

APLICAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D EM ALIMENTOS: UM OLHAR TÉCNICO SOBRE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE

Maria Fernanda Neto Campos^{1,2}, Julio Ribeiro Lopes^{1,2}, Ariany Lacerda Nogueira^{1,2},
Rafaela Assis Machado^{2,3}, Emília Maricato Pedro dos Santos^{1,2}

¹Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Medicina, Departamento de Medicina Veterinária, Curso de Medicina Veterinária (maria.fernanda@estudante.ufjf.br, julio.lopes@estudante.ufjf.br, arianylacerda1999@gmail.com, emilia.maricato@ufjf.br); ²Grupo de Pesquisa em Inspeção, Tecnologia e Controle de Qualidade de Produtos de Origem Animal da Universidade Federal de Juiz de Fora – GPPoa UFJF

³Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia rafaela.machado@ufv.br)

1. INTRODUÇÃO

A carcaça de um animal de abate gera uma quantidade limitada de cortes cárneos nobres, enquanto uma parcela significativa de tecidos musculares e conjuntivos é destinada à fabricação de produtos de menor valor comercial. Esta conjuntura revela um considerável desperdício de frações potencialmente ricas em compostos nutricionalmente relevantes. Nesse contexto, tem-se intensificado o desenvolvimento e aplicação de tecnologias inovadoras capazes de transformar estas partes em alimentos com maior valor agregado. Em resposta a essa limitação, o setor produtivo tem investido continuamente em alternativas tecnológicas promissoras, visando à maximização do aproveitamento da matéria-prima, o fortalecimento da sustentabilidade na cadeia produtiva e a promoção de avanços na indústria de produtos de origem animal (Dick *et al.*, 2019).

Sob essa perspectiva, a impressão tridimensional (3D), também denominada manufatura aditiva, configura-se como uma tecnologia emergente de prototipagem rápida, fundamentada na construção progressiva de modelos digitais por meio da deposição de material em camadas sucessivas. Esta abordagem inovadora de fabricação permite a obtenção de estruturas geométricas complexas com elevada precisão e reprodutibilidade, distinguindo-se dos métodos convencionais pela maior flexibilidade no design, otimização do uso de materiais e significativa redução de perdas durante o processo produtivo (Pan *et al.*, 2025).

O desenvolvimento da tecnologia manufatura aditiva teve seu desenvolvimento inicial em 1986, com a criação do processo de estereolitografia (SLA) por Charles Hull. Desde então, a técnica tem sido objeto de contínuos aprimoramentos por parte da comunidade científica e industrial, resultando no surgimento de novas modalidades de impressão e na formulação de materiais adaptados as mais diversas aplicações. Atualmente, a manufatura aditiva ultrapassa o escopo da prototipagem convencional, consolidando-se como uma alternativa viável para a produção em pequena escala. Dentre suas principais vantagens destacam-se a relação custo-benefício favorável, a possibilidade de fabricação de estruturas leves e com elevada resistência mecânica, o alto grau de flexibilidade no design, a redução significativa do desperdício de matéria-prima, além da agilidade no desenvolvimento

de projetos e na produção customizada de geometrias complexas (Bathia; Sehgal, 2023).

Embora a tecnologia de impressão 3D de alimentos represente uma inovação promissora no contexto da engenharia de alimentos, sua implementação em larga escala ainda é limitada por diversos entraves técnicos e científicos. Entre os principais desafios destacam-se questões relacionadas à manutenção da qualidade nutricional dos produtos finais. Além disso, persistem desafios associados à aceitação por parte dos consumidores, a garantia da qualidade higiênico-sanitária dos alimentos produzidos e a ausência de um arcabouço regulatório consolidado que normatize esta tecnologia emergente. Ressalta-se, ainda, a preocupação quanto aos possíveis efeitos adversos à saúde decorrentes do consumo frequente de alimentos caracterizados como ultraprocessados por essa via tecnológica, os quais demandam investigação científica aprofundada e multidisciplinar (Zhu *et al.*, 2023).

Contudo, diante da crescente demanda global por proteínas, que deverá atingir entre 73 a 455 milhões de toneladas ao ano até 2050, em função de uma população mundial estimada em 9,6 bilhões de pessoas, torna-se imprescindível o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras para suprir as necessidades alimentares futuras (Sohel *et al.*, 2025). Nesse contexto, o presente trabalho objetivou analisar o progresso recente da impressão 3D em alimentos, além de identificar suas principais vantagens e os desafios envolvidos em sua implementação, especialmente no que diz respeito à sustentabilidade e eficiência na produção.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho configura-se como uma revisão de literatura integrativa, com foco nas aplicações da impressão 3D em alimentos sob a perspectiva da inovação e sustentabilidade. Para tanto, foi realizada uma busca sistematizada das informações nas bases de dados *National Library of Medicine* (PubMed), *ScienceDirect* e *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO), utilizando-se os descritores “3D food printing”, “additive manufacturing”, “challenges”, “food”, “meat”, “regulatory challenges”, combinados por meio do operador “and”, para o cruzamento de dados. A coleta de dados foi realizada em maio de 2025, priorizando-se publicações em língua inglesa no período compreendido entre 2019 e 2025. Os critérios de inclusão contemplaram estudos que apresentavam os descritores no título e/ou nas palavras-chaves, excluindo-se os trabalhos com data de publicação anterior ao período de busca estipulado assim como os duplicados e, ainda, cartas ao editor, monografias, teses e dissertações. Obteve-se, aproximadamente, 2.100 publicações, elegendo-se 19 referências para leitura e discussão do tema. As informações obtidas foram organizadas e sintetizadas na forma deste estudo.

3. DISCUSSÃO

No contexto da manufatura aditiva aplicada a produtos alimentícios e derivados de origem biológica, destacam-se como abordagens tecnológicas mais adequadas as técnicas de impressão por extrusão, impressão a jato de tinta e impressão assistida por laser. Estas metodologias têm sido amplamente exploradas tanto no contexto acadêmico quanto industrial, devido a sua compatibilidade com materiais

alimentares, capacidade de processamento de estruturas geométricas complexas e potencial de customização de acordo com requisitos funcionais, nutricionais e sensoriais específicos (Portanguen *et al.*, 2019).

A técnica de impressão por extrusão utiliza dispositivos para depositar camadas sucessivas de materiais em pasta ou gel. A impressão a jato de tinta, por sua vez, aplica ingredientes alimentares com alta precisão, permitindo a criação de formas complexas. Já a impressão assistida por laser derrete materiais e funde camadas sucessivas para obter texturas e densidades diferenciadas, possibilitando a criação de formas detalhadas. Cada uma dessas abordagens oferece possibilidades únicas para a personalização de alimentos, capazes de atender a diferentes requisitos técnicos e funcionais, como, por exemplo, o uso da gelatinização de proteínas, como a gelatina derivada do colágeno, para criar estruturas com propriedades sensoriais específicas, como a característica "derreter na boca". A combinação de ingredientes, como carboidratos, proteínas e gorduras, em diferentes estados físicos, influencia diretamente a qualidade da impressão, permitindo uma personalização detalhada dos alimentos (Singhal *et al.*, 2020).

A tecnologia de impressão tridimensional de alimentos (3DFP) tem se consolidado como uma estratégia inovadora no contexto da economia circular, permitindo a revalorização de resíduos alimentares por meio de sua conversão em produtos com alto valor agregado. Esta abordagem contribui de maneira significativa para a sustentabilidade ambiental, ao mitigar o volume de resíduos orgânicos descartados, e para a segurança alimentar, ao promover o aproveitamento integral de matérias-primas subutilizadas, como as sementes de frutas, por exemplo. Evidências experimentais indicam que, mediante pré-tratamentos tecnológicos simples, tais resíduos podem ser convertidos em matrizes alimentícias ("tintas") viáveis para processos de extrusão, mantendo integridade estrutural e propriedades sensoriais desejáveis. Além disso, a 3DFP viabiliza a descentralização da produção, fomentando soluções locais e customizadas, o que potencializa sua aplicabilidade em sistemas alimentares sustentáveis e resilientes (Wong *et al.*, 2022).

Considerando especificamente os produtos de origem animal, o consumo global de peixes projeta-se para alcançar 140 milhões de toneladas até 2050, o que intensifica, de forma alarmante, a pressão sobre os recursos pesqueiros, já majoritariamente explorados em seu limite sustentável. Nesse cenário, embora a aquicultura de alta densidade se apresente como uma solução imediata para suprir a crescente demanda, esta contribui significativamente para a degradação ambiental, sobretudo pela poluição dos corpos hídricos e pelo acúmulo de resíduos artificiais. Diante disso, é evidente que a manutenção do modelo produtivo atual se mostra inviável a longo prazo. Assim, torna-se imprescindível o desenvolvimento de alternativas que conciliam segurança alimentar com responsabilidade ecológica. Entre estas alternativas, destacam-se os análogos de peixe à base de plantas, os quais, quando aliados à impressão 3D, oferecem uma resposta tecnológica eficaz. Por meio dessa técnica, é possível replicar, com alta fidelidade, a estrutura e textura da carne de peixe, sem os impactos associados à pesca e à aquicultura tradicionais (Li *et al.*, 2025).

Avanços recentes no uso da impressão 3D para análogos cárneos vegetais destacam a eficácia de formulações proteicas mistas na obtenção de matrizes com

propriedades reológicas e nutricionais otimizadas. A combinação de isolado proteico de soja (SPI), glúten de trigo (WG) e proteína de arroz (RP) tem se mostrado promissora na elaboração de “tintas comestíveis” com alto teor proteico (25 % de sólidos totais), comportamento pseudoplástico e propriedades viscoelásticas adequadas à extrusão. A adição de RP melhorou a viscosidade, plasticidade e força de suporte das pastas, promovendo maior estabilidade estrutural e fidelidade durante a impressão. Estes ajustes possibilitam a produção de estruturas complexas com melhor desempenho mecânico e perfil nutricional aprimorado, evidenciando o potencial dos materiais proteicos vegetais para tecnologias alimentares aditivas (Qiu *et al.*, 2023).

No âmbito da criação de alimentos funcionais por meio da impressão 3D, a carne moída enriquecida com pó liofilizado de isolado proteico da clara de ovo e curcumina (EPI–Cur) demonstrou efeitos positivos sobre as propriedades físico-estruturais do produto final. A formulação apresentou comportamento pseudoplástico, com afinamento por cisalhamento, o que favoreceu o escoamento e a estabilidade durante o processo de impressão. A adição de EPI–Cur resultou em um aumento significativo da viscosidade aparente e do módulo de armazenamento, promovendo maior resistência mecânica da carne reestruturada. Tais fatores contribuíram para uma impressão mais precisa e definida, melhorando a aparência e qualidade visual dos produtos. Os avanços observados nas propriedades texturais e morfológicas indicam um alto potencial para a produção de alimentos com boa aceitação sensorial (Dong *et al.*, 2025).

O uso de ingredientes lácteos na impressão 3D de alimentos tem se mostrado uma área promissora para a produção de produtos personalizados. Em um estudo, investigou-se a viabilidade da utilização de leite fortificado com proteína coagulada a frio (PFM) para impressão 3D, avaliando sua capacidade de gelificação instantânea por aquecimento. Os resultados reológicos indicaram que a coagulação a frio de PFM requer pelo menos uma hora para permitir a gelificação imediata quando aquecido. Foram determinados parâmetros ótimos de impressão, com temperaturas de cama de 50 °C e 20 % de velocidade para estruturas pequenas, e 40 °C e 35 % de velocidade para estruturas maiores. Após armazenamento a 5 °C, os cilindros impressos mantiveram suas dimensões, com aumento de 48 % na dureza e perda de umidade de apenas 2,48 %. Estes achados sugerem que a coagulação a frio pode ser eficaz para produzir estruturas lácteas com impressoras 3D controladas termicamente (Uribe-Alvarez *et al.*, 2024).

Além disso, o envelhecimento da população tem imposto desafios substanciais, por exemplo, em relação à deglutição e digestão. Nesse contexto, a tecnologia de impressão 3D de alimentos surge como uma solução promissora, possibilitando o processamento de alimentos personalizados, individualizados e digitalizados. Esta abordagem permite a criação de alimentos adaptados às necessidades dos idosos, facilitando a deglutição e a digestão. A utilização desta tecnologia para desenvolver alimentos com texturas otimizadas, que atendam às dificuldades de mastigação e deglutição dessa faixa etária, tem se consolidado como uma área de crescente interesse em pesquisa e inovação (Shen *et al.*, 2025).

Contudo, há desafios significativos, especialmente no que diz respeito à limitação de ingredientes compatíveis com a tecnologia e aos altos custos envolvidos.

Atualmente, apenas materiais com propriedades específicas, como géis, pastas e plásticos alimentares seguros, podem ser utilizados, o que restringe as opções de alimentos passíveis de impressão. Além disso, a segurança destes insumos deve ser rigorosamente monitorada para evitar riscos, como contaminações cruzadas e transferência de alérgenos. No aspecto econômico, o elevado custo dos equipamentos e de manutenção representa uma barreira significativa para a adoção em larga escala (Demei *et al.*, 2022; Shah *et al.*, 2024).

A aceitação pelos consumidores em relação aos alimentos produzidos por impressão 3D está diretamente ligada às suas características sensoriais, como sabor, textura e aparência. Embora a tecnologia permita criar alimentos com formas inovadoras, muitos consumidores ainda demonstram ceticismo quanto à qualidade sensorial destes produtos. A aparência visual é um fator relevante, mas frequentemente a textura e o sabor não atendem às expectativas, o que pode dificultar a aceitação desses alimentos (Hassoun *et al.*, 2022).

Além disso, é essencial considerar a diversidade das fontes proteicas e as interações entre proteínas, uma vez que tais fatores impactam diretamente na textura, na estabilidade e na digestibilidade dos alimentos. Para mitigar possíveis efeitos indesejáveis, podem ser aplicadas técnicas de engenharia de proteínas, com o objetivo de modificar suas estruturas, reduzindo interações desfavoráveis e favorecendo aquelas que contribuem positivamente para as propriedades sensoriais do produto final (Wu *et al.*, 2024).

A qualidade sensorial dos alimentos produzidos por impressão 3D, portanto, está intrinsecamente vinculada às propriedades físico-químicas dos materiais utilizados, em especial a sua consistência e aos parâmetros reológicos, como a viscoelasticidade e textura. O desempenho do processo de impressão é influenciado por fatores como viscosidade, pseudoplasticidade e comportamento de afinamento por cisalhamento, os quais exercem influência direta sobre a fluidez, a rigidez e a estabilidade dos materiais durante a extrusão (Hamayun *et al.*, 2025). Dessa forma, o controle rigoroso destas propriedades e o ajuste adequado da viscosidade e da textura dos materiais comestíveis são etapas essenciais para o desenvolvimento de produtos alimentícios que atendam às expectativas dos consumidores em termos de sabor, aparência e experiência sensorial (Millán; De la Torre, 2024).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A impressão 3D de alimentos representa uma alternativa inovadora e estratégica para agregar valor às matérias-primas alimentícias subutilizadas, contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência da cadeia produtiva de alimentos. Esta tecnologia apresenta vantagens significativas, contudo sua implementação em escala industrial ainda enfrenta desafios expressivos. O avanço contínuo em pesquisas e no desenvolvimento de formulações indicam um cenário promissor para consolidação desta tecnologia como uma ferramenta viável e sustentável para o futuro da produção de alimentos.

Palavras-chaves: Coadjuvantes de tecnologia alimentar; Engenharia de alimentos; Indústria 4.0; Prototipagem alimentar.

5. REFERÊNCIAS

- BHATIA, A.; SEHGAL, A. J. Additive manufacturing materials, methods and applications: a review. **Materialstoday: proceedings**, v. 81, n. 2, p. 1060-1067, 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.04.379.
- DEMEI, K.; ZHANG, M.; PHUHONGSUNG, P.; MUJUMDAR, A. S. Controlling characteristics and improving technological effect during food processing. **Food Research International**, v. 156, p. 111120, 2022. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111120.
- DICK, A.; BHANDARI, B.; PRAKASH, S. 3D printing of meat. **Meat Science**, v. 153, n. 1, p. 35-44, 2019. DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.03.005
- DONG, H.; WANG, P.; XU, X.; WANG, X. Enhanced 3D printability and digestion of chicken mincemeat by incorporating egg white protein isolate–curcumin lyophilized powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 220, n. 1, p. 117534-117543, 2025. DOI: 10.1016/j.lwt.2025.117534.
- HAMAYUN, M.; AHMED, E.; WEDAMULLA, N.; KANTH, B.; KIM, E.-K.; KIM, H.-Y.; LEE, B. Next-gen nutrition: challenges, innovations and opportunities in 3D food printing with probiotics. **Future Foods**, v. 11, 100620, 2025. DOI: 10.1016/j.fufo.2025.100620.
- HASSOUN, A.; CROPOTOVA, J.; TRIF, M.; RUSU, A. V.; BOBIȘ, O.; NAYIK, G. A.; JAGDALE, Y. D.; SAEED, F.; AFZAAL, M.; MOSTASHARI, P.; KHANEGHAH, A. M.; REGENSTEIN, J. M. Consumer acceptance of new food trends resulting from the fourth industrial revolution technologies: a narrative review of literature and future perspectives. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 972154, 2022. DOI: 10.3389/fnut.2022.972154.
- LI, J.; HU, H.; NIU, R.; ZHU, Q.; YAO, S.; ZHOU, J.; LIU, D.; XU, E. Simulated construction of plant-based fish meat with composite structure via dual-nozzle extrusion 3D printing. **Food Physics**, v. 2, n. 1, p. 100028, 2025. DOI: 10.1016/j.foodp.2024.100028.
- MILLÁN, M. G. D.; DE LA TORRE, M. G. M. V. 3D food printing: technological advances, personalization and future challenges in the food industry. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 37, 100963, 2024. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2024.100963.
- PAN, Y.; HAN, Z.; SUN, Q.; LIU, Y.; JI, H.; LIU, S. Trends in the development of 3D printing minced meat/surimi from the perspective of structure and function. **Journal of Future Foods**, v. , n. , p. , 2025. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2025.04.007. No prelo.
- PORTANGUEN, S.; TOURNAYRE, P.; SICARD, J.; ASTRUC, T.; MIRADE, P-S. Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, n. 1, p. 188-198, 2019. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.02.023
- SHAH, P.; SHAH, V.; SHRESTHA, S.; MITRA, P. A review on 3D food printing technology in food processing. **Journal of Food Industry**, v. 8, n. 1, p. 17, 2024. DOI: 10.5296/jfi.v8i1.22468.

SHEN, D.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S.; LI, C.; LIN, J. Additive manufacturing technology in the development of easy to swallow and digest foods for the elderly. **Food Research International**, v. 199, n. 1, p. 115421, 2025. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.115421.

SINGHAL, S.; RASANE, P.; KAUR, S.; GARBA, U.; BANKAR, A.; SINGH, J.; GUPTA, N. 3D food printing: paving way towards novel foods. **Agrarian Sciences**, v. 92, n. 3, p. e20180737, 2020. DOI: 10.1590/0001-3765202020180737.

SOHEL, A.; SAHU, S.; MITCHELL, G. R.; PATEL, M. K. 3D food printing: a comprehensive review and critical analysis on technologies, food materials, applications, challenges, and future prospects. **Food Engineering Reviews**, p. 1-29, 2025. DOI: 10.1007/s12393-025-09400-1.

QIU, Y.; MCCLEMENTS, J. D.; CHEN, J.; LI, C.; LIU, C.; DAI, T. Construction of 3D printed meat analogs from plant-based proteins: Improving the printing performance of soy protein- and gluten-based pastes facilitated by rice protein. **Food research international**, v. 167, n. 1, p. 112635, 2023. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112635.

URIBE-ALVAREZ, R.; MURPHY, C. P.; COLEMAN-VAUGHAN, C.; O'SHEA, N. Temperature-controlled 3D printing of dairy structures using cold-renneted protein-fortified milk. **Journal of Food Engineering**, v. 369, n. 1, p. 111892, 2024. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2024.111892.

WONG, G. H. C.; PANT, A.; ZHANG, Y.; CHUA, C. K.; HASHIMOTO, M.; LEO, C. H.; TAN, U-XUAN. 3D food printing– sustainability through food waste upcycling. **Materials Today: Proceedings**, v. 70, n. 1, p. 627-630, 2022. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.08.565.

WU, J.; ZHU, H.; LI, C. Potential sources of novel proteins suitable for use as ingredients in 3D food printing, along with some of the food safety challenges. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 37, p. 100983, 2024. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2024.100983.

ZHU, W.; ISKANDAR, M. M.; BAEGHBALI, V.; KUBOW, S. 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. DOI: 10.3390/foods12173287.