

DESENVOLVIMENTO DE FORMULAÇÕES À BASE DE PROTEÍNAS E POLISSACARÍDEOS VEGETAIS PARA IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS

Bruna Lotti Bertucci¹; Kaciane Andreola²; Tatiana Beatris Tribess²; Tatiana Guinoza Matuda²

¹Aluna de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

² Professora do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Resumo. *Formulações com proteína isolada de soja, amido de milho, água e hidrocolóides (goma guar ou goma xantana), a 1,25 % e 2,50 %, foram utilizadas em impressora 3D de extrusão acionada por pistão. As formulações foram avaliadas quanto à resistência mecânica, estabilidade, precisão de impressão, sinérese e composição centesimal parcial. A formulação com 1,25 % de goma guar foi a que apresentou melhor desempenho, destacando-se pela maior altura das camadas, capacidade de impressão e menor sinérese, revelando grande potencial para aplicações em alimentos impressos em 3D. Com base nesse resultado, essa formulação foi adaptada, incorporando outros ingredientes para aproximá-la de um hambúrguer análogo de carne. Os testes de impressão 3D foram repetidos e a cor, a textura e o rendimento de cozimento foram comparados a um hambúrguer de origem animal. Os resultados são promissores, no entanto, mais estudos são necessários para explorar novos ingredientes e aperfeiçoar as formulações para a impressão 3D de alimentos.*

Introdução

O desenvolvimento de tecnologias de processamento de alimentos e a crescente demanda por soluções personalizadas e sustentáveis estão levando a indústria de alimentos a explorar novas metodologias para atender às necessidades dos consumidores (Isodeinovação, 2024). Nesse contexto, a técnica de impressão por extrusão 3D tem sido aplicada, oferecendo benefícios como a personalização para as necessidades individuais de consumidores como idosos, atletas e pacientes com disfagia (Lorenz *et al.*, 2022). Além disso, há a automação do processo de produção e o aumento da sustentabilidade por meio da redução do desperdício e do uso de embalagens, e uso de fontes alternativas de nutrientes (Yang *et al.*, 2015).

A impressão 3D por extrusão, também conhecida como fabricação aditiva, refere-se a um sistema em que uma seringa motorizada por cabeçotes extruda materiais alimentares em uma plataforma, e o objeto é construído camada por camada com base em um modelo digital pré-estabelecido (Ma e Zhang, 2022). Os materiais alimentícios usados neste processo são frequentemente chamados de "tintas" porque podem ser extrudados de uma maneira semelhante à tinta usada em métodos de impressão tradicionais (Godoi *et al.*, 2016). De acordo com Waseem *et al.* (2024), uma impressão 3D bem-sucedida requer a compreensão das propriedades físicas e químicas dos materiais e do próprio processo de impressão, o que inclui controlar as propriedades de fluxo dos materiais, testar diferentes tamanhos e formatos de bicos de seringa e analisar interações entre as camadas para garantir uma deposição precisa. O estudo de pós-processamento, incluindo tratamentos térmicos, pode ser necessário para avaliar a textura e os parâmetros sensoriais.

As aplicações da impressão 3D de alimentos por extrusão incluem tintas de hidrogel, como a combinação de dois hidrocolóides com concentrados de sabor (Cohen *et al.*, 2009) e tintas criadas a partir de plantas para impressão de filés de salmão à base de proteína vegetal (Tay *et al.*, 2023).

Tintas à base de proteínas vegetais, como as derivadas da soja e da ervilha, e hidrocolóides têm sido desenvolvidas com o objetivo de criar análogos de carnes que reproduzam as características sensoriais e de textura dos produtos de origem animal e contribui para uma redução no impacto ambiental (Kevany, 2019). Essa inovação responde à crescente demanda por alternativas sustentáveis e é consistente com as tendências de consumo responsável na indústria alimentícia.

O objetivo deste projeto foi estudar formulações de tintas com proteínas vegetais e hidrocolóides amplamente comercializados, como gomas xantana e guar, na impressão 3D de alimentos. Os resultados servirão como fonte de comparação para o projeto de pesquisa de doutorado

de Fernanda Sviech, supervisionado pelas professoras Dra. Ana Silvia Prata e Dra. Kaciane Andreola, da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), que estuda o isolamento de hidrocolóide da mucilagem de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller), com o propósito de produzir análogos de carne usando tecnologia de impressão 3D de alimentos. Além disso, a formulação que apresentou o melhor resultado foi adaptada para um análogo vegetal de carne.

Materiais e Métodos

As tintas foram elaboradas com os hidrocolóides gomas xantana (Ticaxan® Xanthan EC, Ingredion, Brasil) e goma guar (Pre-Hydrated® Guar Gum 8/24 Powder, Ingredion, Brasil), amido de milho modificado (S) (National® 465, SP, Ingredion, Brasil), isolado de proteína de Soja (P) (Supro® 500e, IFF, SP, Brasil), pó de beterraba 100 % Pura (Armazém Bezerra, Brasil), e água destilada conforme as formulações descritas na Tabela 1.

Para o preparo de 100 g de tinta, as gomas foram pesadas e solubilizadas em água destilada por aproximadamente 24 h, sendo que as amostras contendo 1,25 % de goma foram agitadas sem tampa em um agitador magnético, enquanto as amostras com 2,50 % de goma foram deixadas em repouso, com tampa, na geladeira. A agitação das amostras mais concentradas não foi realizada devido à alta consistência da mistura, que exigia um equipamento com maior capacidade de rotação. Após a completa dispersão, os demais ingredientes de cada formulação foram pesados e adicionados à mistura. A homogeneização foi feita manualmente, utilizando uma baqueta de vidro para garantir a mistura completa dos componentes. As amostras foram transferidas com o auxílio de uma espátula para seringas de 10 ml, que foram acopladas à impressora.

Tabela 1 – Composição das formulações contendo proteína isolada de soja, amido de milho, goma guar, goma xantana, pó de beterraba e água destilada.

Formulação	Proteína isolada de soja (%)	Amido de milho (%)	Goma guar (%)	Goma xantana (%)	Pó de beterraba (%)	Água destilada (%)
1,25G	17,40	4,95	1,25	-	1,00	75,40
1,25X	17,40	4,95	-	1,25	1,00	75,40
2,50G	17,40	4,95	2,50	-	1,00	74,15
2,50X	17,40	4,95	-	2,50	1,00	74,15

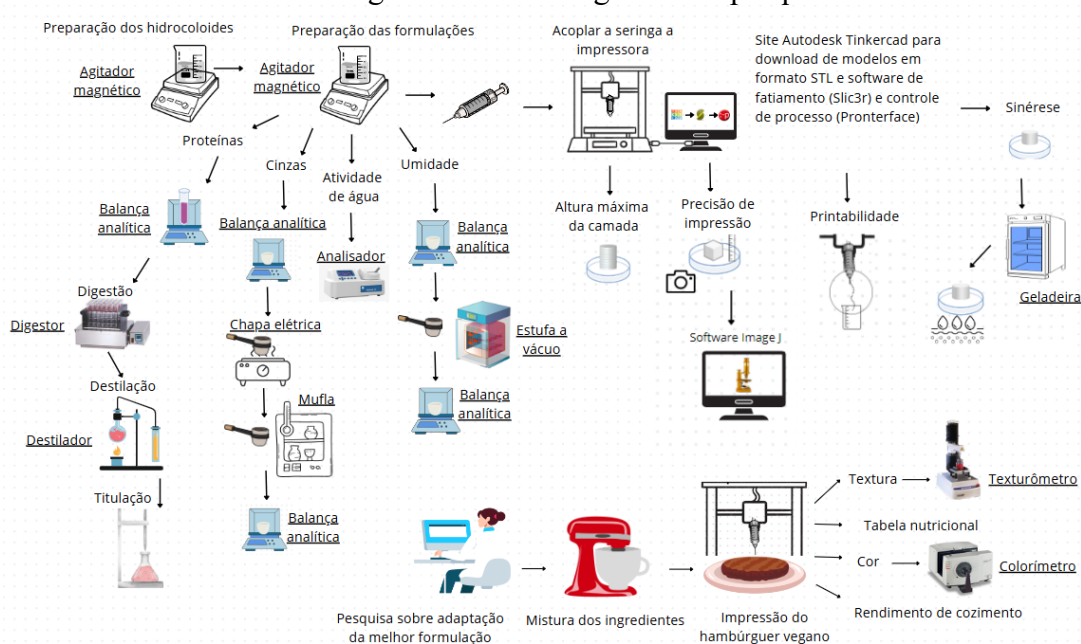
As impressões foram realizadas na impressora 3D acionada por pistão baseada em extrusão Genesis II - 3DBS (3D Biotechnology Solutions, Brasil) (Figura 1).

Figura 1 – Impressora 3D acionada por pistão Genesis II -3DBS



A Figura 2 apresenta o resumo gráfico da pesquisa, ilustrando as etapas e testes realizados ao longo do desenvolvimento do projeto.

Figura 2 – Resumo gráfico da pesquisa



A altura máxima da camada fornece informações sobre a resistência mecânica das tintas alimentícias, ou seja, auxilia na compreensão sobre a estabilidade das camadas empilhadas. A metodologia descrita por Arie e Nishikawa (2023) foi usada em triplicata, na qual um perímetro circular com diâmetro de 28 mm foi impresso, e então a altura máxima da camada foi registrada quando o objeto impresso tombou.

A precisão da impressão foi determinada em modelo de formato cuboide (15 mm com 13 camadas) com densidade de preenchimento de 70 % (Wang *et al.*, 2024). Os parâmetros, incluindo o diâmetro do bico da seringa (1,2 mm), velocidade de retração (1,5 mm/s) e velocidade de impressão (1,5 mm/s), foram determinados com base em testes preliminares (Sviech, 2021). O modelo impresso foi fotografado e as imagens analisadas no programa Image J (National Institute of Mental Health, EUA) para obtenção das dimensões. Análise realizada em triplicata. Assim, a precisão da impressão foi calculada pela Equação 1.

$$Precisão da impressão (\%) = \frac{\left(\frac{(1-(h_1-h_2))}{h_2} + \frac{(1-(h_3-h_2))}{h_2} + \frac{(1-(l_1-l_2))}{h_2}\right) * 100}{3} \quad (1)$$

Em que:

h_1 : altura da borda das amostras impressas (mm);

h_2 : altura do modelo (mm);

h_3 : altura central das amostras impressas (mm);

l_1 : comprimento inferior das amostras impressas (mm);

l_2 : comprimento inferior do modelo (mm).

A capacidade de impressão é crucial para garantir a qualidade e a eficiência da impressão, permitindo a produção de objetos com precisão e sem interrupções no processo. Para essa análise, seguiu-se a metodologia descrita por Shi *et al.* (2023) em triplicata, na qual seringas de 10 ml, com bico de diâmetro de 1,2 mm, foram preenchidas e acopladas a impressora, que operou sob condições de velocidade de 15 mm/s. Além de analisar o filamento, foram impressas estrelas usando parâmetros previamente estabelecidos, com o objetivo de avaliar também a capacidade de impressão de figuras. A classificação utilizada neste ensaio foi: Obstruídas: formulações que obstruíram o bocal; Fluidez excessiva: formulações que demonstraram fluxo espontâneo; Imprimíveis: formulações que produziram um filamento regular e contínuo.

Sinérese é o processo pelo qual um gel libera um líquido, frequentemente observado em géis alimentícios (Damodaran *et al.*, 2007). Característica indesejável em géis de amido que são refrigerados. Esta análise foi baseada em Alvarez *et al.* (2024) em triplicata, na qual um cilindro com 2 cm de diâmetro e 1 cm de altura foi impresso. Após a impressão, as amostras foram pesadas e posteriormente armazenadas por 12 h a 5 °C e pesadas novamente. O grau de sinérese pode ser determinado pela diferença da massa perdida durante o armazenamento.

A umidade foi determinada pela metodologia de perda por dessecação utilizando secagem estufa a vácuo (Instituto Adolfo Lutz, 2008), em triplicata. 3 g de amostra foram aquecidos por 24 h em estufa a vácuo (TE-395, Tecnal, Brasil) a 70 °C, sob pressão reduzida de 100 mmHg. O teor de umidade foi calculado pela Equação 2, em que n representa a perda de massa (g), e p representa a massa da amostra (g).

$$Umidade (\%) = \frac{100*n}{p} \quad (2)$$

A atividade de água (a_w) indica a disponibilidade da água para processos biológicos e químicos (Food Safety Brasil, 2016). Foi determinada em triplicata utilizando um analisador de atividade de água (Aqualab® 4TE, Meter, Brasil), que expressa uma razão entre a pressão de vapor da água no alimento e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura, neste caso de 22 °C. A escala varia de 0 (nenhuma água disponível) a 1 (água totalmente disponível) e é essencial para a preservação e qualidade do produto ao longo do tempo.

A determinação de cinzas quantifica o conteúdo total de minerais presentes em uma amostra após a combustão completa da matéria orgânica, que inclui elementos como cálcio, fósforo, ferro, sódio, potássio e magnésio. Determinada conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), em triplicata, 4 g de amostra foram carbonizadas em chapa elétrica e posteriormente, incineradas na mufla (Q.318.24, Quimis, Brasil) a 550 °C, até a eliminação completa do carvão. Foram calculadas pela Equação 3, em que c representa a massa de cinzas (g), e p representa a massa da amostra (g).

$$Cinzas (\%) = \frac{100*c}{p} \quad (3)$$

A determinação de proteínas é essencial para avaliar seu valor nutricional, já que são macromoléculas biológicas essenciais compostas de aminoácidos, desempenhando papéis nas estruturas celulares e teciduais e no funcionamento do corpo humano. O método de Kjeldahl (Instituto Adolfo Lutz, 2008) foi adaptado neste ensaio. Iniciou-se pesando em tubos de ensaio 0,5 g de amostra, e então foi adicionado 1,5 ml de sulfato de cobre como catalisador para acelerar a oxidação da matéria orgânica. Assim, realizou-se a decomposição da matéria orgânica por meio da digestão da amostra a 400°C com ácido sulfúrico concentrado. Por fim, através de uma destilação por arraste a vapor, seguida de titulação com ácido clorídrico diluído, o nitrogênio presente na solução ácida foi determinado. A Equação 4 apresenta o cálculo necessário para essa análise.

$$Proteínas (\%) = \frac{fca*(V1-V2)*14*0,02*fc_p}{10*p} \quad (4)$$

Em que:

V_1 : volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra (ml);

V_2 : volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação do branco (ml);

fca : fator de correção do ácido clorídrico;

fc_p : fator de correção da proteína de soja (5,71);

p : massa da amostra (g).

Após determinar a formulação de tinta alimentícia com proteína isolada de soja e hidrocolóide comercial de melhor desempenho, foi escolhido um hambúrguer vegano de mercado como referência para o ajuste de formulação de uma nova tinta. A nova formulação de 250 g foi composta por 1,0 %

de goma guar, 0,20 % de metilcelulose (2304A, Denver®, Brasil), 12,96 % de proteína de ervilha (Pisane® C9 3120240, Blumos, Brasil), 6,96 % de proteína isolada de soja, 1,98 % de amido de milho modificado (S), 9,60 % de óleo de coco extra virgem (Copra®, Brasil), 9,20 % de óleo de girassol (Liza®, Brasil), 1,0 % de cacau em pó (Genuine®, Brasil), 0,40 % de clorofila em pó (Chlorella®, Ocean Drop, Brasil), 0,40 % de beterraba 100 % pura em pó (Armazém Bezerra, Brasil), 0,24 % de glutamato monossódico (Ajinomoto®, Brasil), 0,96 % de sal (Cisne®, Brasil), 0,80 % de levedura nutricional, 1,60 % de farinha de chia, 1,74 % de cebola em pó, 0,40 % de alho em pó adquirido da Casa do Norte Sabor do Brasil, 0,40 % de aroma de carne 20533784 SD (Vogler®, Kerry, Brasil) e água destilada até 100 %. Estabeleceu-se que 50 % da nova formulação fosse composta pela tinta que apresentou melhores resultados previamente, enquanto os outros 50 % seriam semelhantes aos ingredientes presentes na composição do hambúrguer vegano de mercado.

Testes de capacidade de impressão, desempenho de impressão, altura máxima da camada e sinérese foram realizados com essa nova formulação. Esses testes garantiram que essa tinta fosse imprimível e atendesse aos padrões de qualidade desejados.

A nova tinta alimentícia foi caracterizada após pós-processamento, ou seja, após cocção em em uma frigideira de 22 cm de diâmetro por 3 min a aproximadamente 170 °C. A textura, a cor e o rendimento foram medidos nos lados semelhantes e menos queimados. Esses parâmetros foram comparados aos de um hambúrguer de origem animal que foi triturado e utilizado como uma tinta para impressão 3D.

A análise do perfil de textura (TPA) foi conduzida a 20 °C com um analisador de textura TA-XT2i (Stable Micro Systems, Inglaterra), segundo Libório *et al.* (2019). Foram utilizadas três amostras com dimensões de 3,5 cm de largura, 4,5 cm de comprimento e 7,5 cm de altura, mantendo uma espessura equivalente à de um hambúrguer de origem animal. A largura foi limitada pela capacidade da impressora 3D enquanto o comprimento seguiu a sonda do analisador de textura, resultando em um formato oval. As amostras foram submetidas a dois ciclos de compressão, atingindo 40 % de sua altura, com uma sonda de 3,5 cm (P36/R) e velocidade de 5 mm/s. Os parâmetros avaliados foram dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência. A cor foi avaliada em triplicata conforme descrito por Libório *et al.* (2019), utilizando um espectrofotômetro HunterLab (ColorQuest XE, EUA).

Os rendimentos dos hambúrgueres foram obtidos medindo o peso em triplicata das amostras antes e depois do cozimento em frigideira, (Equação 5), conforme descrito em Piñero *et al.* (2008).

$$RC (\%) = \left(\frac{PACo}{PACr} \right) * 100 \quad (5)$$

Em que:

RC: rendimento de cozimento;

PACo: peso da amostra grelhada;













PACr: peso da amostra crua.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey para mais de duas formulações. Para comparações entre duas formulações, foi utilizado o teste T de Student. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa Minitab® versão 16.2.3.

Resultados e Discussão

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que uma maior concentração de hidrocolóide não garantiu um maior número de camadas impressas. As formulações com goma guar apresentaram o melhor desempenho. Todas as formulações reproduziram com precisão as dimensões e detalhes do formato cuboide pré-estabelecido, sendo as de 1,25G, 1,25X e 2,50G com maior acurácia. A formulação 1,25G apresentou a menor perda de massa em um período de 12 h, um desempenho superior em comparação às outras formulações. Isso indica uma maior estabilidade do produto, mantendo a consistência desejada por um período mais prolongado, o que é importante para garantir a qualidade dos produtos formulados.

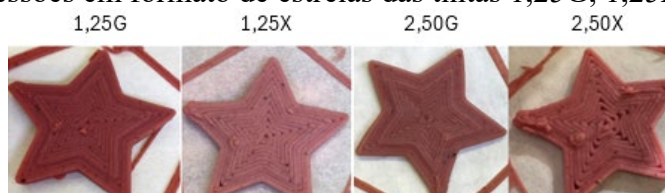
Tabela 2 – Altura máxima da camada, precisão de impressão e sinérese para tintas alimentícias de 1,25G, 1,25X, 2,50G e 2,50X

Formulação	1,25G	1,25X	2,50G	2,50X	HSD Tukey
Altura máxima da camada (mm)	68±4 ^a 	54±6 ^b 	64±3 ^a 	52±2 ^b 	10
Precisão (%)	98,0±0,4 ^{a b} 	99,2±0,6 ^a 	98±1 ^{a b} 	96±1 ^b 	1
Massa Perdida em 12h (g)	0,138±0,009 ^b 	0,17±0,01 ^a 	0,19±0,01 ^a 	0,192±0,005 ^a 	0.04

* Médias com a mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente ($p>0,05$)

Todas as formulações foram consideradas adequadas para impressão. Isso indica que elas apresentaram um fluxo constante e controlado de material durante a impressão. Além disso, os resultados quanto à impressão no modelo estrela (Figura 3) foram melhores nas formulações contendo goma guar, que apresentaram desenhos mais cheios e estáveis.

Figura 3 – Impressões em formato de estrelas das tintas 1,25G, 1,25X, 2,50G e 2,50X



Os resultados de umidade (Tabela 3) indicam que as formulações com 2,50 % de goma ficaram próximas do valor esperado de 74,15 %. Por outro lado, as formulações com 1,25 % de goma apresentaram resultados mais distantes do valor esperado, que seria de 74,40 %. A diferença pode ser atribuída ao fato de terem sido preparadas de formas diferentes. Não houve diferença significativa na atividade de água entre as formulações. As tintas com goma xantana apresentaram maiores teores de cinzas, o que pode estar relacionado à sua composição química e ao seu processo de purificação (Phillips e Williams, 2009). Os teores de proteína nas formulações foram menores que 17,40 %. Isso pode ser atribuído à distribuição não homogênea dos ingredientes e à pureza da proteína, que é em torno de 90 %.

Tabela 3 – Teores de umidade, cinzas, proteínas e atividade de água (*aw*) das tintas alimentícias 1,25G, 1,25X, 2,50G, 2,50X

Formulação	Umidade (%)	<i>aw</i>	Cinzas (%)	Proteínas (%)
1,25G	70,9±0,2 ^d	0,995±0,001 ^a	0,86±0,01 ^b	15,04±0,08 ^a
1,25X	72,65±0,09 ^c	0,991±0,003 ^a	0,91±0,00 ^a	14,53±0,04 ^a
2,50G	74,66±0,06 ^a	0,994±0,002 ^a	0,74±0,01 ^c	12,4±0,2 ^c
2,50X	74,3±0,2 ^b	0,992±0,001 ^a	0,93±0,02 ^a	13,2±0,3 ^b
HSD	0,41	-	0,05	0,9
Tukey				

* Médias com a mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente ($p>0,05$)

Devido à indisponibilidade de um reômetro adequado para caracterizar as propriedades reológicas das amostras, os ensaios inicialmente propostos no projeto não puderam ser realizados.

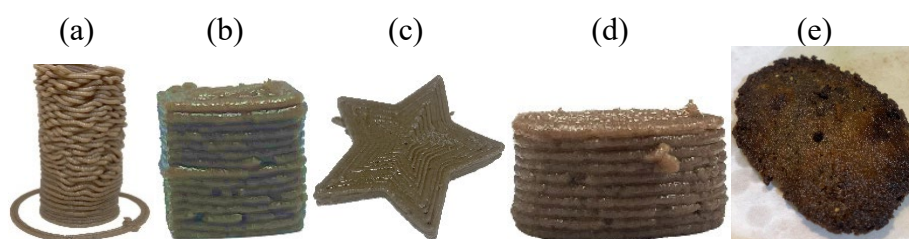
Enquanto no ensaio de altura máxima não diferiu entre 1,25G e hambúrguer vegano, a tinta 1,25G apresentou menor sinérese, indicando maior estabilidade ao longo do tempo, enquanto o hambúrguer vegano foi mais preciso, sugerindo maior consistência. Para otimizar as formulações, seria importante que produzisse um filamento mais regular e contínuo, melhorando assim sua estabilidade e qualidade (Tabela 4). A Figura 4 mostra os resultados de altura máxima da camada, desempenho de impressão, capacidade de impressão e testes de sinérese para tinta de hambúrguer vegano e a formulação de hambúrguer vegano após impressão e cocção.

Tabela 4 – Comparação da altura máxima da camada, capacidade de impressão, desempenho de impressão e testes de sinérese das formulações 1,25G e de hambúrguer vegano.

Formulação	Altura máxima da camada (mm)	Precisão (%)	Sinérese (g)
1,25G	68 ± 4 ^a	98,0 ± 0,4 ^b	0,138 ± 0,009 ^b
Hamburguer vegano	67 ± 1 ^a	99,5 ± 0,3 ^a	0,17 ± 0,02 ^a

* Médias com a mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente ($p>0,05$)

Figura 4 – Altura máxima da camada (a), desempenho de impressão (b), capacidade de impressão (c), sinérese (d) e após cocção (e) da tinta hambúrguer vegano.



A Tabela 5 apresenta a tabela de informação nutricional do hambúrguer vegano, considerando dados do site Vitat (2024) e informações dos fornecedores. De acordo com a RDC 429/2020 e IN 75/2020 (ANVISA, 2020a, 2020b), a formulação da tinta do hambúrguer vegano não contém açúcares adicionados e contém sódio dentro dos limites para não obrigatoriedade de rótulo nutricional frontal (FOP) (184 mg/100 g, menor que 600 mg/ 100g). No entanto, as gorduras saturadas totalizam 9,1/ 100 g, ultrapassando o limite de 6 g de gordura saturada/100 g. Portanto, é necessária a inclusão da rotulagem FOP indicando "ALTO EM GORDURA SATURADA". Para correta apresentação da tabela de informação nutricional, é necessário realizar os cálculos para o produto após a cocção, considerando a perda de massa de água.

Tabela 5 – Tabela de informação nutricional da tinta alimentar para hambúrguer vegano antes do cozimento, conforme RDC 429/2020 e IN 75/2020 (ANVISA, 2020a, 2020b)

INFORMAÇÕES NUTRICIONAIS			
Porções por embalagem: 1			
Porção: 80 g (1 unidade)			
	100g	80 g	%VD*
Valor energético (kcal)	256	205	10
Carboidratos (g)	4.9	3.9	1
Açúcares totais (g)	0.18	0.15	
Açúcares adicionados (g)	0	0	0
Proteínas (g)	19	15	31
Gorduras totais (g)	18	14	22
Gorduras saturadas (g)	9.1	7.3	37
Gorduras trans (g)	0	0	0
Fibras Alimentares (g)	2.8	2.3	9
Sódio (mg)	184	147	7

*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.

Os parâmetros de textura nos hambúrgueres veganos e de origem animal foram significativamente diferentes, exceto em dureza e elasticidade. Essas informações são essenciais para o desenvolvimento e otimização de produtos alimentícios, permitindo ajustes direcionados na formulação para atingir as características desejadas. O desvio padrão foi alto para dureza, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade, o que indica a necessidade de um número maior de ensaios para garantir a confiabilidade dos resultados, considerando a possibilidade de erros experimentais que podem comprometer a precisão dos dados obtidos.

Além disso, os resultados mostram que o hambúrguer de carne apresenta maiores valores de a^* , b^* , L^* indicando uma tonalidade mais avermelhada, amarelada e clara, enquanto o hambúrguer vegano é mais escuro e menos saturado. Em termos de rendimento de cozimento, o hambúrguer vegano retém mais água (85 %) em comparação ao hambúrguer de origem animal (77,4 %), o que pode favorecer sua textura e suculência após o preparo (Tabela 6).

Tabela 6 – Textura, cor e rendimento de cozimento para a formulação de hambúrguer vegano e o hambúrguer de carne

	Hambúrguer vegano	Hambúrguer de carne
Dureza	36 ± 17 ^a	71 ± 11 ^a
Elasticidade	0,7 ± 0,2 ^a	1,03 ± 0,05 ^a
Coesividade	0,36 ± 0,08 ^a	0,801 ± 0,007 ^b
Gomosidade	14 ± 8 ^a	57 ± 9 ^b
Mastigabilidade	9 ± 6 ^a	69 ± 15 ^b
Resiliência	0,18 ± 0,06 ^a	0,35 ± 0,03 ^b
Cor		
a^*	2,20 ± 0,02 ^a	5,5 ± 0,4 ^b
b^*	2,1 ± 0,3 ^a	9,1 ± 0,2 ^b
L^*	37 ± 2 ^a	46 ± 1 ^b
Rendimento de cozimento (%)	85 ± 2 ^a	77,4 ± 0,3 ^b

* Médias com a mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente (p>0,05)

Alguns resultados foram comparados com os apresentados por Bhuiyan *et al.* (2024), nos quais a adição de hidrocolóides nas tintas melhorou a precisão de impressão, aumentando a precisão da amostra controle de 81,97 % para 97,27 %, semelhantes aos obtidos neste estudo que foram superiores a 96 %. Em relação às características de cor, a diferença no tom de amarelo (b^*) foi

perceptível, como também mostrado nesta pesquisa, atribuído à cor dos corantes naturais adicionados. No entanto, discrepâncias foram encontradas no ensaio de perda por cozimento que para Dick et al (2019) foi de 11,5 % a 25 % em carne bovina impressa em 3D e 5,69 % na formulação com goma guar, enquanto neste estudo a carne bovina apresentou perda de 15 % e o hambúrguer vegano com goma guar de 22,6 %. No geral, as características e parâmetros estudados relacionados à impressão 3D de análogos de carne foram substancialmente influenciados pela adição de hidrocolóides.

Conclusões

Este projeto demonstrou o potencial de formulações de tintas alimentícias à base de proteína de soja, hidrocolóides, amido de milho e água para impressão 3D de alimentos, destacando a viabilidade e aplicabilidade desta tecnologia emergente. Os resultados destacaram a formulação de tinta alimentícia 1,25G como a mais promissora, pois apresentou resultados superiores em altura máxima de camada, capacidade de impressão e sinérese, indicando figuras mais cheias e estáveis. Esta pesquisa forneceu informações essenciais para o estudo da mucilagem de ora-pro-nóbis que está sendo desenvolvida pela doutoranda Fernanda Sviech. A adaptação desta formulação para produzir um hambúrguer vegano resultou em um produto com características de textura satisfatórias, embora apresente diferenças em relação ao hambúrguer de origem animal. No entanto, há necessidade de estudos adicionais para otimizar as formulações e explorar novos ingredientes que possam melhorar a estabilidade e textura dos produtos impressos em 3D.

Referências

- Alvarez, R., Murphy, C., Coleman-Vaughan, C., O'Shea, N., 2024. Temperature-controlled 3D printing of dairy structures using cold-renneted protein-fortified milk. *Journal of Food Engineering*, 369, 111892.
- Arii, Y., Nishizawa, K., 2023. Tofu is a promising candidate for the development of an edible 3D printing ink. *Journal of Food Engineering*, 337, 111249.
- Bhuiyan, H., Yeasmen, N., Ngadi, M., 2024. Effect of food hydrocolloids on 3D meat-analog printing and deep-fat-frying. *Food Hydrocolloids*, 159, 110716.
- Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), 2020a. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 429, de 08 de outubro de 2020, dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 de out. 2020.
- Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), 2020b. Resolução da Diretoria Colegiada – IN nº 75, de 08 de outubro de 2020, estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 de out. 2020.
- Cohen, D., Lipton, J., Cutler, M., Coulter, D., Vesco, A., Lipson, H., 2009. Hydrocolloid printing: A novel platform for customized food production. Disponível em: <<https://utw10945.utweb.utexas.edu/Manuscripts/2009/2009-71-Cohen.pdf>> [Acesso em 5 de julho de 2024].
- Damodaran, S., Parkin, K. L., Fennema, O. R., 2007. Fennema's Food Chemistry. 4th ed. Boca Raton: CRC Press.
- Dick, A., Bhandari, B., Prakash, S. 2019, Post-processing feasibility of composite-layer 3D printed beef. *Meat Science*, 153, 9–18,
- Food Safety Brazil, 2016. Difference between Water Activity (aw) and Moisture Content in Foods. Disponível em: <<https://foodsafetybrazil.org/diferenca-entre-atividade-de-agua-aw-e-o-teor-de-umidade-nos-alimentos/>> [Acesso em 30 de agosto de 2024].

- Godoi, F. C., Prakash, S., Bhandari, B. R., 2016. 3D printing technologies applied for food design: status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54.
- Isodeinovação. Inovação em alimentos: quais as maiores tendências? [online] Disponível em: <<https://isodeinovacao.com.br/2024/01/16/inovacao-em-alimentos/>> [Acesso em 30 de agosto de 2024].
- Instituto Adolfo Lutz, 2008. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. (1ª edição digital).
- Kevany, K. M., 2019. Plant-Based Diets for Succulence and Sustainability. Routledge.
- Libório, P., Claudino, E., Barros, B., Souza, T., Ferreira, V., Silva, F., 2019. Caracterização físico-química e sensorial de hambúrguer elaborado com carne de galinha poedeira. *Revista Científica de Produção Animal*, 20, 53-58.
- Lorenz, T., Iskandar, M., Baeghali, V., Ngadi, M., Kubow, S., 2022. 3D food printing applications related to dysphagia: A narrative review. *Foods*, 11, 1789.
- Ma, Y., Zhang, L., 2022. Formulated food inks for extrusion-based 3D printing of personalized foods: a mini review. *Current Opinion in Food Science*, 44, 100803.
- Piñero, D., Parra, K., Huerta-Leidenz, N., Arenas de Moreno, L., Ferrer, M., Araújo, S., Barboza, Y., 2008. Effect of oat's soluble fibre (β -glucan) as a fat replacer on physical, chemical, microbiological and sensory properties of low-fat beef patties. *Meat Science*, 80, 675-680.
- Phillips, G. O., Williams, P. A., 2009. Handbook of hydrocolloids. Boca Raton: CRC Press; Cambridge.
- Shi, H., Li, J., Xu, E., Yang, H., Liu, D., Yin, J., 2023. Microscale 3D printing of fish analogues using soy protein food ink. *Journal of Food Engineering*, 347, 111436.
- Sviech, F., 2021. Estudo do potencial da mucilagem Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller) como ingrediente na impressão 3D de alimentos. Habilitação (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- Tay, J., Zhou, C., Lee, H., Lu, Y., Huang, D., 2023. 3D printing of salmon fillet mimic: Imparting printability via high-pressure homogenization and post-printing texturization via transglutaminase. *Food Hydrocolloids*, 140, 108564.
- Vitat. Você de bem com você. Disponível em: <<https://vitat.com.br/>> [Acesso em 07 de novembro de 2024].
- Wang, M., Bao, Y., Li, D., Bian, Y., Si, X., Gao, N., Cheng, Z., Gui, H., Dong, W., Jiang, H., Li, B., 2024. Scientometrics and visualized analysis of 3D food printing: A boost to future food customized development. *Food Bioscience*, 103844.
- Waseem, M., Tahir, A., Majeed, Y., 2004. Printing the future of food: The physics perspective on 3D food printing. *Food Physics*, 1, 100003.
- Yang, F., Zhang, M., Bhandari, B., 2015. Recent development in 3D food printing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 3145-3153.