

Desenvolvimento de extrato de sementes de urucum com NADES para aprimoramento de alimentos impressos em 3D destinados a pacientes com disfagia

Sara Kierulff Balabram, Larissa Tessaro, Maria Eduarda A. Astolfo, Stanislau Bogusz Junior e Bianca Chieregato Maniglia

Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Química de São Carlos (IQSC)

sarakbalabram@usp.br

Objetivos

A disfagia, caracterizada pela dificuldade de mastigar e engolir, é comum em idosos e pessoas com distúrbios neurológicos, podendo levar a deficiências nutricionais devido ao consumo de alimentos pastosos e pouco atrativos [1]. A impressão 3D surge como uma alternativa promissora ao possibilitar a produção de alimentos visualmente mais agradáveis e com texturas personalizadas [2]. Biopolímeros como gelatina e amido são frequentemente empregados como “tintas” alimentares pela sua capacidade de formar géis, mas muitas vezes apresentam baixo valor nutricional [3]. Nesse contexto, compostos bioativos extraídos de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.), conhecidos por suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, podem agregar funcionalidade às formulações. Tradicionalmente, a extração desses compostos envolve solventes tóxicos, inadequados para aplicação em alimentos. Assim, este estudo propõe o uso de solventes eutéticos naturais profundos (NADES), para a extração sustentável de bioativos e seus efeitos sobre a formulação de hidrogéis de gelatina e amido, para promover melhorias nos parâmetros reológicos, na imprimibilidade e na funcionalidade nutricional de alimentos impressos em 3D para disfágicos.

Métodos e Procedimentos

O solvente eutético natural profundo (NADES) foi preparado a partir da mistura de cloreto de colina e ácido láctico (1:1, m/m, CC:LA), acrescido de 20% de água, sendo homogeneizado em ultrassom a 50 °C por 45 min. Como controle, utilizou-se solução etanólica 60%. Ambos os solventes foram caracterizados quanto a pH, densidade, viscosidade (20–50 °C, reômetro) e polaridade (método solvatocrômico com *Nile Red*). Os extratos de urucum foram obtidos por extração assistida por ultrassom (1 g semente : 15 mL solvente, 50 °C, 45 min) em NADES (NE) e em etanol (EE), sendo posteriormente filtrados. Esses extratos foram analisados quanto ao pH, viscosidade, teor de bixina (HPLC), carotenoides totais e norbixina (UV-Vis), além da capacidade antioxidante pelos métodos ABTS e FRAP. Hidrogéis foram produzidos a partir de 10% de gelatina ou de amido de batata, com ou sem adição de 25% de CC:LA ou NE. As formulações foram moldadas e armazenadas a 4 °C por 24 h. A firmeza e a adesividade foram determinadas em texturômetro (sonda 5 mm, velocidade 1 mm/s), enquanto o comportamento reológico foi avaliado em reômetro de estresse controlado (cone-plano, 2°, 40 mm, gap 55 µm). As diferentes formulações foram utilizadas para impressão 3D de gomas em formatos de cubos, estrelas e ursinhos, utilizando impressora 3D de extrusão (BioEdPrinter v4-4, Brasil), e a imprimibilidade foi avaliada por análise de imagens digitais (ImageJ). Além

disso, as gomas foram caracterizadas quanto à cor, textura e adequação ao consumo por pessoas com disfagia, utilizando o teste de pressão com garfo segundo os parâmetros IDDSI e a Análise do Perfil de Textura (TPA).

Resultados

A Figura 1 apresenta as propriedades dos extratos, dos hidrogéis e das gomas impressas.

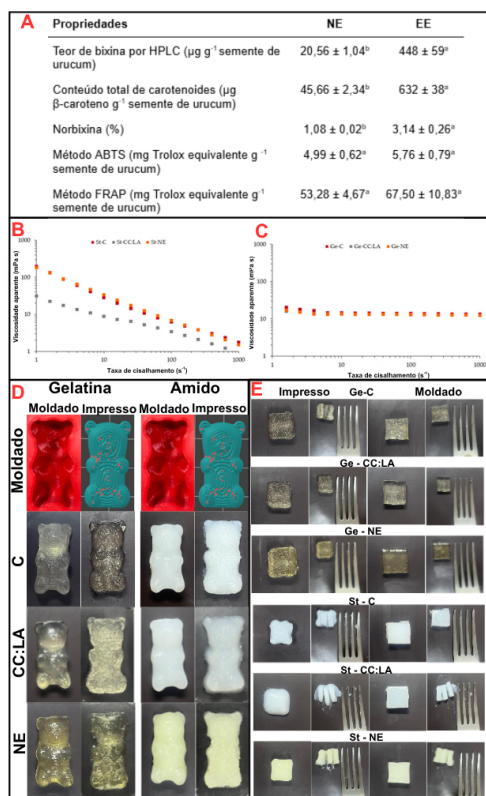


Figura 1: Caracterização dos extratos de urucum obtidos com NADES (NE) ou etanol (EE) (A); Propriedades reológicas de hidrogéis à base de gelatina (B) e à base de amido (C); (D) Gomas em formato de urso, impressas em 3D e moldadas; (E) Teste do garfo IDDSI em gomas.

O NADES apresentou pH ácido, alta polaridade e viscosidade dependente da temperatura, favorecendo a extração de compostos hidrofílicos. O extrato obtido em NADES (NE) mostrou menor teor de bixina e carotenoides que o extrato etanólico (EE), mas atividade antioxidante semelhante, provavelmente pela presença de outros metabólitos. A cor do NE

foi mais clara e alaranjada. Hidrogéis de gelatina com NE ou CC:LA exibiram maior firmeza e adesividade, enquanto os de amido ficaram mais flexíveis, característica positiva para disfagia. As formulações de gelatina atuaram como fluidos Newtonianos e as de amido como pseudoplásticas, com NE melhorando a recuperação estrutural. O hidrogel de amido com extrato apresentou melhor desempenho reológico e de imprimibilidade. As gomas impressas em 3D apresentaram boa definição de formas e tiveram textura mais adequada que as moldadas, com menor dureza e adesividade, sobretudo no amido adicionado com o extrato. No teste de garfo, em geral, as gomas de amido e gelatina impressas atenderam aos critérios do nível 5 IDDSI, destacando o potencial de unir NADES e impressão 3D no desenvolvimento de alimentos funcionais e seguros.

Conclusões

Conclui-se que os compostos de urucum extraídos com NADES impactaram positivamente as propriedades reológicas e mecânicas dos hidrogéis de gelatina e amido, aumentando sua adequação tanto para impressão 3D quanto para aplicações voltadas à disfagia. As formulações apresentaram melhorias em textura, imprimibilidade e retenção de bioativos, evidenciando uma estratégia promissora para o desenvolvimento de alimentos impressos, funcionais e seguros.

Agradecimentos

Agradecemos a FAPESP (2020/08727-0 e 2024/04586-4) pelo suporte financeiro. Agradecemos também ao Laboratório de Biopolímeros e Fotoquímica.

Referências

- [1] Giura, L.; Urtasun, L.; Belarra, A.; Ansorena, D.; Astiasarán, I. *Foods*, 10(6), 1334 (2021).
- [2] Xing, X.; Chitrakar, B.; Hati, S.; Xie, S.; Li, H.; Li, C.; Liu, Z.; Mo, H. *Food Hydrocoll*, 123, 107173, 894 (2022).
- [3] Xing, X.; Chitrakar, B.; Hati, S.; Xie, S.; Li, H.; Li, C.; Liu, Z.; Mo, H. *Food Hydrocoll*, 123, 107173, 894 (2022).