

PERSPECTIVAS DA MANUFATURA ADITIVA NA CONSTRUÇÃO DE ALIMENTOS

Filipe Wiltgen - Universidade de Taubaté
E-mail: LFWBarbosa@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@unitau.br

Resumo: O objetivo deste artigo é de apresentar os atuais avanços, oportunidades, perspectivas e opções para a manufatura aditiva aplicada na fabricação de alimentos e refeições humanas. Uma introdução às técnicas, as máquinas e aos tipos de alimentos que estão sendo produzidos via a técnica de impressão 3D. Além de uma breve visão de como poderá vir a ser a construção de alimentos utilizando a manufatura aditiva no futuro próximo. Como construir refeições equilibradas e nutritivas, saborosas e atrativas no dia a dia, e também, como fazer um alimento destinado a pessoas que estão em locais remotos, com alergias, doenças crônicas ou mesmo sob tratamento médico.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Alimentos Impressos, Impressão 3D.

PERSPECTIVES ON ADDITIVE MANUFACTURING IN CONSTRUCTION OF FOOD

Abstract: The purpose of this paper is to present current advances, opportunities, perspectives and options for additive manufacturing applied in manufacture of human food and meals. An introduction to techniques, machines, and types of foods being produced via 3D printing technique. In addition to a brief overview of what food construction could be like using additive manufacturing in near future. How to build balanced and nutritious, tasty and attractive meals on a daily basis, as well as how to make a food for people who are in remote places, with allergies, chronic diseases or even under medical treatment.

Keywords: Additive Manufacturing, Printed Foods, 3D Printing.

1. Introdução

A alimentação diária é uma das atividades básicas necessárias para a sustentação da vida de qualquer espécie. Porém, apesar de ser uma das necessidades básicas para os seres humanos a atividade de se alimentar não é apenas uma atividade elementar de sobrevivência. Os seres humanos desde a pré-história começaram a cozinhar os alimentos mudando seus sabores, texturas e cores, também, começaram a diversificar e misturar diversos tipos de alimentos em sua dieta diária.

Com o tempo os seres humanos evoluíram o ato de se alimentar que se transformou em uma atividade prazerosa e gratificante. Existem várias etapas fisiológicas no momento de se alimentar, elas ativam nosso cérebro para se preparar para digerir o alimento utilizando nossos sentidos como “gatilhos” para ter prazer em se alimentar. Desta forma, o próprio alimento deve contribuir com as etapas de digestão alimentar que começam com a forma e a aparência do alimento, isso inclui a cor e o cheiro (aroma) do alimento que ativam nossa vontade de digerir o alimento ou não.

No futuro, a engenharia de alimentos envolverá muitas formas de acrescentar nutrientes, vitaminas e medicamentos, que atualmente não são agradáveis nem na aparência e nem no paladar. A ciência em construir um alimento, vai muito além do simples fato de dar uma boa aparência e sabor ao alimento, mas de desenvolver uma forma de agregar diversas necessidades humanas referentes a uma alimentação saudável e equilibrada,

combinada com os medicamentos e complementos vitamínicos para melhorar a saúde dos seres humanos.

Uma dieta construída baseada em suas necessidades alimentares pode ser obtida, quando uma máquina é capaz de agregar em um só alimento, o prazer visual, palatável e nutricional/médico (HANLEY, 2016). O desenvolvimento de dispositivos capazes de realizar estas inovações alimentares tem sido fonte de pesquisas em uma área que vem da engenharia mecânica chamada de Manufatura (fabricação) Aditiva (inserindo matéria prima).

A Manufatura Aditiva (WILTGEN, 2019), diferentemente de outras técnicas de fabricação humana, esta utiliza como base conceitual a inserção de matéria prima na fabricação de um determinado objeto, quer seja de plástico, concreto, aço, vidro ou alimento. Nesta técnica, o objeto a ser construído é feito camada por camada consecutivamente através de um empilhamento de camadas conforme a necessidade de atender os planos X (comprimento), Y (largura) e Z (altura). Dado a esta característica de utilizar ao mesmo tempo as três dimensões (X, Y e Z) são comumente chamadas de impressão em 3D.

Uma impressão em 3D (ALCALDE; WILTGEN, 2018; GOMES; WILTGEN, 2020; WILTGEN, 2021) é baseada na técnica de Manufatura Aditiva, e funciona utilizando um sistema que realiza a extrusão do material, ou seja, deposita a matéria prima, camada por camada, na posição geométrica (X, Y e Z) necessárias para que seja construído o objeto no formato e tamanho necessários, e dimensionado por um programa computadorizado de desenho digital (CAD).

No CAD as formas geométricas são desenhadas e representam o objeto a ser impresso em 3D, chamado de modelo digital. O modelo digital é confeccionado em 3D utilizando o material que for necessário, o que pode incluir diversos tipos de alimentos.

Esse alimento no caso da impressão 3D deve receber dois tipos diferentes de processamento da matéria prima diferentes de outros materiais não comestíveis. O processamento anterior se refere a forma de preparação e proporções da matéria prima a ser utilizada para a realização da extrusão, ou seja, construção via a adição de matéria prima durante a construção do objeto desejado, esta etapa é chamada de Pré-Processamento.

Após a conclusão da impressão em 3D o alimento na forma de um objeto impresso irá para a fase de cozimento do alimento para estar pronto para ser ingerido, chamado de Pós-Processamento. O pós-processamento inclui uma forma de secar, cozinhar ou mesmo congelar o alimento impresso em 3D conforme a necessidade do tipo de matéria prima utilizada na construção do objeto impresso em 3D (WEGRZYN, *et al.* 2012).

A utilização da impressão em 3D de alimentos tem se mostrado uma realidade cada vez mais presente nas máquinas destinadas a manufatura aditiva (PITAYACHAVAL *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2015a e 2015b). Pesquisadores e encontros científicos com a presença de fabricantes de máquinas desta natureza, tem se tornado cada vez mais frequentes nos últimos dez anos.

A versatilidade e as possibilidades de fundir ao alimento, diversos tipos de nutrientes, vitaminas e medicação, podem ser uma oportunidade de inovação tecnológica importante para diversos setores. Desde a farmácias de manipulação de medicamentos via alimentos, a cuidados e sabores para pessoas alérgicas (glúten, lactose, amendoim, soja, frutos do mar, entre outros) ou em tratamentos severos de doenças, e outros, no qual seus alimentos podem ser construídos com a composição química necessária a suas

restrições e dietas diárias. Com a vantagem de ter sabor, aparência e aromas estimulantes do apetite, ou seja, palatável.

Além de todas as vantagens inovadoras relatadas anteriormente, resta ainda as características cada vez mais prementes da vida moderna. A vida moderna impõe aos humanos a necessidade de automatização de tarefas rotineiras, e que podem economizar tempo diário importante para a realização de outras tarefas. Dentre estas cozinhar, preparar e comprar alimentos.

Portanto, é possível imaginar que, no futuro, utilizar uma máquina de manufatura de alimentos domésticos seja algo que venha a ser comum e integrar uma cozinha moderna, como ocorreu com a geladeira, fogão, microondas e máquinas de lavar louças. Com matérias primas de base (primárias), talvez no futuro próximo possa ser possível desenvolver diversos tipos de sabores, texturas, e o que mais for necessário para construir o alimento diário das refeições humanas sem perder a qualidade, aparência, cheiro e gosto dos alimentos de hoje, mas de modo a otimizar a qualidade alimentar e o tempo disponível das pessoas.

2. Manufatura Aditiva Aplicada na Construção de Alimentos

A manufatura aditiva é uma técnica de fabricação que faz uso da adição de matéria prima para compor objetos e peças físicas reais que antes são projetadas digitalmente me um computador por um programa do tipo CAD (Figura 1). O modelo digital é fisicamente confeccionado por meio de uma máquina (impressora 3D) capaz de construir utilizando os eixos X (comprimento), Y (largura) e Z (altura), empilhando camada por camada do material utilizado para compor o objeto similar ao modelo digital (WILTGEN, 2019).

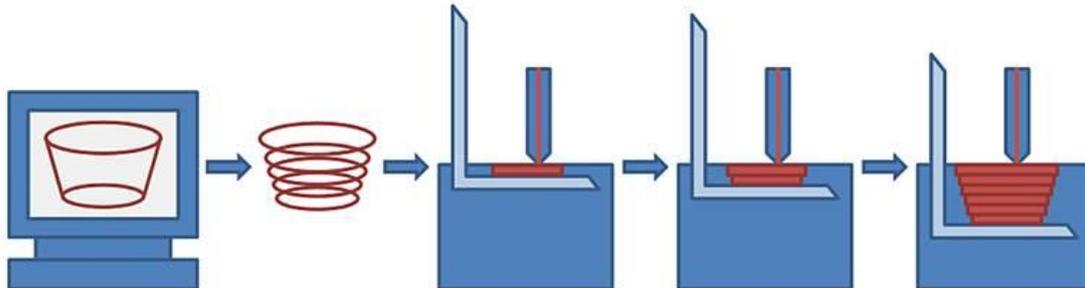


Figura 1 – Processo de Manufatura Aditiva (projeto, fatiamento e impressão camada por camada).

Fonte: Daniel van der Linden (Presentation TNO, 2015).

A primeira máquina de manufatura aditiva aplicada na construção de alimentos foi desenvolvida em 2007 por pesquisadores da Universidade de Cornell (LEVY *et al.*, 2003), quando adaptaram uma simples seringa utilizada em medicamentos injetáveis adaptada a uma impressora 3D (Figura 2) do tipo FDM (Fused Deposition Modeling) de código aberto, baixo custo e de simples construção e operação (PINNA *et al.*, 2016).

Desde então, pesquisadores em todo mundo começaram a desenvolver novos equipamentos e novas técnicas para explorar as pesquisas em impressão 3D de alimentos, ou mesmo aditivos comestíveis para facilitar e permitir a impressão 3D de comidas e refeições.

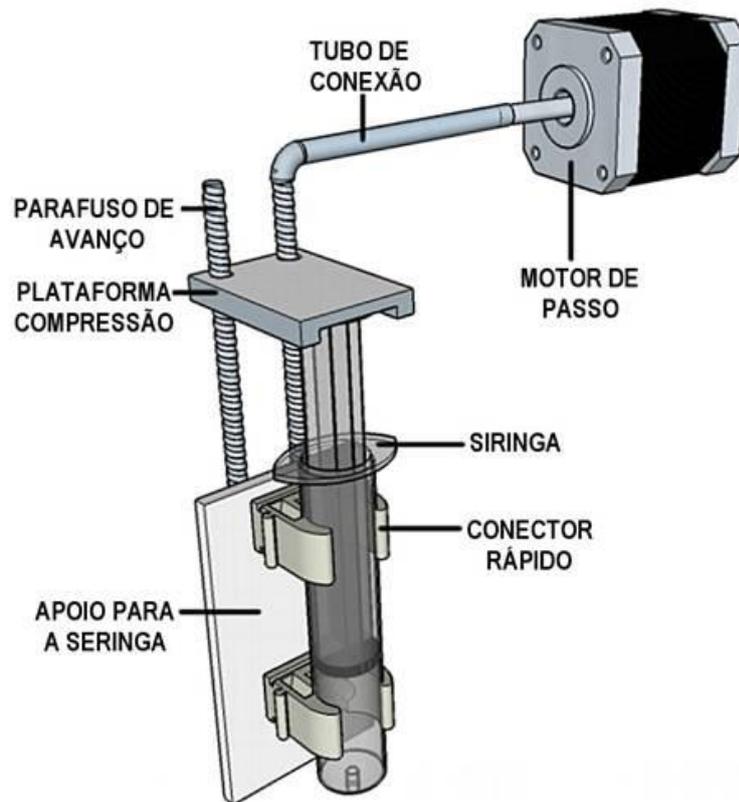


Figura 2 – Dispositivo tipo seringa utilizada na impressão de alimentos pastosos.

Fonte: Alan Kelly (Presentation by Thohic *et al.*, 2018).

Atualmente, existem empresas utilizando a manufatura aditiva para criar alimentos com formatos diferentes e atrativos que são utilizados em eventos como casamentos, festas, promoções e lançamentos de novos produtos (LIGON *et al.*, 2017; WEGRZYN *et al.*, 2012; MAHMOUD *et al.*, 2021; SCHEELE *et al.*, 2021).

Uma grande marca de macarrão utilizando a manufatura aditiva, desenvolveu uma linha de macarrão impressos em diversos tipos de formatos e tamanhos para a venda em supermercados (LILLE *et al.*, 2018). O mercado também utiliza a manufatura aditiva para fabricar chocolates, doces e biscoitos (LANARO *et al.*, 2017; DEROSI *et al.*, 2018; NOORT *et al.*, 2017).

Existe uma profusão de máquinas de manufatura aditiva de alimentos a venda (COHEN *et al.*, 2009; HANLEY, 2016) para a produção de enfeites, principalmente feitos de chocolate, que podem fazer bombons personalizados e cópias de fotografias em chocolate para bolos e tortas (HAO *et al.*, 2010). Outras aplicações incluem a fabricação de queijos (TOHIC *et al.*, 2018) e utilização de limão (YANG *et al.*, 2018) na forma de gel para ser utilizado como matéria prima na fabricação de doces e salgados impressos em 3D.

Essa técnica também se aplica a avanços na construção de medicamentos (NORMAN *et al.*, 2017; GOOLE *et al.*, 2016) os quais podem ter formas, texturas e sabores diversos incluindo figuras para ajudar aos pais na hora de oferecer o medicamento as crianças. Existem estudos para a construção de medicamentos que possam ser fabricados como um tipo de porção alimentar ingerida como se fossem biscoitos (DEROSI *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2015b), doces e balas na forma de um tipo alimento ao invés de cápsulas, comprimidos ou mesmo líquidos medicamentosos (xaropes, vitaminas, entre outros).

A engenharia de alimentos e os farmacêuticos são sem dúvida as áreas da ciência que deverão se beneficiar muito com uma junção com a engenharia de manufatura aditiva (GODOI *et al.*, 2018; IZDEBSKA *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2018), uma vez que a construção do alimento deverá utilizar a experiência e o conhecimento profundo dos nutrientes e da química de cada alimento (WEGRZYN *et al.*, 2012) para produzir matéria prima de base para a confecção da comida impressa em 3D. A composição químico-física (LIPTON *et al.*, 2010) destes alimentos é a chave para produzir a estrutura (HOLLAND *et al.*, 2018), aparência e a composição nutritiva (HANLEY, 2016) e saborosa dos alimentos impressos.

3. Matéria Prima Utilizada na Fabricação de Alimentos em Manufatura Aditiva

O grande trunfo da tecnologia de construção de alimentos é a grande variedade de matéria prima disponível para ser testada e aproveitada como matriz estrutural do alimento. A esta matriz dependendo de sua reologia podem ser acrescentados sabores, cores, nutrientes, vitaminas, medicamentos e tudo mais que for necessário para cada aplicação de alimento impresso em 3D para cada tipo de pessoa e momento.

As pesquisas nas matrizes alimentares impressas em 3D envolvem a forma final de impressão 3D no pré processamento, e também, e principalmente relativo a forma final do pós processamento. Grande parte da pesquisa envolve estudos conduzidos para testar diversos tipos de matrizes e suas características e propriedades reológicas (estudo da transformação da matéria e seus movimentos, viscosidade, plasticidade, elasticidade e escoamento). Dentre estas a viscosidade se mostra importante devido a formação de camadas, princípio de construção do alimento em 3D.

Na Figura 3 é possível observar as fronteiras das propriedades reológicas, físico-químicas, mecânicas e estruturais que envolvem cada parte do processamento e construção dos alimentos impressos em 3D. Estas fronteiras determinam o que pode ser impresso, como pode ser impresso e qual matéria prima utilizar.



Figura 3 – Propriedades importantes de manufatura aditiva em alimentos.

Fonte: Adaptado de Godoi, Prakasha e Bhandari (2015).

É possível observar na Figura 3 que as interfaces entre as propriedades mecânicas e estruturais estão diretamente relacionadas com a forma dado ao alimento, e por isso as fronteiras são o pós processamento do alimento e a aplicação de destino, ambos relacionados a impressão 3D e as relações físico-químicas e reológicas.

Na tecnologia de manufatura aditiva em alimentos em 3D usam muito maquinas extrudáveis (LILLE *et al.*, 2018; COHEN *et al.*, 2009; LIPTON *et al.*, 2010; GODOI *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2015a; SCHEELE *et al.*, 2020), ou seja, que podem fazer uso de matérias primas, macias, moles, fluidas que pode ser depositadas com o auxílio de uma extrusão (derretimento ou muito pastoso empurrado por meio de um êmbolo, veja a Figura 2). Assim sendo, é possível notar que alguns na culinária tudo o que parte de uma forma pastosa, líquida ou fluida (BAKARICH *et al.*, 2017; HAO *et al.*, 2010; YANG *et al.*, 2018) pode ser utilizado na impressão de alimentos em 3D (chocolates, massas e outros). Entretanto, quando pensamos em outros alimentos cuja a forma física é estruturalmente sólida (carnes, frutas, vegetais, queijos e outros) irão requerer um pré processamento mais cuidadoso para transformar sua estrutura em algo que possa ser extrudável (PINNA *et al.*, 2016; DEROSI *et al.*, 2018; WEGRZYN *et al.*, 2012; TOHIC *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2021).

Quanto a as propriedade reológicas, o parâmetro textura do alimento tem sido estudado com a finalidade de obter as matérias primas que podem servir como base para alimentos impressos em 3D (COHEN *et al.*, 2009; LEANDRO *et al.*, 2017). Nas pesquisas a textura do alimento é dividida em uma escala contínua de leve/macio/fraco (*weakest*) para firme/consistente/forte (*firm*) e de suave (*smoothest*) para granular (*granular*) formando uma Matriz de Alimentos para uso em Manufatura Aditiva. Na Figura 4, pode ser vista a pesquisa que apresenta a matriz de alimentos que podem ser aplicados na manufatura aditiva e classificados por textura.

Outra matriz importante para uso em alimentos impressos em 3D está relacionada a combinação e concentração de hidrocolóides utilizados como aditivos. Os hidrocolóides servem para ajustar os materiais que podem servir para impressão em 3D de alimentos. Note que as proteínas animais (carnes: peixe, frango e bovina) estão na extremidade da matriz (firme e granular), como pode ser visto na Figura 5.

Firme (most firm) Leve (weakest)	Chocolate				Peixe	Cenoura	Biscoito
		Cogumelo			Maçã	Frango	Salada
		Banana	Espaguete	Muçarela	Tomate		Ovo cozido
	Manteiga de amendoim	Marshmallow	Merengue				Carne moída
	Gelatina						
	Molho	Purê de batata	Bolo recheado			Feijão	
	Gel				Pão branco	Polenta	
	Gel líquido	Pudim	Massa de bolo	Geléias	Compotas	Risoto	
	Leite	Sorvete			Gelato		
							Suave (smoothest)

Figura 4 – Matriz de alimentos impressos 3D classificado por tipo de textura.

Fonte: Adaptado de Cohen (2009) e Leandro (2017).

Firme (most firm)	Chocolate 4% gelatina	Cogumelo 4% gelatina				
			Espaguete 16% goma xantana			Tomate 1% gelatina 8% goma xant.
	Gelatina 2% gelatina		Merengue 2% gelatina 8% goma xant.	Bolo 0,5 % gelatina 8% goma xant.		
	Gel 1% gelatina	Purê de batata 4% goma xantana				
	Gel líquido 2% goma xantana				Compotas 0,5% gelatina 4% goma xantana	Risoto 1% gelatina 4% goma xantana
Leve (weakest)	Leite 0,5% gelatina					
	Suave (smoothest)			Granular (most granular)		

Figura 5 – Matriz de alimentos impressos 3D classificado por tipo de combinação e concentração de hidrocolóides.

Fonte: Adaptado de Cohen (2009) e Leandro (2017).

Na Figura 5, é possível ver as combinações de base alimentar e as quantidades e tipos de hidrocolóides que melhor se adaptam a cada tipo de alimento (COHEN *et al.*, 2009). Observe que a proporção de hidrocolóide é diferente para cada tipo de matéria prima de cada base alimentar. A utilização de hidrocolóides permite a impressão de alimentos em 3D que antes eram inviáveis. Estas matrizes apresentadas nas Figuras 4 e 5 servem como base para o avanço na construção de alimentos em 3D mais próximos dos alimentos tradicionais.

4. Processamento de Alimentos Impressos em 3D

Outra matriz importante para uso em alimentos impressos em 3D está relacionada a combinação e concentração de hidrocolóides utilizados como aditivos. Os hidrocolóides servem para ajustar os materiais que podem servir para impressão em 3D de alimentos. Note que as proteínas animais (carnes: peixe, frango e bovina) estão na extremidade da matriz (firme e granular).

Na Figura 5, é possível ver as combinações de base alimentar e as quantidades e tipos de hidrocolóides que melhor se adaptam a cada tipo de alimento (COHEN *et al.*, 2009). Observe que a proporção de hidrocolóide é diferente para cada tipo de matéria prima de cada base alimentar. A utilização de hidrocolóides permite a impressão de alimentos em 3D que antes eram inviáveis. Estas matrizes apresentadas nas Figuras 4 e 5 servem como base para o avanço na construção de alimentos em 3D mais próximos dos alimentos tradicionais.

O pré processamento dos materiais comestíveis para a manufatura aditiva, requer cuidado e controle preciso das proporções de misturas, quer sejam pastosas, líquidas ou mesmo quase sólidas. Isso ocorre devido ao processo inerente a qualquer tipo de impressão 3D, devido a composição em camadas.

Cada camada impressa em 3D de alimento será depositada sobre a camada anterior, assim sendo, há a necessidade de controlar a consistência do material durante a fase de extrusão camada por camada. Caso a consistência não seja propícia para o empilhamento das camadas, o objeto desejado de um determinado modelo digital não será concluído com êxito e pode desfigurar completamente a estrutura física desejada para o alimento, impedindo assim de executar a impressão 3D do mesmo e podendo inclusive inviabilizar a extrusão. Existem muitos recursos para serem adotados e adicionados em materiais comestíveis, como pode ser visto na Figura 6 (LIU *et al.*, 2017). Estes recursos a base de misturas são adicionados ao alimento base e em proporções que permitam construir o objeto desejado utilizando o alimento desejado.

O estudo detalhado a respeito da utilização de batata, na forma pastosa para impressão 3D de alimentos mostra que a proporção de amido influencia na construção da forma do alimento. Observe que a pasta de batata recebe pequenas porcentagens de amido de batata (até 4%) para mudar a consistência e as propriedades reológicas da massa a fim de verificar a extrudabilidade do material (forma de depositar o material em camadas para realizar uma impressão em 3D) e a capacidade de manter sua forma após a impressão em 3D.

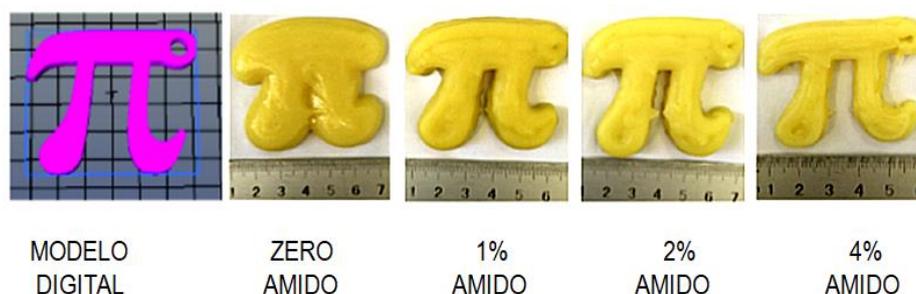


Figura 6 – Teste de impressão em 3D utilizando massa (purê) de batata e diferentes quantidades de amido.

Fonte: Adaptado de Liu *et al.* (2017).

Na Figura 6 os testes realizados com a massa de batata para variações de consistência (viscosidade) com a finalidade de obter uma figura representativa do objeto (modelo digital) a ser confeccionado na forma de um símbolo matemático (π) comestível passou por diversas composições. A primeira foto a esquerda representa o modelo tridimensional do objeto a ser impresso em 3D e na sequência todos os testes realizados e as proporções de mistura de amido de batata em cada amostra.

Como é possível observar na Figura 6, sem a adição de amido (0%), a mistura tem forma expandida e aparentemente sem consistência física, mesmo assim, mantém a forma do modelo digital. Entre 1 e 2% de adição de amido é possível notar que a forma fica mais consistente e apresentam uma boa extrudabilidade mantendo a forma e a estrutura do objeto desejado. Entretanto, com a adição de 4% de amido na massa de batata é possível observar que começa a surgir defeitos na impressão do modelo digital, como a massa começa a ficar mais consistente ocorre maior dificuldades de extrudar o alimento na forma correta o modelo desejado.

A proporção de amido na massa de batata parece ser uma boa opção para impressão em 3D de alimentos com batata. Deve existir um ponto ótimo dessa adição de amido entre 2

e 4%, provavelmente em 3%, mas o estudo não apresentou dados relativos a esta porcentagem de adição de amido na massa.

Algo a ser sempre lembrado é que em muitos casos de impressão em 3D de alimentos, deve existir uma fase de cozimento após o preparo da forma do alimento. Este cozimento é chamado pós-processamento, e pode ser necessário que este alimento impresso em 3D passe por um processo de fritura, congelamento, secagem ou mesmo que venha a ser assado em um forno.

O grande desafio nesta etapa é garantir que a forma desejada impressa em 3D do modelo digital seja mantida. Para garantir que o alimento impresso em 3D mantenha sua geometria após o cozimento, são adicionados aditivos na mistura inicial que é utilizada no Pré Processamento (fase de impressão em 3D), como a adição de produtos como a transglutaminase (LIPTON, et al., 2010).

A Figura 7 é possível notar que apesar da impressão em 3D (Pré Processamento) em uma máquina de código aberto ser bem desenvolvida (A), a geometria do biscoito impresso não resiste ao pós processamento no momento em que o mesmo é assado (B).

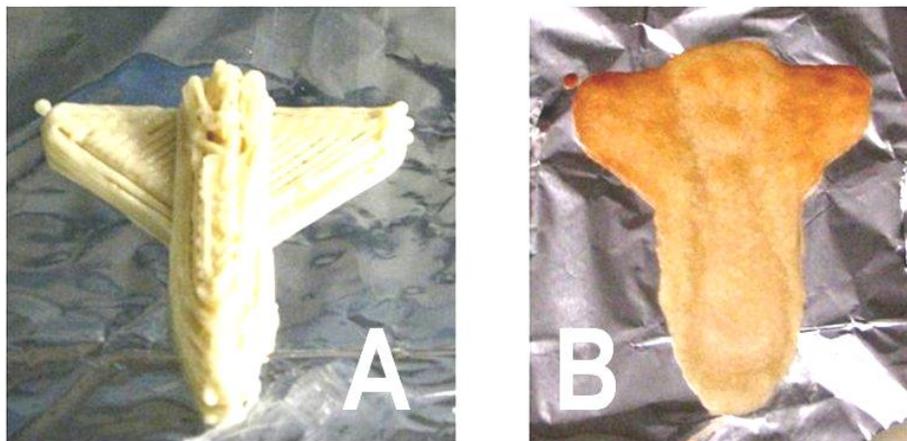


Figura 7 – Biscoito impresso em 3D Manufatura Aditiva de Alimentos com máquinas de Código Aberto: A – Logo após a impressão 3D (Pré Processamento) e B – Depois de assado (Pós Processamento).

Fonte: Adaptado de Lipton *et al.* (2010).

As atuais máquinas comerciais de impressão 3D de alimentos, estão conseguindo construir biscoitos com excelente qualidade geométrica com adição de compostos que permitem manter a forma mesmo depois do pós processamento (Figura 8). Note que na Figura 8 o biscoito foi impresso em 3D (pré processado), assado e pintado com tinta comestível (pós processado). Diferente da Figura 7, o biscoito manteve a forma mesmo depois do pós processamento (BOBBIO *et al.*, 2001, LILIE *et al.*, 2018; LIPTON *et al.*, 2010; COHEN *et al.*, 2009; LIU *et al.*, 2017; LILIE *et al.*, 2018; TOHIC *et al.*, 2018).

É possível observar na Figura 9 (LILIE *et al.*, 2018) testes realizados com misturas de diversas proporções de hidrocolóides e transglutaminase em três diferentes fases sendo uma fase de pré processamento (logo depois de impressos) e duas fases de pós processamento diferentes (Secagem e Congelamento). Alguns destes testes levaram a bons resultados para algumas fases, como o teste 4 depois de impresso e congelado, o teste 3 depois de seco e congelado, o teste 7 depois de impresso e congelado.



Figura 8 – Biscoito impresso por máquinas profissionais de alimentos 3D.

Fonte: Isaac Budmen Industries LLC - Techno Kitchen Chef Steph Keefe (2019).

Aparentemente o teste 6 apresentou bons resultados nas três fases mostrando uniformidade geométrica com a composição de nanofibras de celulose e leite em pó semidesnatado. Esta composição parece boa para produção e armazenamento de alimento impresso em 3D, tanto em embalagens a vácuo (produto seco), quanto em embalagens congeladas. O que pode vir a ser um bom caminho para a produção em larga escala de alimentos impressos em 3D para armazenamento (Lipton *et al.*, 2010). As máquinas de manufatura aditiva para a construção de alimentos em 3D podem variar em suas técnicas construtivas, e isso certamente pode influenciar muito nas fases de pré e pós processamento dos alimentos impressos em 3D.



Figura 9 – Alimentos fabricados com manufatura aditiva em três diferentes fases (impressos, secos, congelados e suas respectivas composições).

Fonte: Adaptado de Lille *et al.* (2018).

6. Máquinas de Manufatura Aditiva para Alimentos

O desenvolvimento de diversas técnicas de manufatura aditiva possibilitou uma grande diversidade de máquinas e dispositivos de impressão 3D de alimentos, como pode ser observado na Figura 10. Na Figura 10 é possível notar a divisão de técnicas e a estrutura física da matéria prima alimentar a ser utilizada por cada uma das técnicas de impressão 3D. A técnica que usa o processo de extrusão utilizando diversos tipos de material é a mais explorada (GODOI *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2015).

No Quadro 1, existe uma relação de técnicas de Manufatura Aditiva de Alimentos, separados por tipo de técnica e algumas características comuns de impressão 3D de alimentos. A finalidade é apresentar um comparativo simples entre cada técnica utilizada pelas máquinas.



Figura 10 – Divisão de Técnicas em Manufatura Aditiva para Alimentos em 3D. Fonte: Adaptado de Godoi *et al.* (2018).

	EXTRUSÃO	SINTERIZAÇÃO	JATO EM PÓ	JATO
MATERIAIS	Alimentos poliméricos, como o chocolate	Pó pouco fundível, como açúcar ou gordura	Pós como açúcar, amido, farinha de milho	Materiais com baixa viscosidade, como massas e purês
VISCOSIDADE	10 ³ ~ 10 ⁵ cP	Não aplicável	1 ~ 10 cP	5x10 ² ~ 5x10 ³ cP
PLATAFORMA	<ul style="list-style-type: none"> Plataforma motorizada Unidade de aquecimento Dispositivo de extrusão 	<ul style="list-style-type: none"> Plataforma motorizada Fonte de sinterização (laser ou ar quente) Câmara de armazenamento de pó 	<ul style="list-style-type: none"> Plataforma motorizada Câmara de armazenamento de pó Cabeçote de impressão à jato 	<ul style="list-style-type: none"> Plataforma motorizada Cabeçote de impressão à jato Unidade de controle de temperatura
RESOLUÇÃO DE IMPRESSÃO	Diâmetro do êmbolo: 0.5 ~ 1.5 mm	Tamanho do pó: 100 µm	Diâmetro do êmbolo ≤ 50 µm Tamanho do pó ≤ 100 µm	Diâmetro do êmbolo ≤ 50 µm
PRODUTOS FABRICADOS	Chocolates customizados	Objetos de arte da grade alimentar, formas de caramelo	Cubos de açúcar coloridos	Biscoitos personalizados
VANTAGENS	<ul style="list-style-type: none"> Custo-benefício Fabricação Rápida 	<ul style="list-style-type: none"> Melhor qualidade de impressão Design complexo 	<ul style="list-style-type: none"> Mais opções de materiais Melhor qualidade de impressão Potencial de cores Design complexo 	<ul style="list-style-type: none"> Melhor qualidade de impressão
DESVANTAGENS	<ul style="list-style-type: none"> Baixa qualidade de impressão 	<ul style="list-style-type: none"> Plataforma cara Alto consumo de pó Materiais limitados 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricação lenta Plataforma cara 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricação lenta Cabeçotes caros Plataforma cara Materiais Limitados

Quadro 1 – Comparação das Técnicas em Máquinas de Manufatura Aditiva de Alimentos. Fonte: Adaptado de Sun *et al.* (2015).

7. Discussão e Conclusões

A evolução das técnicas de manufatura tem influenciado constantemente o crescimento do conhecimento humano. É fato de que uma das fundamentais realizações humanas é o desenvolvimento das formas e dos processos de construir objetos com a finalidade clara de auxiliar no dia a dia. E assim, permitir aos seres humanos utilizar objetos para facilitar a realização de tarefas rotineiras.

Na história desde que se iniciaram as explorações humanas marítimas e continentais, prover mantimentos sempre foi um grande empecilho para a saúde e bem estar das tripulações. Hoje, solucionado em parte por uma logística rápida e atenta as necessidades mais comuns em tempo de paz.

Entretanto, as explorações mais ousadas e mais inóspitas com se manter no espaço, viajar para planetas, viver no fundo do mar, viver em áreas desérticas, quentes (desertos) ou frias (calotas polares), sobreviver em florestas densas e úmidas, manter operações militares ou operações humanitárias em desastres naturais, continua sendo um grande desafio para a humanidade.

Suprir e manter mantimentos saudáveis e nutricionais é sem dúvida o mais importante para que uma operação científica, humanitária ou militar tenha sucesso. E não é apenas fornecer um “mingau” nutricional com gosto de remédio ruim que permitirá o bem estar completo de uma tripulação ou equipe de exploração científica com moral elevado. Faz parte do conforto humano realizar uma refeição apazível (CAULIER *et al.*, 2020).

As pesquisas em construção de alimentos impressos em 3D tem a função de manter o moral elevado, fornecendo uma alimentação saudável com a forma física similar ao alimento comum, com textura, cor e sabor palatável, permitindo ao usuário ter um momento de satisfação na refeição.

Novos compostos químicos devem permitir que alimentos diferentes possam ser processados e impressos em 3D, permitindo assim, ampliar a diversificação de opção alimentar. Pessoas com alergias alimentares poderão se beneficiar com alimentos impressos sem o componente que causa alergia. Assim como, pacientes crônicos ou em tratamentos longos que necessitam de muitos medicamentos diários, podem no futuro incorporar parte desses medicamentos em forma de alimentos impressos em 3D para serem consumidos de maneira mais agradável e menos agressiva.

A impressão de alimentos em 3D, como pode ser realizada em diversos formatos diferentes, pode ser um atrativo para regular e incentivar alimentos mais saudáveis para as crianças. Misturas de legumes, verduras e cereais podem constituir uma alternativa saudável e divertida para a substituição de biscoitos industrializados.

Existem fábricas adotando a manufatura aditiva e imprimindo em 3D formas diferentes e inéditas de tipos de macarrão. Os formatos diversos permitem uma inovação nos sofisticados pratos preparados em restaurantes famosos pelo mundo.

A personalização de alimentos é algo que a indústria de eventos deve se beneficiar, tendo em vista que podem inclusive imprimir biscoitos e doces com o formato de logotipo de clientes durante conferências, congressos e feiras de tecnologia.

As docerias têm um amplo mercado a ser explorado na fabricação de bolos e doces personalizados e construídos em 3D. Fotos de pessoas, paisagens ou marcas de empresas como logotipos ou símbolos podem ser impressos em chocolate e colocados sobre pratos, sobremesas, tortas e bolos. Sabores diferentes podem ser incorporados a diferentes formatos permitindo uma grande variedade de opções para a exploração desse

tipo de consumo. No futuro próximo a utilização de sensores biométricos na forma de adesivos em contato direto com a pele humana permitirá um diagnóstico completo do usuário possibilitando saber que tipo de alimento e complementos nutricionais, vitamínicos, e mesmo, médicos (remédios) será necessário adicionar no alimento a ser construído em 3D.

As forças armadas do EUA preveem a utilização deste sensores em soldados em campo de batalha enviando as informações para a base de fornecimento de alimentos, que construirá a comida de cada soldado com base nas necessidades de cada um. O alimento depois de pronto seguirá para os campos de batalha usando drones (UAVs – *Unmanned Aerial Vehicle* – Veículo Aéreo Não Tripulado), isso pode ser observado na Figura 11.



Figura 11 – Futuro da Alimentação Militar das Forças Armadas dos EUA até 2035 em Campo de Batalha utilizando Manufatura Aditiva de Alimentos.

Fonte: Mary Scerra (Presentation US Army Natick Soldier Research - Development & Engineering Center (U18-365 - 2018).

No campo militar, o estresse e o cansaço físico e mental são uma das grandes ameaças as tropas de soldados em campos de batalha. A protidão necessária de um soldado em combate, vem principalmente do equilíbrio químico-alimentar na quantidade e na qualidade necessária para suprir o acelerado metabolismo de um soldado. Rações alimentares quase sempre são uma das poucas opções em guerras. A nutrição necessária para um soldado pode ser diferente para outro, a personalização de diferentes rações alimentares, assim como a possível associação de complementos e vitaminas, pode ser um recurso precioso para as tropas militares em operações em campo.

A associação de tecnologias como as apresentadas na Figura 11, são um importante recurso a ser explorado na fabricação de alimentos impressos em 3D pelas forças armadas no mundo para melhorar as condições físicas e psicológicas dos soldados, assim como, o emprego da manufatura aditiva de alimentos em 3D em ações de resgate a vítimas de desastres naturais e para as equipes médicas e socorristas. Garantindo acesso a alimentos balanceados por nutricionistas para manter o conforto mínimo e o moral elevado durante a operação de resgate. Essa tecnologia de fabricação de alimentos impressos em 3D permite fácil transporte de insumos e de máquinas para os mais diversos tipos de locais, o que inclui postos avançados montados em atendimentos para eventos catastróficos com desastres naturais e outros. Além disso, a possibilidade de construir alimentos em formatos diferentes pode possibilitar diferentes tipos de transporte como drones, além de permitir também que o mesmo possa ser distribuído entre escombros para sobreviventes de terremotos enquanto a equipe de resgate realiza a remoção dos escombros e da vítima.

Centros médicos e hospitais podem utilizar da fabricação de alimentos em 3D para personalizar o atendimento das refeições para cada paciente. Permitindo dosar de forma mais controlada as porções e a composição alimentar em benefício da recuperação rápida de cada paciente observando suas características e necessidades nutricionais. Pacientes de nutricionistas poderão compor suas receitas de tratamento com dietas diretamente em suas próprias residências, utilizando os insumos indicados para cada etapa de suas dietas alimentares, permitindo aumentar a variedade de tipos de alimentos e formas mais atrativas para suprir suas necessidades diárias.

Fato é que a utilização da tecnologia de impressão de alimentos em 3D, associada a uma indústria de alimentos pastosos a serem utilizados como insumos, deve ser uma realidade no decorrer dos próximos anos. Possibilitando a construção de alimentos personalizados tanto em restaurantes, quanto nas próprias residências.

Diversas são as aplicações e a prospecção de novas oportunidade de uso da tecnologia de impressão de alimentos em 3D, quer seja pelo fato de obter diferentes tipos de formatos, quer seja pela importância de misturar diferentes tipos de alimentos saudáveis, quer seja pela composição química que permite a inserção de medicamentos, vitaminas e suplementos alimentares, quer seja pela facilidade de deslocamento e operação de um sistema completo de fabricação de alimentos em campo que possa ser colocado em operação de forma rápida, segura e eficiente, quer seja como uma das poucas opções devido a sua utilização em lugares inóspitos, tais como: no espaço sideral, no fundo de oceanos, em desertos, áreas alagadas, florestas, ilhas, montanhas ou mesmo nos pólos ártico e antártico.

Como muitos usuários poderão se beneficiar da pesquisa em construção de alimentos em 3D via a manufatura aditiva, percebe-se a importância de três aplicações que parecem ser as principais beneficiadas destas pesquisas nos próximos anos, tais como:

- **Controle de Dieta (Alérgicos e Doentes)**

Utilizar a impressão 3D de alimentos para personalizar os ingredientes que serão inseridos no alimento de pessoas doentes ou alérgicas é uma forma inteligente de ajudar na alimentação balanceada e sem reações adversas ou efeitos colaterais. Construir o alimento permite adicionar além da composição nutricional correta para cada paciente pode ser adicionado também, vitaminas e minerais em falta no organismo. Outra ideia é a adição de medicamentos, auxiliando as pessoas para que não corram o risco de esquecer os remédios diários, ou mesmo, evitando a frequência de ingestão de comprimidos e cápsulas.

- **Produtos com Nutrição Personalizada (Atletas, Escolas e Hospitais)**

A profunda personalização do alimento impresso em 3D pode gerar produtos com o formato desejado pelo cliente, desde um logotipo de uma empresa a uma fotografia em chocolate do recém nascido. Escolas podem ter complementos nutricionais e vitamínicos necessário para o crescimento saudável das crianças e adolescentes. Hospitais podem ter alimentos construídos conforme as necessidades de cada paciente, além disso, na forma física estrutural (líquido, pastoso ou sólido) indicada para cada fase do paciente em tratamento. Os atletas podem construir suas próprias “barras de cereais” com muito mais proteínas, fibras, vitaminas e nutrientes necessários para cada fase de treinamento e de competições.

• ***Alimentos em Ambientes Inóspitos (Pesquisa Científicas, Exploração Espacial, Operações Militares e Humanitárias)***

Todos conhecem as brincadeiras com os alimentos (pílulas) espaciais. Isso deve mudar muito com as novas opções fornecidas pela manufatura aditiva. Permitindo que as pessoas presentes em ambientes inóspitos possam desfrutar de um alimento mais saudável e palatável (OBRIST et al., 2019; TERFANSKY et al., 2013; FELIX, 2014; SHAFIEE, 2017).

Novas técnicas e metodologias aplicadas na construção de alimentos impressos em 3D podem e irão mudar profundamente a forma de consumir alimentos no futuro. A tal máquina de construir alimentos (sintetizadora de alimentos) a bordo da famosa nave espacial Enterprise da série *Star Trek* está em vias de se tornar cada vez mais real e muito menos ficção científica. Muitos humanos serão beneficiados com a transferência de tecnologia e as inovações científicas nesta área para a indústria.

Os humanos evoluíram de caçadores-coletores de seus alimentos para plantadores e cultivadores devido a necessidade de cuidar melhor de sua nutrição. Hoje com a tecnologia 3D, será possível equilibrar de uma forma completamente diferente a qualidade nutricional e necessidade de proteínas e calorias para manter a boa relação entre a satisfação de se alimentar e necessidade de obter uma qualidade saudável de vida.

Em um futuro não muito distante, se alimentar poderá ser algo completamente diferente do que a humanidade faz hoje, e provavelmente de forma, mais saudável, mais balanceada e mais compartilhada.

A manufatura aditiva de uma forma geral é um dos caminhos para a realização da revolução industrial chamada de manufatura avançada, ou indústria 4.0.

Nesse contexto a manufatura aditiva em metais, é uma das principais realizações para que possam existir fábricas modernas capazes de realizar a produção industrial de uma forma mais integrada e inteligente.

Todos os avanços científicos realizados nos processos de manufatura possibilitam melhorar as formas de conduzir o desenvolvimento da sociedade e os grandes desafios da humanidade. A exploração espacial é o desafio que mais demanda novas tecnologias, por isso mesmo é a precursora em manufatura aditiva, de todos os tipos, e atualmente é o setor que mais explora e investe na manufatura aditiva. O setor aeronáutico também tem feito uso regular e progressivo na utilização da manufatura aditiva em metais, substituindo as formas tradicionais de fabricação.

A constante evolução construtiva permite avanços significativos em diversas áreas da ciência, e a manufatura aditiva integrada com múltiplos tipos de materiais, levará a forma de se construir uma peça, ou uma máquina completa e totalmente integrada na parte mecânica, elétrica, eletrônica, energética, hidráulica, pneumática, entre outros. Isso permitirá a construção de equipamentos mais complexos e inovadores, elevando muito o desenvolvimento humano.

Referências

ALCALDE, E.; WILTGEN, F., *Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro*. Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté (UNITAU), v.24 (2), pp. 12-20, 2018.

BAKARICH, S. E.; GORKIN III, R.; GATELY, R.; PANHUIS, N.; SPINKS, G. M., *3D Printing of Tough Hydrogel Composites with Spatially Varying Materials Properties*. Additive Manufacturing, v.14, pp.24-30, 2017.

- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O.**, *Química do Processamento de Alimentos*. 3ªed. Varela, 2001. 215p.
- CAULIER, S.; DOETS, E.; NOORT, M.**, *An Exploratory Consumer Study of 3D Printed Food Perception in a Real-Life Military Setting*. Food Quality and Preference, v.86, pp. 1-5, 2020.
- CHEN, Y.; ZHANG, M.; PHUHONGSUNG, P.**, *3D Printing of Protein-Based Composite Fruit and Vegetable Gel System*. LWT - Food Science and Technology, v.141(03), pp. 1-12, 2021.
- COHEN, D. L.; LIPTON, J. I.; CUTLER, M.; COULTER, D.; VESCO, A.; LIPSON, H.**, *Hydrocolloid Printing: A Novel Platform for Customized Food Production*. Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, pp.807-818, 2009.
- DEROSSI, A.; CAPORIZZI, R.; AZZOLLINI, D.; SEVERINI, C.**, *Application of 3D Printing for Customized Food: A Case on the Development of a Fruit-Based Snack for Children*. Journal of Food Engineering, v. 220, pp.65-75, 2018.
- FELIX, C. V.**, *Print Your Food: A Revolution in the Space Kitchen*. Space Safety Magazine, 9, pp.14-16 2014.
- GODOI, F.; BHANDARI, B.; PRAKASH, S.; ZHANG, M.**, *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications*. 1st Edition, Academic Press, 2018.
- GOMES, J.; WILTGEN, F.**, *Avanços na Manufatura Aditiva em Metais: Técnicas, Materiais e Máquinas*. Revista Tecnologia, v.41(01), pp.1-16, 2020.
- GOOLE, J.; AMIGHI, K.**, *3D Printing in Pharmaceuticals: A new Tool for Designing Customized Drug Delivery Systems*. International Journal of Pharmaceutics, v.499 (1–2), pp.376-394, 2016.
- HANLEY, A. B.**, *Additive Manufacturing in Food and Nutrition*. Nutrition Bulletin, John Wiley and Sons, v. 41 (3), pp. 299-301, 2016.
- HAO, L.; MELLOR, S.; SEAMAN, O.; HENDERSON, J.; SEWELL, N.; SLOAN, M.**, *Characterization and Process Development for Chocolate Additive Layer Manufacturing*. Virtual and Physical Prototyping, v.5, pp.57-64, 2010.
- HOLLAND, S.; FOSTER, T.; MANAUGHTAN, W.; TUCK, C.**, *Design and Characterisation of Food Grade Powders and Inks for Microstructure Control Using 3D Printing*. Journal of Food Engineering, v.220, pp.12-19, 2018.
- IZDEBSKA, J.; ŻOLEK-TRYZNOWSKA, Z.**, *3D Food Printing – Facts and Future*. Agro FOOD Industry Hi Tech, v.27(2), 2016.
- LANARO, M.; FORRESTAL, D. P.; SCHEURER, S.; SLINGER, D. J.; LIAO, S.; POWELL, S. K.; WOODRUFF, M. A.**, *3D printing complex chocolate objects: Platform design, optimization and evaluation*. Journal of Food Engineering, v.215, pp. 13-22, 2017.
- LEANDRO, S. M.**, *Proposta de um Modelo para Refeições Digitais*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2017. 152p.
- LEVY, G. N.; SCHINDEL, R.; KRUTH, J. P.**, *Rapid Manufacturing and Rapid Tooling with Layer Manufacturing (LM) Technologies: State of The Art and Future Perspectives*. CIRP Annals-Manufacturing Technology, v.52, pp.589–609, 2003.
- LIGON, S. C.; LISKA, R.; STAMPFL, J.; GURR, M.; MÜLHAUPT, R.**, *Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing*. Chemical Review, v.117(15), pp.10212-10290, 2017.
- LILLE, M.; NURMELA, A.; NORDLUND, E.; METSÄ-KORTELAJINEN, S.; SOZER, N.**, *Applicability of Protein and Fiber-Rich Food Materials in Extrusion-Based 3D Printing*. Journal of Food Engineering, v.220, pp.20-27, 2018.
- LIPTON, J.; ARNOLD, D.; NIGL, F.; LOPEZ, N.; COHEN, D.; NORÉN, N.; LIPSON, H.**, *Multi-Material Food Printing with Complex Internal Structure Suitable for Conventional Post-Processing*. Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, pp.809-815, 2010.
- LIU, Z.; ZHANG, M.; BHANDARIB, B.; WANG, Y.**, *3D printing: Printing Precision and Application in Food Sector*. Trends in Food Science & Technology, pp.83-94, 2017.
- MAHMOUD, R.; NGUYEN, Q.; CHRISTOPHER, G.; EGAN, P. F.**, *3d Printed Food Design and Fabrication Approach for Manufacturability, Rheology, and Nutrition Trade-Offs*. Proceedings of the ASME 2021 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in

Engineering Conference, August 17-20, pp. 1-10, 2021.

NOORT, M.; VAN BOMMEL, K.; RENZETTI, S., *3D-Printed Cereal Foods*. Cereal Foods World, v.62(06), pp. 272-277, 2017.

NORMAN, J.; MADURAWA, R. D.; MOORE, C. M. V.; KHAN, M. A.; KHAIRUZZAMAN, A., *A New Chapter in Pharmaceutical Manufacturing: 3D-printed Drug Products*. Advanced Drug Delivery Reviews, v.108 (1), pp.39-50, 2017.

OBRIST, M.; TU, Y.; YAO, L.; VELASCO, C., *Space Food Experiences: Designing Passenger's Eating Experiences for Future Space Travel Scenarios*. Frontiers in Computer Science, v.1, pp.1-17, 2019.

PINNA, C.; RAMUNDO, L.; SISCA, F. G.; ANGIOLETTI, C. M.; TAISCH, M.; SERGIO TERZI, S., *Additive Manufacturing Applications within Food Industry: An Actual Overview and Future Opportunities*. XXI Summer School "Francesco Turco" - Industrial Systems Engineering, pp.18-24, 2016.

PITAYACHAVAL, P.; SANKLONG, N.; THONGRAK, A., *A Review of 3D Food Printing Technology*. MATEC Web of Conferences, ACMME, pp.213-217, 2018.

SCHEELE, S. C.; BINKS, M.; EGAN, P. F., *Design and Manufacturing of 3D Printed Foods With User Validation*. Proceedings of the ASME 2020 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, August 17-19, pp. 1-10, 2020.

SCHEELE, S. C.; HARTMANN, C.; SIEGRIST, M.; BINKS, M.; EGAN, P. F., *Consumer Assessment of 3D-Printed Food Shape, Taste, and Fidelity Using Chocolate and Marzipan Materials*. 3D Printing and Additive Manufacturing, pp. 1-32, 2021.

SHAFIEE, M. N., *Space Food Technology: Production and Recent Developments*. International Journal of Advancements in Research & Technology, v.6 (2), pp.120-129, 2017.

SUN, J.; PENG, Z.; ZHOU, W.; FUH, J. Y. H.; HONG, G. S.; CHIU, A., *A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication*. Procedia Manufacturing, 43rd Proceedings of North American Manufacturing Research, v.1, pp.308-319, 2015a.

SUN, J., ZHOU, W., HUANG, D.; FUH, J. Y. H.; HONG, S. G., *An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication*. Food and Bioprocess Technology, v.8(8), pp.1605-1615, 2015b.

TERFANSKY, M. L.; THANGAVELU, M., *3D Printing of Food for Space Missions*. Proceeding AIAA SPACE 2013 Conference and Exposition, 2013.

TOHIC, C. L.; O'SULLIVAN, J. J.; DRAPALA, K. P.; CHARTRIN, V.; CHAN, T.; MORRISON, A. P.; KERRY, J. P.; KELLY, A. L., *Effect of 3D Printing on the Structure and Textural Properties of Processed Cheese*. Journal of Food Engineering, v.220, pp.56-64, 2018.

WEGRZYN, T. F.; GOLDING, M.; ARCHER, R. H., *Food Layered Manufacture: A New Process for Constructing Solid Foods*. Trends in Food Science & Technology, v.27(2), pp.66-72, 2012.

WILTGEN, F., *Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico*. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Engenharia e Fabricação (COBEF), São Carlos-SP, pp. 1-5, 2019.

WILTGEN, F., *Manufatura Aditiva em Metais – Leve, Forte e Inovador*. Revista de Engenharia e Tecnologia, v13(02), pp. 47-58, 2021.

YANG, F.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; LIU, Y., *Investigation on Lemon Juice Gel as Food Material for 3D Printing and Optimization of Printing Parameters*. LWT, v.87, pp.67-76, 2018.

ZHANG, J.; VO, A. Q.; FENG, X.; BANDARI, S.; REPKA, M. A., *Pharmaceutical Additive Manufacturing: a Novel Tool for Complex and Personalized Drug Delivery Systems*. AAPS PharmSciTech, v.19, pp.3388-3402, 2018.