

HIGIENE E SEGURANÇA DOS ALIMENTOS EM SISTEMAS DE IMPRESSÃO 3D: DESAFIOS E ESTRATÉGIAS PARA GARANTIA DA INOCUIDADE

Gabriela Aparecida Nalon¹, Maysa Leopoldina Ferreira Poletto¹, Manoela Maciel dos Santos Dias¹, Ana Flávia Coelho Pacheco², Bruno Ricardo de Castro Leite Júnior¹

¹Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil (gabriela.nalon@ufv.br)

²Instituto de Laticínios Cândido Tostes (ILCT- EPAMIG), Juiz de Fora, Brasil.

Resumo: A impressão 3D de alimentos apresenta grande potencial para a personalização e inovação, entretanto impõe desafios quanto à higiene e segurança dos alimentos. O processo de deposição pode envolver múltiplas etapas susceptíveis à contaminação microbiológica, física e química. Isso se deve ao uso de matérias-primas perecíveis e equipamentos de difícil higienização. Assim, esse trabalho discute os principais riscos associados à tecnologia e as estratégias de controle para a garantia de inocuidade do processo.

Palavras-chave: Impressão 3D de alimentos, inocuidade alimentar, protocolos de sanitização, tecnologias não convencionais.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de impressão 3D, ou manufatura aditiva de alimentos, vem ganhando destaque no processamento e obtenção de alimentos de forma não convencional. Sua aplicação em sistemas de produção permite aliar a personalização nutricional e textural com máxima precisão (Zhu et al., 2023).

A tecnologia atua na deposição de estruturas sólidas e semi-sólidas a partir da criação de sucessivas camadas de tintas alimentares. Sua aplicação abrange públicos distintos, desde atletas à idosos. Dessa forma, atualmente tem sido utilizada na produção em pequena escala, podendo ser utilizada em cozinhas domésticas, e em ambientes hospitalares (Eknomou et al., 2024). Entretanto, a impressão 3D de alimentos deve atender às normas e diretrizes para a manutenção da segurança desde o processamento das matérias-primas até o armazenamento do produto final. Embora a utilização da tecnologia de impressão 3D possa atuar contribuindo para menor manipulação na obtenção dos alimentos, existem riscos inerentes ao seu uso que devem ser ponderados para sua utilização.

Nesse contexto, a identificação e o monitoramento dos perigos ao longo da cadeia produtiva tornam-se fundamentais para garantir a inocuidade dos alimentos impressos. A aplicação de ferramentas preventivas, como as Boas Práticas de Fabricação (BPF) e o Sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), representa uma estratégia essencial para a avaliação e o controle dos riscos à saúde dos consumidores. Assim, este trabalho tem como objetivo discutir os principais desafios relacionados à higiene e à segurança dos alimentos em sistemas de impressão 3D, bem como as estratégias

disponíveis para assegurar a qualidade e a inocuidade dos produtos obtidos por essa tecnologia.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo consiste em uma revisão de literatura realizada por meio de buscas nas bases de dados Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar. Foram utilizados os descritores "3D printed technology", "food safety" OR "food hygiene" OR "food sanitation", "hazard analysis" OR "critical control point*" OR "food safety management" OR "inspection" OR "surveillance" combinados por operadores booleanos (AND e OR). Foram incluídos artigos científicos publicados entre 2016 e 2026, disponíveis na íntegra e relacionados ao tema de interesse. Após a triagem dos títulos, resumos e textos completos, os estudos selecionados foram analisados quanto aos principais resultados e contribuições para a área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS

A tecnologia de impressão 3D vem ganhando destaque ao longo dos anos. Sua ação baseia-se na deposição de camadas sucessivas de tintas alimentares para a construção de alimentos impressos (Mirazimi et al., 2023). Essa deposição permite aos consumidores e produtores de alimentos a manipulação da textura, cor, forma, composição e propriedades físico-químicas dos alimentos. Essa personalização inicia-se já na fase de projeto, no qual um modelo 3D do alimento é

preparado e transposto, por meio de código em parâmetros e caminhos que irão orientar a impressora 3D.

Atualmente, quatro tipos de impressoras estão disponíveis no mercado e variam conforme o tipo de material a ser utilizado. Podem-se destacar a impressão por extrusão, laser seletivo, sinterização e impressão a jato aglutinante. As impressões à base de jato de tinta e laser seletivo, usualmente são empregadas em impressoras com materiais em pó, as quais há processo de aglutinação das partículas sólidas via gotejamento ou via fusão seletiva pela atuação de laser de alta potência. Essas técnicas podem ser aplicadas para a fabricação de estruturas tridimensionais para materiais ricos em amidos, açúcares devido à sua capacidade de fusão térmica. Dentre as tecnologias citadas, a impressão via extrusão se destaca, principalmente na área de alimentos. Devido à simplicidade do processo de obtenção, estrutura do equipamento, baixo custo e facilidade de operação, a técnica oferece maior versatilidade, possibilitando a impressão de alimentos em macroescala (Figura 1).



Figura 1. Principais métodos de impressão 3D

A impressão via extrusão, ou modelagem por deposição fundida possui ampla aplicabilidade entre chocolates, massas, purês, queijos e cremes. Entretanto, esse processo acarreta maior tempo de processamento e menor velocidade de impressão (Kadival et al., 2022; Senthilkumaran et al., 2025). Para além da especificidade, a inserção da impressão 3D na produção de alimentos perpassa outras esferas. Dentre elas, destaca-se a segurança do processo e do produto ao longo de sua vida de prateleira, visto que o processo de impressão envolve riscos potenciais de contaminação e deterioração. Dessa forma, é de extrema importância o desenvolvimento de protocolos e análise dos principais desafios relacionados à higiene e segurança dos alimentos em sistemas de impressão 3D, abordando perigos microbiológicos, químicos e físicos, bem como estratégias para mitigação dos riscos.

PERIGOS MICROBIOLÓGICOS ASSOCIADOS A IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS

A higiene dos alimentos desempenha papel fundamental na proteção da saúde pública, uma vez

que alimentos contaminados podem atuar como veículos de bactérias, vírus, parasitas e toxinas capazes de causar doenças de origem alimentar. A garantia da inocuidade é particularmente importante para grupos vulneráveis, como crianças, idosos, gestantes e indivíduos imunocomprometidos, que apresentam maior suscetibilidade aos efeitos dessas contaminações (Zhu et al., 2023).

Nesse contexto, normas internacionais de segurança dos alimentos, como a ISO 22000, associadas às diretrizes estabelecidas pelo *Codex Alimentarius*, fornecem bases para a implementação de sistemas de gestão voltados à identificação, avaliação e controle de riscos ao longo de toda a cadeia produtiva de alimentos (Jang; Lee; Paik, 2025).

Com o avanço das tecnologias alimentares, a indústria tem incorporado sistemas automatizados de monitoramento, sensores inteligentes, rastreabilidade baseada em blockchain e ferramentas de inteligência artificial para aprimorar o controle da qualidade e da segurança dos produtos. Essas soluções, frequentemente associadas ao conceito de *FoodTech*, integram tecnologias emergentes, incluindo biotecnologia, manufatura aditiva e sistemas digitais de controle de processos (Lee et al., 2025; Numa; Wolf; Pastore, 2023).

Apesar de seu elevado potencial para personalização e inovação, a impressão 3D de alimentos apresenta desafios específicos relacionados à segurança microbiológica. Diferentemente dos processos convencionais, a tecnologia envolve etapas de preparo, armazenamento e extrusão de formulações alimentícias que podem permanecer por períodos prolongados em condições favoráveis ao crescimento microbiano. Além disso, a elevada manipulação das tintas alimentares e a complexidade estrutural dos equipamentos podem aumentar o risco de contaminação cruzada durante o processamento.

Outro aspecto relevante refere-se à formação de biofilmes em componentes do sistema de impressão, especialmente em reservatórios, tubulações, seringas e bicos extrusores. O acúmulo de resíduos alimentares nessas superfícies pode favorecer a adesão e proliferação de microrganismos, dificultando os procedimentos de limpeza e sanitização e aumentando o risco de contaminação do produto final.

De acordo com a *Food and Drug Administration* (FDA), as superfícies classificadas como Zona 1 correspondem àquelas que entram em contato direto com os alimentos durante o processamento. Em sistemas de impressão 3D, essa categoria inclui os reservatórios ou cápsulas de alimentação, os bicos extrusores e a superfície de deposição do alimento impresso (Hamilton; Gibson, 2023).

Dentre os principais microrganismos patógenos e deteriorantes a serem rastreados tem-se: *Listeria monocytogenes* e *Salmonella* spp. Quando analisamos as tintas alimentares, compostas por materiais



perceíveis, como carnes, derivados lácteos, frutas, vegetais e outras preparações ricas em carboidratos e proteínas tornam o meio ainda mais favorável para o crescimento dessas cepas. Grande parte dessas composições possuem elevada atividade de água, que favorece a multiplicação de microrganismos quando não submetidas a um armazenamento adequado ou mal manipuladas.

Além disso, durante o processo de impressão em si, as formulações podem permanecer por períodos prolongados em reservatórios ou sistemas de extrusão. Nesse período, as tintas podem estar em uma zona de perigo biológico devido à temperatura submetida (5 a 60 °C), favorecendo o crescimento de patógenos e deteriorantes (Kailo et al., 2023; Preethi et al., 2024). Esse crescimento, associado ao ambiente de impressão pode favorecer a formação de biofilmes bacterianos (Zhu et al., 2023). Biofilmes são definidos como comunidades estruturadas de microrganismos aderidos à superfície e envolvidas por uma matriz extracelular rica em polissacarídeos, proteínas que confere proteção contra agentes físicos e químicos. Dessa forma, torna os microrganismos mais resistentes aos procedimentos convencionais de limpeza e sanitização (Kailo et al., 2023; Preethi et al., 2024).

Para além da deposição do material, a presença de resíduos associados à alta umidade e geometrias complexas criam um ambiente favorável à deposição microbiana (Hamilton et al., 2024). Especialmente em seringas, tubulações, conexões e bicos, a presença de zonas de estagnação, zonas mortas, tornam o acesso mais complexo (Neahmah et al., 2024).

A formação de biofilmes é particularmente preocupante porque esses microrganismos podem atuar como fontes contínuas de contaminação do alimento durante sucessivos ciclos de produção. Mesmo após procedimentos de higienização, células microbianas protegidas pela matriz extracelular podem permanecer aderidas às superfícies e posteriormente se desprender, contaminando novas formulações alimentícias processadas no equipamento. Diversos microrganismos de importância para a segurança dos alimentos apresentam capacidade de formar biofilmes em superfícies utilizadas na indústria alimentícia. Entre eles destacam-se *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e espécies do gênero *Pseudomonas*, frequentemente associadas à deterioração de alimentos (Muro-Fraguas et al., 2020).

A presença desses microrganismos em sistemas de impressão 3D pode representar riscos tanto à qualidade quanto à inocuidade dos produtos impressos. Além dos riscos microbiológicos diretos, os biofilmes podem comprometer a eficiência operacional dos equipamentos, favorecendo

obstruções em bicos extrusores e reduzindo a uniformidade da deposição das tintas alimentares.

Dessa forma, estratégias preventivas tornam-se fundamentais, incluindo o emprego de materiais adequados para contato com alimentos, design higiênico dos equipamentos, protocolos rigorosos de limpeza e sanitização e monitoramento microbiológico periódico das superfícies críticas do sistema de impressão (Muro-Fraguas et al., 2020).

Considerando a crescente aplicação da impressão 3D na produção de alimentos personalizados, o controle da formação de biofilmes deve ser tratado como um requisito essencial para garantir a segurança microbiológica dos produtos e a confiabilidade dos processos produtivos.

PERIGOS QUÍMICOS E FÍSICOS ASSOCIADOS A IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS

Embora os perigos microbiológicos despontem dentre os principais danos à saúde dos consumidores. A utilização de impressão 3D para a produção de alimentos merece atenção devido ao contato direto do alimento com polímeros e componentes do equipamento.

Perigos Químicos associados à impressão de alimentos associam-se à migração de substâncias do sistema de extrusão. Dentre os principais temos: lubrificantes, polímeros, resinas, adesivos e revestimentos (Baiano et al., 2022; Hamilton et al., 2024). Esse risco torna-se ainda mais relevantes em equipamentos de aplicações não alimentícias destinados ou adaptados para contato com alimentos. Assim, fatores como temperatura, condições de processamentos que divergem do tipo do equipamento podem influenciar na transferência.

Outro aspecto importante refere-se aos resíduos de detergentes e agentes sanitizantes utilizados na higienização dos equipamentos (Baiano, 2022). Procedimentos inadequados de enxágue ou falhas na validação da limpeza podem resultar na permanência de substâncias químicas nas superfícies de contato, favorecendo sua transferência para os alimentos durante as etapas subsequentes de impressão. Dessa forma, a adoção de protocolos de higienização validados e o emprego de produtos aprovados para uso na indústria alimentícia são fundamentais para minimizar esses riscos (Hamilton et al., 2024).

Paralelamente, a presença de materiais inadequados à produção de alimentos pode causar dano ou fraturas à estrutura levando a presença de materiais estranhos (Muro-Fraguas et al., 2020). Em sistemas de impressão 3D inadequados esses contaminantes podem ter origem do desgaste de componentes, fragmentação de peças ou introdução acidental de partículas no processamento.

O funcionamento contínuo dos sistemas de extrusão pode promover o desgaste gradual de bicos, vedações,

conexões e outros componentes sujeitos a atrito mecânico. Como consequência, pequenas partículas de plástico, borracha ou metal podem ser liberadas e incorporadas ao alimento impresso (Muro-Fraguas et al., 2020; Hamilton et al., 2024). Além disso, falhas de manutenção preventiva podem aumentar a probabilidade de quebra ou deterioração dos componentes, elevando o risco de contaminação física (Dick et al., 2025).

Isso torna-se mais relevante em materiais a base de PLA (Poliácido Láctico), que possuem uma temperatura de fusão mais baixa que demais polímeros, tendo maior chance de se deteriorar e descascar com o tempo expondo a superfície original (Muro-Fraguas et al., 2020)

A contaminação também pode ocorrer devido à presença de partículas ambientais, como poeira, fibras e fragmentos oriundos do ambiente de processamento. Por esse motivo, recomenda-se que a impressão de alimentos seja realizada em áreas controladas, associadas à adoção de boas práticas de fabricação, manutenção periódica dos equipamentos e inspeção visual das superfícies em contato com os alimentos. (Baiano, 2022; Muro-Fraguas et al., 2020) Considerando a crescente utilização da impressão 3D para produção de alimentos personalizados e de alto valor agregado, torna-se essencial que os aspectos relacionados aos perigos químicos e físicos sejam incorporados às estratégias de segurança alimentar, garantindo que a inovação tecnológica seja acompanhada por níveis adequados de proteção ao consumidor.

ESTRATÉGIAS PARA A GARANTIA DA SEGURANÇA DOS ALIMENTOS

Para além da análise de riscos ao adotar uma nova tecnologia, faz-se necessário uma abordagem integrada que envolva desde a seleção das matérias-primas, controle das condições de processo, higienização dos equipamentos, rastreabilidade e monitoramento contínuo das operações.

Embora a impressão 3D represente uma tecnologia não convencional, diversas regulamentações existentes podem ser aplicadas aos seus processos produtivos.

Na União Europeia, o Regulamento (CE) nº 852/2004 estabelece requisitos gerais de higiene dos alimentos em todas as etapas da produção, processamento e distribuição, enfatizando a responsabilidade dos operadores em garantir a segurança dos produtos. Além disso, o Regulamento (CE) nº 1935/2004 determina que materiais destinados ao contato com alimentos não devem transferir substâncias em quantidades capazes de comprometer a saúde humana ou alterar as características do alimento.

Nesse sentido, sob o Regulamento da Comissão (EU) nº2011, indica que objetos plásticos em contato com

alimentos não devem conter fabricação por filamento fundido como Ácido Polilático (PLA). Assim, segundo EU nº10/2011, a recondação prescrita sugere a utilização de filamento natural de PLA em alimentos que não sejam submetidos a altas temperaturas (Muro-Fraguas et al., 2020).

Nos Estados Unidos, a *Food Safety Modernization Act* (FSMA) introduziu uma abordagem preventiva baseada na identificação e controle de perigos ao longo da cadeia produtiva, reforçando a necessidade de monitoramento, rastreabilidade e implementação de controles preventivos documentados.

A legislação brasileira também dispõe de prerrogativas quanto à estrutura para impressão. De acordo com RDC nº91/2001, define que os materiais permitidos para contato direto com alimentos (Tabela 1).

Tabela 1. Materiais autorizados pela legislação brasileira para aplicação na impressão 3D.

Material	Aplicações	Vantagens higiênicas	Restrições
Aço inoxidável AISI 304	Tanques, misturadores, tubulações, bicos de impressão 3D	Alta resistência à corrosão, fácil limpeza	Preferencial para alimentos
Aço inoxidável AISI 316	Produtos ácidos, salgados ou com cloretos	Resistência superior à corrosão	Maior custo
Vidro	Recipientes e visores	Inerte e impermeável	Fragilidade
Polietileno (PE)	Tubulações e reservatórios	Baixa absorção de umidade	Deve ser grau alimentício
Polipropileno (PP)	Recipientes e peças impressas	Boa resistência química	Temperatura limitada
PET	Embalagens e recipientes	Transparência e estabilidade	Uso conforme regulamentação específica
Silicone grau alimentício	Gaxetas, vedações e mangueiras	Flexibilidade e estabilidade térmica	Deve atender listas positivas
Elastômeros autorizados	Juntas e anéis de vedação	Boa vedação sanitária	Regulados pela RDC 123/2001

Fonte: RDC nº 91/2001

Destes itens citados na tabela, de acordo com RDC nº 275/2002 devem ser de fácil limpeza, resistentes à corrosão e não constituírem fonte de contaminação. Da mesma forma, como preconizado pela RDC nº 216/2004, as superfícies dos equipamentos e embalagens devem ser lisas, impermeáveis e laváveis. Pelo RIISPOA determina-se a não permanência de frestas, reentrâncias ou quaisquer pontos mortos que dificultem higienização do equipamento como um todo.



CONTROLE DE MATÉRIAS-PRIMAS E FORMULAÇÕES

A qualidade microbiológica das matérias-primas constitui um fator crítico para a segurança dos alimentos impressos. Formulações contendo carnes, leite, ovos, vegetais minimamente processados e outros ingredientes perecíveis podem favorecer o crescimento microbiano caso não sejam armazenadas adequadamente (Preethi et al., 2024; Kailo et al., 2023).

Além da qualidade microbiológica, deve-se avaliar a compatibilidade dos ingredientes com o processo de impressão, considerando fatores como atividade de água, pH, estabilidade física e tempo de permanência no sistema de extrusão.

O controle de temperatura representa uma das medidas mais importantes para minimizar a proliferação microbiana durante a impressão. Em muitas aplicações, as tintas alimentícias permanecem armazenadas em reservatórios e sistemas de extrusão por períodos prolongados, aumentando a exposição à denominada zona de perigo microbiológico (Ekonomou et al., 2024).

Ekonomou et al. (2024), identificaram que a mudança de temperatura e velocidade influenciaram na transferência de *E. coli* e *S. aureus* para as formulações. Temperaturas entre 25 a 50°C, em tubos de aço inoxidável, demonstraram aumento de 2 ciclos log.

Dessa forma, recomenda-se o monitoramento contínuo das temperaturas de armazenamento e processamento, associado à redução do tempo de permanência das formulações nos equipamentos.

A eficiência dos procedimentos de limpeza e sanitização é diretamente influenciada pelo design dos equipamentos. Impressoras desenvolvidas especificamente para aplicações alimentícias devem apresentar superfícies lisas, materiais resistentes à corrosão, ausência de zonas mortas e facilidade de desmontagem para higienização (Muro-Fraguas et al., 2020; Akter et al., 2025; Hamilton et al., 2024; Er-Rahmani et al., 2022).

Hamilton et al. (2024) investigaram a ação de protocolos de limpeza caseiros, utilizando lava-louças domésticas para a análise de risco em cápsulas de aço inoxidável contaminadas com *Salmonella* e *Listeria*. Os autores observaram que apenas o uso de detergentes no ciclo mais prolongado de lavagem não foi capaz de reduzir à níveis seguros a contaminação, e sugerem a adição de protocolos de sanitização em adição.

Er-Rahmani et al. (2022), investigaram a formação de biofilmes por *E. coli* e *B. subtilis*, em materiais voltados à impressão 3D e identificaram que o uso de PET (Tereftalato de polietileno) adicionados de óleos essenciais de timol e carvacrol contribuíram com a

diminuição em até 91% da formação de biofilme e crescimento bacteriano.

A validação dos procedimentos de limpeza pode ser realizada por meio de análises microbiológicas, testes de ATP-bioluminescência e inspeções visuais das superfícies de contato.

A incorporação de tecnologias digitais tem ampliado as possibilidades de monitoramento da segurança dos alimentos impressos. Sistemas de sensores, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e blockchain permitem registrar informações relacionadas às matérias-primas, parâmetros de processamento e condições de armazenamento em tempo real.

Essas tecnologias contribuem para a rastreabilidade da produção, identificação rápida de desvios operacionais e implementação de ações corretivas, fortalecendo a segurança dos alimentos produzidos por manufatura aditiva.

CONCLUSÃO

Em síntese, a tecnologia de impressão 3D apresenta grande potencial para o uso tanto doméstico quanto industrial, podendo contribuir com a personalização nutricional, modulação da textura e redução de desperdício. Entretanto, para sua implementação em escala comercial e industrial demanda atenção quanto aos aspectos de higiene e segurança de alimentos, uma vez que o processo envolve riscos microbiológicos, físicos e químicos.

Os principais desafios enfrentados incluem a alta perecibilidade que está associada ao crescimento microbiano, e formação de biofilmes, além disso, a estrutura física de equipamentos voltados à produção de alimentos deve conter a migração de substâncias provenientes dos materiais em contato e contaminantes físicos decorrentes do processo de desgaste dos equipamentos.

Nesse contexto, a adoção de Boas Práticas de Fabricação, programas eficazes de limpeza e sanitização, monitoramento das condições de processo, seleção adequada de materiais e aplicação dos princípios do APPCC constituem medidas fundamentais para a mitigação desses riscos.

Além disso, a incorporação de tecnologias digitais de monitoramento e rastreabilidade pode contribuir significativamente para o fortalecimento dos sistemas de controle e garantia da qualidade. Embora parte das legislações vigentes possa ser aplicada aos sistemas de impressão 3D de alimentos, ainda existe a necessidade de avanços regulatórios específicos que acompanhem a evolução dessa tecnologia. Dessa forma, o desenvolvimento de equipamentos com design higiênico, aliado à padronização de protocolos de segurança e à consolidação de marcos regulatórios, será essencial para viabilizar a expansão segura da impressão 3D de alimentos e aumentar a confiança dos consumidores nessa inovação.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, Brasil) pelo financiamento dos projetos APQ-00388-21; APQ-00785-23; APQ-06600-24, RED-00157-23 e FINEP (FINEP-01.23.0632.00).

REFERÊNCIAS

AKTER, Shirin et al. Biofilm formation and analysis of EPS architecture comprising polysaccharides and lipids by *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* on food processing surfaces. **Food Research International**, v. 209, p. 116274, 2025.

BAIANO, Antonietta. 3D Printed Foods: A Comprehensive Review on Technologies, Nutritional Value, Safety, Consumer Attitude, Regulatory Framework, and Economic and Sustainability Issues. **Food Reviews International**, v. 38, n. 5, p. 986–1016, 4 jul. 2022.

DICK, Arianna; YONG, Stacey FY. A case study on implementing a HACCP plan in the production process of 3D-printed beef puree. **Food Quality and Safety**, v. 9, p. fyaf034, 2025.

ER-RAHMANI, Sara et al. Reduction of biofilm formation on 3D printing materials treated with essential oils major compounds. **Industrial Crops and Products**, v. 182, p. 114864, 2022.

HAMILTON, Allyson N.; GIBSON, Kristen E. Efficacy of Manufacturer Recommendations for the Control of *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in Food Ink Capsules Utilized in 3D Food Printing Systems. **Journal of Food Protection**, v. 86, n. 2, p. 100030, 1 fev. 2023.

JANG, Hye Ji; LEE, Hyun Sook; PAIK, Hyun Dong. Emerging trends in food hygiene: Innovations and applications of food technology. **Current Opinion in Food Science**, v. 66, p. 101366, 1 dez. 2025.

KADIVAL, Amaresh et al. Extrusion-Based 3D Food Printing: Printability Assessment and Improvement Techniques. **Food and Bioprocess Technology** 2022 16:5, v. 16, n. 5, p. 987–1008, 21 nov. 2022.

KAILO, Geremew Geidare et al. Food safety-based evaluation of 3D printed objects. **Analecta Technica Szegedinensia**, v. 17, n. 4, p. 1-9, 2023.

LEE, Seoungyong et al. A review on the role of food regulatory science for food safety in the era of Food-Tech innovation. **Food Science and Biotechnology**, v. 34, n. 2, p. 489, 1 jan. 2025.

MIRAZIMI, Farnaz et al. Study the correlation between the instrumental and sensory evaluation of 3D-printed protein-fortified potato puree. **European Food Research and Technology**, v. 249, n. 6, p. 1669–1675, 1 jun. 2023.

MURO-FRAGUAS, Ignacio et al. Atmospheric pressure cold plasma anti-biofilm coatings for 3D printed food tools. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 64, p. 102404, 1 ago. 2020.

NUMA, Iramaia Angelica Neri; WOLF, Kendji Eduardo; PASTORE, Glaucia Maria. FoodTech startups: Technological solutions to achieve SDGs. **Food and Humanity**, v. 1, p. 358–369, 1 dez. 2023.

NEAMAH, Husam A.; TANDIO, Joseph. Towards the development of foods 3D printer: Trends and technologies for foods printing. **Heliyon**, v. 10, n. 13, 2024.

PREETHI, Rokalla. Comprehensive review on extrusion-based 3D food printing. **Indian Sci. J. Res. Eng. Manag.**, v. 8, n. 12, p. 1-7, 2024.

SENTHILKUMARAN, Anupriya et al. Advances in 3D Food Printing: Exploring Technological Progress and Rheology of 3D Printing Ink. **Journal of Food Process Engineering**, v. 48, n. 7, p. e70187, 1 jul. 2025.

ZHU, Wenxi et al. Three-Dimensional printing of foods: A critical review of the present state in healthcare applications, and potential risks and benefits. **Foods**, v. 12, n. 17, p. 3287, 2023.