigações que analisem empiricamente os impactos das tecnologias emergentes no desempenho organizacional, na sustentabilidade e nas mudanças nas preferências do consumidor. Estudos futuros podem, por exemplo, explorar como a integração entre inteligência artificial e os sistemas legados das empresas pode aprimorar a gestão da qualidade e da produção da indústria alimentar. Também são recomendadas pesquisas que investiguem os efeitos das tecnologias emergentes sobre os modelos de negócios, as relações interorganizacionais e a governança das cadeias alimentares. Outra oportunidade relevante consiste na análise das implicações regulatórias e institucionais associadas à adoção de biotecnologias, bem como na avaliação de seus impactos na segurança dos alimentos e na confiança do consumidor.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

AÏT-KADDOUR, Abderrahmane et al. Transforming plant-based waste and by-products into valuable products using various “Food Industry 4.0” enabling technologies: A literature review. **Science of the Total Environment**, v. 955, p. 176872, 2024.

AKHILA, P. et al. Historical developments in food science and technology. **Journal of Nutrition Research**, v. 10, n. 1, p. 36-41, 2022.

ALEM FONSECA, Mariel; TSOLAKIS, Naoum; KITTIPANYA-NGAM, Pichawadee. Breaking the cycle of inertia in food supply chains: a systems thinking approach for innovation and sustainability. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 29, n. 3, p. 414-443, 2024.

ARECHE, F. et al. Role of biotechnology in food security: A review. **SABRAO J. Breed. Genet**, v. 55, n. 5, p. 1496-1509, 2023.

ARSHAD, Rai Naveed et al. Food loss and waste reduction by using Industry 4.0 technologies: examples of promising strategies. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 1, p. vvaf034, 2025.

BISHT, Bhawna et al. Industry 4.0 digital transformation: Shaping the future of food quality. **Food Control**, v. 170, p. 111030, 2025.

ÇAKMAKÇI, Songül; POLATOĞLU, Bilgehan; ÇAKMAKÇI, Ramazan. Foods of the future: challenges, opportunities, trends, and expectations. **Foods**, v. 13, n. 17, p. 2663, 2024.

CORIGLIANO, Orlando; ALGIERI, Angelo. A comprehensive investigation on energy consumptions, impacts, and challenges of the food industry. **Energy Conversion and Management: X**, v. 23, p. 100661, 2024.

DJEKIĆ, Ilija et al. Food quality 4.0: Sustainable food manufacturing for the twenty-first century. **Food Engineering Reviews**, v. 15, n. 4, p. 577-608, 2023.

DONTHU, Naveen et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of business research**, v. 133, p. 285-296, 2021.

GALANAKIS, Charis M. The future of food. **Foods**, v. 13, n. 4, p. 506, 2024.

HASSOUN, Abdo et al. Exploring the role of green and Industry 4.0 technologies in achieving sustainable development goals in food sectors. **Food Research International**, v. 162, p. 112068, 2022.

HASSOUN, Abdo et al. Unveiling the relationship between food unit operations and food

industry 4.0: A short review. **Heliyon**, v. 10, n. 20, 2024.

HASSOUN, Abdo. Food sustainability 4.0: Harnessing fourth industrial revolution technologies for sustainable food systems. **Discover Food**, v. 5, n. 1, p. 171, 2025.

KRUPITZER, Christian; STEIN, Anthony. Unleashing the potential of digitalization in the agri-food chain for integrated food systems. **Annual review of food science and technology**, v. 15, 2024.

LAMM, Kevan W.; IDUN, Andrews; LU, Peng. Critical Issues Faced by Industries Associated with Food Science and Technology: A Delphi Analysis. **Foods**, v. 13, n. 24, p. 4149, 2024.

LIBERTY, Jacob Tizhe. Genomic synergy in food traceability: Enhancing global food safety and security. **Ecological Genetics and Genomics**, v. 34, p. 100324, 2025.

LIU, Fuguo et al. Future foods: Alternative proteins, food architecture, sustainable packaging, and precision nutrition. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 23, p. 6423-6444, 2023.

MAC CLAY, Pablo; FEENEY, Roberto; SELLARE, Jorge. Technology-driven transformations in agri-food global value chains: The role of incumbent firms from a corporate venture capital perspective. **Food Policy**, v. 127, p. 102684, 2024.

MANGLA, Sachin Kumar et al. A framework to assess the challenges to food safety initiatives in an emerging economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, p. 124709, 2021.

MISRA, N. N. et al. Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. **Food Research International**, v. 97, p. 318-339, 2017.

ONYEAKA, Helen et al. Artificial intelligence in food system: Innovative approach to minimizing food spoilage and food waste. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 21, p. 101895, 2025.

ORJUELA-GARZON, William Alejandro; SANDOVAL-ALDANA, Angelica; MENDEZ-ARTEAGA, Jonh Jairo. Systematic literature review of barriers and enablers to implementing food informatics technologies: unlocking agri-food chain innovation. **Foods**, v. 13, n. 21, p. 3349, 2024.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **bmj**, v. 372, 2021.

PAUDEL, Devendra et al. COVID-19 pandemic, climate change, and conflicts on agriculture: A trio of challenges to global food security. **Sustainability**, v. 15, n. 10, p. 8280, 2023.

PAVÓN LOSADA, Juan Antonio et al. Food packaging business models as drivers for sustainability in the food packaging industry. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 9, p. 1563904, 2025.

RAJAN, Sneha Soundara; WANI, Khalid Mehmood. A review of smart food and packaging technologies: revolutionizing nutrition and sustainability. **Food and Humanity**, v. 4, p.

100593, 2025.

REARDON, Thomas; TIMMER, C. Peter. Transformation of markets for agricultural output in developing countries since 1950: How has thinking changed?. **Handbook of agricultural economics**, v. 3, p. 2807-2855, 2007.

SADIGOV, Rahim. Rapid growth of the world population and its socioeconomic results. **The Scientific World Journal**, v. 2022, n. 1, p. 8110229, 2022.

SILVA, Vivian Lara; SERENO, Alberto M.; DO AMARAL SOBRAL, Paulo Jose. Food industry and processing technology: on time to harmonize technology and social drivers. **Food Engineering Reviews**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2018.

SINGH, Kumari Amita et al. Advancing food systems with industry 5.0: A systematic review of smart technologies, sustainability, and resource optimization. **Sustainable futures**, v. 9, p. 100694, 2025.

SMETANA, Sergiy; AGANOVIC, Kemal; HEINZ, Volker. Food supply chains as cyber-physical systems: a path for more sustainable personalized nutrition. **Food Engineering Reviews**, v. 13, n. 1, p. 92-103, 2021.

TANER, Oznur Oztuna. Sustainable food and agriculture production: reducing food waste through technological advancements and assessing its economic impact. **Research on World Agricultural Economy**, p. 144-165, 2024.

UBBINK, Job; LEVINE, Allen S. From processed foods to ultraprocessed foods: Evolution of an industry model and impact on dietary quality, health, and society. **Annual review of food science and technology**, v. 16, n. 1, p. 1-24, 2025.

WILKINSON, John. **O Mundo dos Alimentos em Transformação-Finalista Prêmio Jabuti Acadêmico 2024**. Editora Appris, 2023.