



PROTÓCOLOS DE MODIFICAÇÃO DO AMIDO DE ARARUTA (*Maranta arundinacea* L.) COM BAIXA TOXICIDADE: OZONIZAÇÃO COM AR ATMOSFÉRICO, RECOZIMENTO SOB UMIDADE CONTROLADA E DESPOLIMERIZAÇÃO ÁCIDA PARA APLICAÇÕES ALIMENTÍCIAS

Warley Alisson SOUZA^{1*}; Izabel Cristina dos SANTOS²; Renata Adriana LABANCA¹; Vinícius Tadeu da Veiga CORREIA²; Cleverson Fernando GARCIA³; Marinalva Woods PEDROSA⁴; Julio Onesio-Ferreira MELO⁵; Raquel Linhares Bello de ARAÚJO¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Faculdade de Farmácia, Departamento de Alimentos e Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Belo Horizonte, MG, Brasil.

²Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Campo Experimental Risoleta Neves, São João del-Rei, MG, Brasil.

³Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Campus Belo Horizonte, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁴Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Campo Experimental Santa Rita, Prudente de Moraes, MG, Brasil.

⁵Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Campus Sete Lagoas, Sete Lagoas, MG, Brasil.

*E-mail para correspondência: warleyalisson@gmail.com

RESUMO: A diversificação de fontes regionais de amido a partir de plantas alimentícias não convencionais (PANC) é estratégica para a inovação em alimentos sem glúten e para o fortalecimento de sistemas alimentares mais sustentáveis. A araruta (*Maranta arundinacea* L.) é uma PANC cujo amido apresenta potencial tecnológico relevante, especialmente em matrizes panificáveis e formulações à base dessa matéria-prima; entretanto, seu desempenho funcional pode ser limitado, exigindo modificações capazes de ampliar sua aplicabilidade. Este trabalho estabeleceu, em escala laboratorial e sob condições mutuamente comparáveis, três protocolos voltados à obtenção de amidos modificados de araruta: (A-2) oxidação por ozônio, com geração *in situ* a partir de ar atmosférico, como alternativa de baixo custo e elevada transferibilidade para laboratórios com infraestrutura limitada; (A-3) recozimento sob umidade controlada (*heat-moisture treatment*, HMT); e (A-4) despolimerização por ácido clorídrico (HCl) diluído. As três rotas partiram de massa uniforme (30 g) e foram avaliadas por composição aparente de amilose/amilopectina, espectroscopia FTIR-ATR e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Em todas as amostras, a identidade química do polímero foi conservada, enquanto as micrografias de MEV evidenciaram assinaturas morfológicas específicas para cada tratamento, reforçando a relação entre protocolo, estrutura granular e possibilidade de aplicação tecnológica. Os protocolos descritos são reproduzíveis, seguros e aderentes às tendências de *clean label*, valorizando a araruta como matéria-prima regional para inovação em produtos sem glúten, diversificação de ingredientes e fortalecimento da agrobiodiversidade brasileira.

Palavras-chave: amido modificado; panificação; PANC; ozônio; *clean label*.

INTRODUÇÃO

A panificação contemporânea e a indústria de alimentos à base de amido demandam ingredientes que conjuguem desempenho funcional ajustado, baixo impacto ambiental e compatibilidade com tendências de *clean label* (Castanha et al., 2020). Nesse cenário, ganha relevância a diversificação de fontes amiláceas regionais e a valorização de plantas alimentícias não convencionais (PANC) como insumos estratégicos para sistemas alimentares mais sustentáveis, alinhados à segurança alimentar e à conservação da agrobiodiversidade brasileira (Brito et al., 2021).

A araruta (*Maranta arundinacea* L.) fornece amido naturalmente isento de glúten, com pasta transparente e baixa retrogradação, atributos atrativos para formulações especiais, recheios, massas e



outros alimentos estruturados por amido (Brito et al., 2021; Astuti et al., 2018). O amido nativo, contudo, apresenta limitações sob processamento intenso, motivando a aplicação de rotas de modificação capazes de ajustar viscosidade, retenção de fluidos e estabilidade térmica. Entre essas abordagens, destacam-se a oxidação com ozônio gasoso, o recozimento sob umidade controlada (*heat-moisture treatment*, HMT) e a despolimerização por ácido diluído, por serem estratégias de menor impacto e compatíveis com processos tecnologicamente mais limpos (Chan; Bhat; Karim, 2009; Pepe et al., 2016; Wang; Copeland, 2015). A literatura, porém, apresenta dispersão metodológica acentuada e raramente compara essas rotas em paralelo sobre o amido de araruta, dificultando sua tradução para aplicações tecnológicas específicas.

Este trabalho teve como objetivo estabelecer e descrever, em escala laboratorial e sob condições comparáveis, três protocolos de modificação do amido de araruta voltados à obtenção de ingredientes com potencial uso em matrizes panificáveis e alimentos à base de amido. Adicionalmente, incorporou-se uma adaptação de baixo custo no sistema de ozonização, baseada na geração *in situ* de ozônio a partir de ar atmosférico. Os efeitos das rotas foram verificados por FTIR-ATR, composição aparente de amilose/amilopectina e MEV, buscando avaliar a preservação da identidade do polímero e a assinatura morfológica específica gerada por cada tratamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

Rizomas de araruta foram obtidos no banco de germoplasma da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). O amido nativo foi extraído por via úmida (lavagem, trituração, peneiramento, decantação, secagem a 50 °C e padronização em malha 30 mesh), sendo subdividido em alíquotas codificadas como A-1 (nativo), A-2 (ozonizado), A-3 (HMT) e A-4 (ácido). Todas as rotas partiram de 30 g de amido.

Ozonização com ar atmosférico (A-2)

A reação foi conduzida em fase sólida, em câmara construída com kitasato (~2 L) acoplada a gerador de ozônio por descarga de corona (Ozonegenerator® XR-ZJ-1GT). Como adaptação central, o sistema foi alimentado por compressor elétrico com captação de ar atmosférico, dispensando cilindros de oxigênio puro e favorecendo maior viabilidade operacional em laboratórios com infraestrutura limitada. O leito de amido (10% UR) foi exposto a fluxo contínuo de O₃ (1,0 L·min⁻¹; 40 ± 5 mg·L⁻¹) por 60 min a 25 ± 2 °C, com revolvimento manual a cada 15 min (Chan; Bhat; Karim, 2009; Castanha et al., 2020).

Recozimento sob umidade controlada (*heat-moisture treatment*, HMT) (A-3)

O amido nativo foi hidratado a 20% (m/m) e mantido em frasco hermético por 24 h para equilíbrio, seguindo-se aquecimento a 100 °C por 16 h em estufa com circulação de ar (Pepe et al., 2016).

Despolimerização ácida (A-4)

O amido foi suspenso em HCl 1,0 mol·L⁻¹ (1:10, m/v) e mantido sob agitação (~150 rpm) em shaker termostatzado a 40 °C por 16 h. Ao final, ajustou-se o pH a 7,0 com NaOH 1,0 mol·L⁻¹, procedendo-se lavagens até neutralidade e secagem a 50 °C (Wang; Copeland, 2015).

Verificação dos efeitos do processo

As amostras foram avaliadas por: (i) teor aparente de amilose por colorimetria com iodo a 620 nm; (ii) FTIR-ATR (4000–400 cm⁻¹); e (iii) morfologia granular por MEV. As análises quantitativas foram realizadas em triplicata, com aplicação de ANOVA unidirecional e teste de Tukey (p < 0,05) no SPSS 27.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os três protocolos foram concluídos sem ocorrências e geraram pós com coloração próxima à do amido nativo, característica esperada em condições brandas e desejável para aplicações alimentícias. A comparabilidade entre as rotas foi assegurada pela massa inicial comum (30 g), mas os mecanismos de modificação diferiram substancialmente. A despolimerização ácida (A-4) empregou HCl 1,0 mol·L⁻¹ em suspensão 1:10, a 40 °C por 16 h, seguida de neutralização, condição direcionada à clivagem parcial das ligações glicosídicas e à redução controlada do tamanho molecular. Em contraste, a ozonização (A-2) utilizou O₃ gerado a partir de ar atmosférico em fase sólida, a 25 ± 2 °C por 60 min, favorecendo oxidação



predominantemente superficial. O HMT (A-3), por sua vez, não empregou reagente químico ácido ou oxidante, mas combinou calor e umidade controlada (20% m/m; 100 °C; 16 h), condição associada à reorganização interna dos grânulos. Assim, HCl, O₃/ar atmosférico e calor/umidade constituíram agentes ou sistemas de modificação distintos, com efeitos complementares sobre a estrutura do amido.

A análise por FTIR-ATR confirmou a preservação das bandas características de amido (νO–H em ~3293 cm⁻¹, νC–H em 2926–2878 cm⁻¹, δC–O–C em 1149 cm⁻¹ e νC–O em 992 cm⁻¹) em todas as amostras tratadas, indicando que nenhuma rota descaracterizou quimicamente o polímero. Esse resultado é relevante para o desenvolvimento de ingredientes destinados a formulações alimentícias que exigem funcionalidade tecnológica sem perda da identidade estrutural do amido. No espectro de A-2, a ausência de banda definida em ~1700 cm⁻¹ é compatível com oxidação moderada e superficial (Chan; Bhat; Karim, 2009; Castanha et al., 2020); em A-3, a atenuação geral das bandas sugere maior compactação granular (Pepe et al., 2016); em A-4, o perfil próximo ao nativo indica que a clivagem glicosídica não introduziu grupos detectáveis nas condições avaliadas (Wang; Copeland, 2015). A composição amilose/amilopetina permaneceu predominantemente amilopetínica, conservando o caráter botânico da fonte (Brito et al., 2021; Astuti et al., 2018).

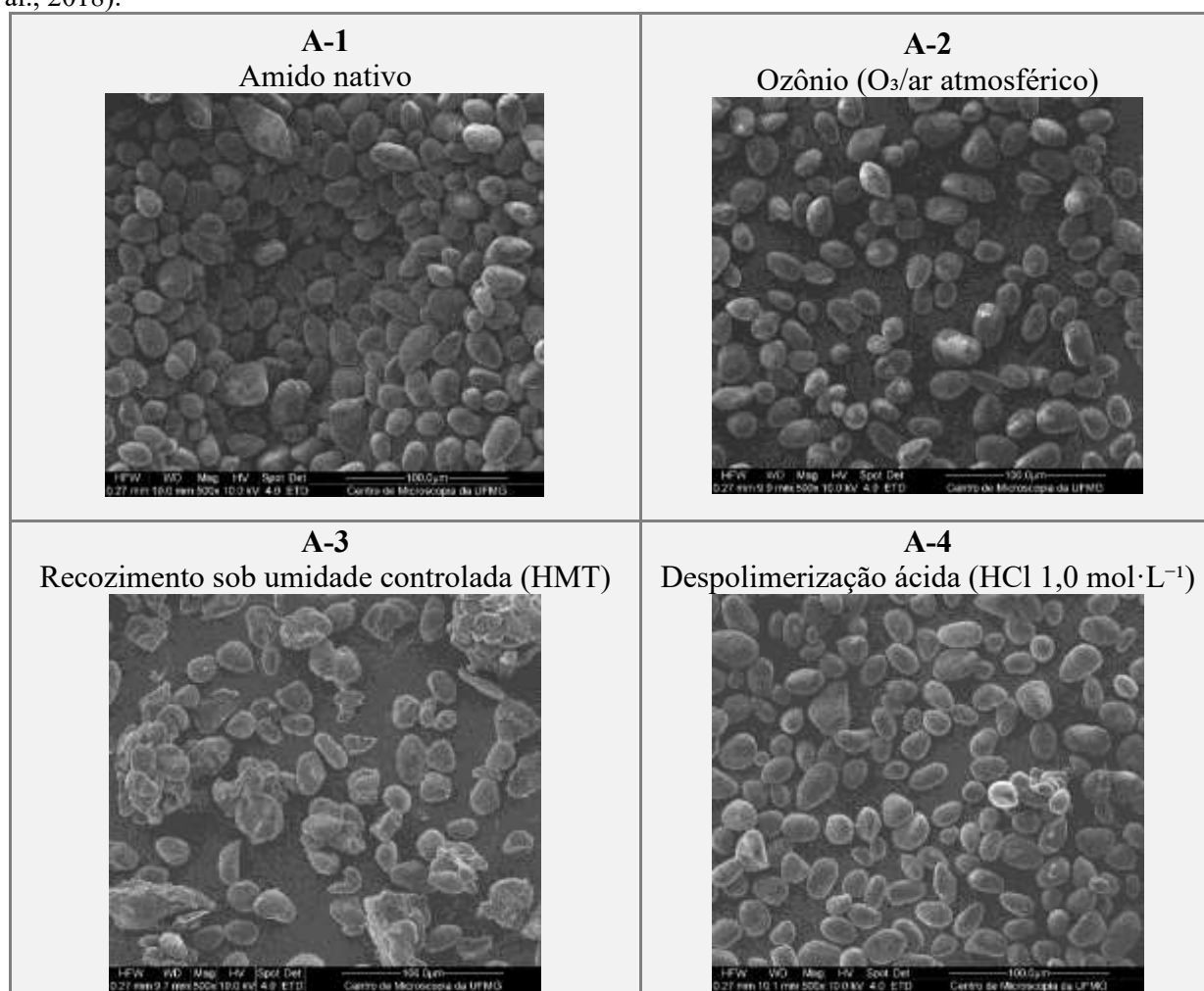


Figura 1 – Micrografias de microscopia eletrônica de varredura (MEV) representativas dos grânulos de amido de araruta nativo e modificados: (A) A-1, amido nativo; (B) A-2, amido oxidado por ozônio gerado a partir de ar atmosférico; (C) A-3, amido submetido a recozimento sob umidade controlada (*heat-moisture treatment*, HMT); e (D) A-4, amido despolimerizado com HCl 1,0 mol·L⁻¹. Fonte: Dados da pesquisa (2026).

As micrografias de MEV evidenciaram que cada rota imprimiu uma assinatura morfológica própria, sustentando perfis de aplicação distintos em formulações alimentícias. O amido oxidado por



ozônio manteve a forma oval-elipsoidal típica, mas adquiriu superfície mais áspera, com microfissuras, configuração que tende a favorecer hidratação e formação de pasta em sistemas aquosos (Chan; Bhat; Karim, 2009; Castanha et al., 2020). O amido submetido ao HMT apresentou aglomeração marcante e colapso parcial, perfil compatível com matrizes que exigem maior estabilidade térmica, como recheios e produtos submetidos a ciclos de aquecimento ou congelamento (Pepe et al., 2016). Já o material despolimerizado preservou a forma geral dos grânulos, com bordas irregulares, poros e zonas de erosão localizada, características que podem ampliar a interação com fases lipídicas em recheios oleosos e emulsões espessas (Astuti et al., 2018; Wang; Copeland, 2015).

CONCLUSÃO

Foram estabelecidos três protocolos de modificação do amido de araruta: ozonização com ar atmosférico, recozimento sob umidade controlada (*heat-moisture treatment*, HMT) e despolimerização ácida. A geração *in situ* de ozônio a partir de ar atmosférico mostrou-se alternativa transferível para laboratórios com infraestrutura limitada, ampliando o acesso a tecnologias de modificação compatíveis com tendências de *clean label*. As três rotas preservaram a identidade química do polímero e geraram assinaturas morfológicas distintas em MEV, associadas a diferentes possibilidades de uso em alimentos sem glúten e formulações estruturadas por amido. Os resultados qualificam a araruta como matéria-prima regional estratégica para inovação alimentícia, diversificação de ingredientes e valorização da agrobiodiversidade brasileira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFMG, à UFSJ e ao CEFET-MG pelo apoio laboratorial e à EPAMIG pelo acesso ao germoplasma. Estendem-se os agradecimentos aos grupos de pesquisa NUPAMC e GEPEQF e aos demais colaboradores. Apoio financeiro do CNPq (307787/2022-2 e 404432/2024-7), FAPEMIG (APQ-01794-25) e CAPES.

REFERÊNCIAS

- ASTUTI, R. M.; WIDANINGRUM; ASIAH, N.; SETYOWATI, A.; FITRIAWATI, R. Effect of physical modification on granule morphology, pasting behavior, and functional properties of arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) starch. *Food Hydrocolloids*, v. 81, p. 23-30, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.029>.
- BRITO, V. H. S. et al. Arrowroot (*Maranta arundinacea* L.): botany, horticulture, and uses. In: WARRINGTON, I. J. (org.). *Horticultural Reviews*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2021. v. 48, p. 233-274. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119750802.ch4>.
- CASTANHA, N. et al. Starch modification by ozone: correlating molecular structure and gel properties in different starch sources. *Food Hydrocolloids*, v. 108, art. 106027, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106027>.
- CHAN, H. T.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Physicochemical and functional properties of ozone-oxidized starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 57, n. 13, p. 5965-5970, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9008789>.
- PEPE, L. S.; MORAES, J.; ALBANO, K. M.; TELIS, V. R. N.; FRANCO, C. M. L. Effect of heat-moisture treatment on the structural, physicochemical, and rheological characteristics of arrowroot starch. *Food Science and Technology International*, v. 22, n. 3, p. 256-265, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013215595147>.
- WANG, S.; COPELAND, L. Effect of acid hydrolysis on starch structure and functionality: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 55, n. 8, p. 1081-1097, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.684551>.