EFEITO DA ENZIMA TRANSGLUTAMINASE NA PRODUÇÃO DE LEITE EM PÓ INTEGRAL POR SECAGEM EM SPRAY DRYER

EFFECT OF TRANSGLUTAMINASE ENZYME ON THE PRODUCTION OF WHOLE MILK POWDER BY DRYING IN A SPRAY DRYER

Jaqueline de Almeida Celestino [1*], Maria Esther Sad [2], Vitória Souza Lima [2], Rodrigo Stephani[1], Ítalo Tuler Perrone[1,2]

[1]Departamento de Química, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - MG, Brasil
[2]Departamento de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - MG, Brasil

Resumo

O leite em pó integral (LPI) é um produto alimentar básico apreciado globalmente por sua versatilidade e valor nutricional. A secagem por atomização (spray dryer) é um método amplamente utilizado para a produção de LPI, oferecendo vantagens como economia de escala e produção de partículas com características desejáveis de solubilidade e dispersabilidade. No entanto, o processo de secagem por atomização apresenta desafios inerentes, notadamente a ocorrência da Reação de Maillard (RM) e a tendência de adesão do produto às superfícies da câmara de secagem. A RM, uma reação complexa entre açúcares redutores e aminoácidos, leva à formação de compostos que alteram negativamente a cor, o sabor e o valor nutricional do LPI, enquanto a adesão do produto resulta em perda de rendimento e aumento dos custos de produção. Este estudo investigou o impacto da adição da enzima transglutaminase (TGase), juntamente com agentes de secagem como polidextrose e maltodextrina, nas características físico-químicas e morfológicas do LPI produzido por spray dryer. A TGase, uma enzima comumente utilizada na indústria alimentar, catalisa a formação de ligações cruzadas entre proteínas, potencialmente melhorando a funcionalidade do produto e sua estabilidade durante o processamento. A polidextrose e a maltodextrina são frequentemente incorporadas como agentes de secagem para aumentar a viscosidade, a temperatura de transição vítrea e as propriedades de retenção de água do LPI. Para avaliar a influência desses aditivos, quatro tratamentos de LPI foram preparados: (A1) Controle: leite reconstituído 40% (m/m) de sólidos; (A2) Polidextrose com leite reconstituído 40% (m/m) de sólidos; (A3) Maltodextrina com leite reconstituído 40% (m/m) de sólidos; e (A4) TGase com leite reconstituído 40% (m/m) de sólios, incubada por 24 horas a 6 °C para promover a reticulação proteica. As amostras foram secas em um spray dryer sob condições controladas, e os pós resultantes foram submetidos a análises físico-químicas e morfológicas.

Palavras-chave: Leite em pó integral, Spray dryer, Transglutaminase.

Introdução

O leite em pó integral é um produto amplamente consumido globalmente. A secagem em spray dryer é o método mais utilizado para sua produção, garantindo boa solubilidade, dispersabilidade e estabilidade (Queiroz *et al.,* 2021). Contudo, o processo pode ocasionar a reação de Maillard (RM), que causa alterações indesejáveis na cor, sabor e valor nutricional do LPI. Já é sabido pela literatura que a reação de escurecimento não enzimático ocorre durante o aquecimento de uma proteína na presença de um açúcar redutor (Bastos *et al.,* 2011). Além disso, a adesão do produto às paredes da câmara de secagem é um problema frequente, impactando o rendimento e a necessidade de limpezas (Torres *et al.,* 2017).

A enzima transglutaminase catalisa a formação de ligações cruzadas entre proteínas, melhorando propriedades como textura, viscosidade, elasticidade e estabilidade em alimentos (Velázquez-

Dominguez *et al.,* 2023). Estudos indicam que a adição de TGase ao leite antes da secagem pode reduzir a RM e melhorar a qualidade do LPI (Er *et al.,* 2019). Dessa forma, com a formação de ε-(γ-glutamil)lisina catalisadas por TGase podem causar a perda de lisina e glutamina, sendo assim, o escurecimento derivado de Maillard e suas subsequentes ligações cruzadas podem ser restringidos em produtos lácteos. Outra possibilidade interessante seria o uso da transglutaminase proporcionar a ocorrência de ligações cruzadas de proteínas e juntamente com a RM melhorar as funcionalidades do alimento (Gan *et al.,* 2009).

A adição de agentes de secagem como polidextrose (fibra solúvel com alta capacidade de retenção de água) e maltodextrina (carboidrato que aumenta a viscosidade e temperatura de transição vítrea) também pode influenciar as características do LPI, contribuindo para partículas mais esféricas, menos aglomeradas e com menor adesão à câmara de secagem (De Paula *et al.,* 2021).

Este estudo objetiva avaliar o efeito da adição de TGase em comparação com o leite controle e adicionado de polidextrose e maltodextrina nas características físico-químicas e morfológicas do LPI produzido por spray dryer.

Material e Métodos

O leite em pó integral comercial foi reidratado com água deionizada (25 ± 2 °C) até aproximadamente 40% (m/m) de sólidos totais utilizando um agitador digital (Ika RW 20, misturador universal de laboratório) por um tempo médio de 30 ± 5 min. O leite reidratado permaneceu sob refrigeração por 24 horas à 6 ºC. Foram realizados quatro tratamentos: A1) Leite em pó reconstituído 40% m/m; A2) Leite em pó reconstituído 40% m/m com polidextrose; A3) Leite em pó reconstituído 40% m/m com maltodextrina; A4) Leite em pó reconstituído 40% m/m com TGase (24 horas de incubação à 6 ºC). A TGase foi fornecida pela empresa Ajinomoto (ACTIVA WM, 80 a 120 unidades por g). Em seguida, as amostras foram submetidas à secagem através de um secador por spray (MSD, LabMaq) com bico de pressão de 1 mm de diâmetro. Os parâmetros de secagem utilizados foram os seguintes: temperatura do ar de entrada 170 ± 5 °C; temperatura do ar de saída 88 ± 2 °C; fluxo de ar do soprador, 2,4 $m^3 \cdot min^{-1}$ - 2,6 $m^3 \cdot min^{-1}$; fluxo de ar comprimido, 30 $L \cdot min^{-1}$ - 35 $L \cdot min^{-1}$; e vazão de entrada do produto, 1,08 $kg \cdot h^{-1}$, com cada processo de secagem durando 45 min.

Para determinação do teor de umidade e atividade de água foram utilizados balança termogravimétrica (MA 150; Sartorius) e analisador de atividade de água (LabSwift-aw; Novasina). Um cromatógrafo líquido de alta eficiência (modelo 1525; Waters) foi utilizado para analisar marcadores da reação de Maillard. A cor dos pós foi obtida utilizando um colorímetro (CR400; Chroma Meter). As características morfológicas dos pós foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura (TM3000; Hitachi®) em ampliações de 800 x.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises físico-químicas (extrato seco total (EST, atividade água a_w, proteína total) e marcadores da RM (5-hidroximetilfurfural (HMF)) para as quatro amostras de pós obtidos da parte do ciclone do spray dryer.

Tabela 1. Análises realizadas para os pós (ciclone) após a secagem.

Amostras	EST (%m/m)	A_w	Proteína total (% m/m)	HMF (µg P_T)
A1	96,88 ± 0,35	0,205 ± 0,004	27,91 ± 0,30	312,48 ± 47,61
A2	97,91 ± 0,06	0,144 ± 0,019	22,05 ± 0,13	232,74 ± 29,47
A3	97,11 ± 0,10	0,223 ± 0,009	22,02 ± 0,16	50,94 ± 8,16
A4	96,53 ± 0,08	0,272 ± 0,010	27,63 ± 0,42	51,50 ± 1,12

É possível perceber que o tratamento com TGase possui um menor teor de extrato seco total, maior teor de água quando comprada aos demais tratamentos, mas observou-se uma diminuição da quantidade de HMF, marcador da RM encontrado na amostra, em relação ao tratamento controle.

As mesmas análises foram realizadas para os pós obtidos da parte da câmara do secador, mostradas na Tabela 2.

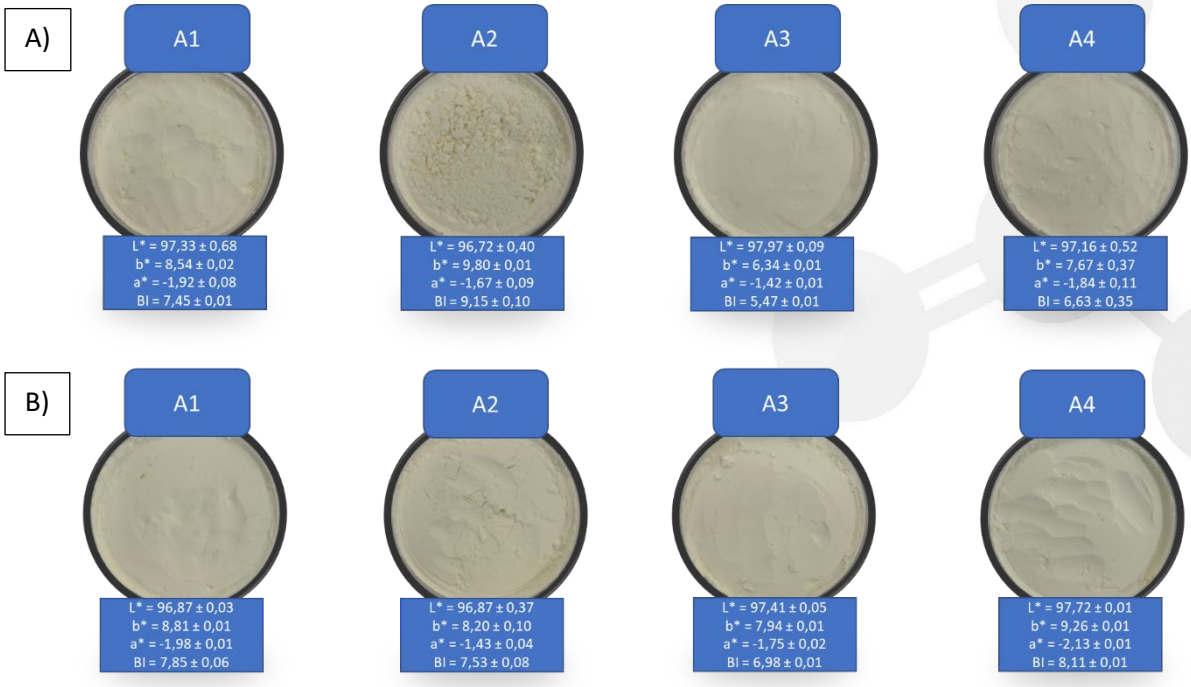
Tabela 2. Análises realizadas para os pós (câmara) após a secagem.

Amostras	EST (% m/m)	A_w	Proteína total (% m/m)	HMF (µg P_T)
A1	97,56 ± 0,14	0,213 ± 0,005	28,11 ± 0,35	387,57 ± 30,41
A2	97,59 ± 0,09	0,172 ± 0,007	22,41 ± 0,13	278,39 ± 80,23
A3	97,42 ± 0,03	0,194 ± 0,003	22,07 ± 2,04	121,46 ± 18,02
A4	96,61 ± 0,15	0,290 ± 0,001	27,57 ± 0,14	115,57 ± 2,05

Verificou-se para as amostras da câmara o mesmo resultado encontrado para os pós do ciclone. A menor atividade de água de ambos os pós (ciclone e câmara) foi do tratamento A2, possivelmente devido à alta capacidade de retenção de água da polidextrose. O tratamento A4 apresentou teor de proteína total similar a A1, enquanto A2 e A3 apresentaram redução, devido à diluição pelo agente de secagem. A formação de HMF foi significativamente menor em A4 em comparação a A1, corroborando a capacidade da TGase em inibir a RM. A adição de polidextrose (A2) também reduziu a formação de HMF.

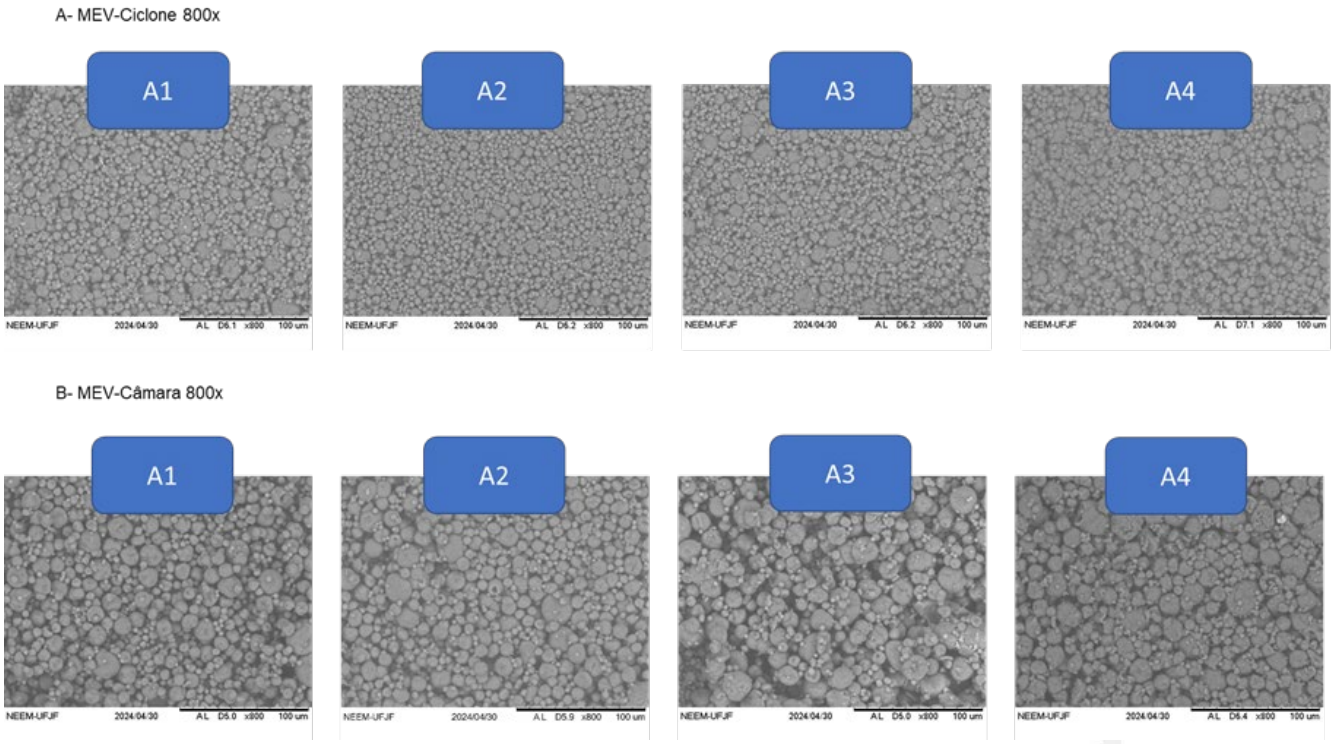
A análise de cor, apresentada na Figura 1, não revelou diferenças na cor dos pós entre os tratamentos, mas os pós do ciclone demonstraram menor valor do índice de escurecimento (BI) em comparação com os pós da câmara para todas as amostras.

Figura 1. Análise dos parâmetros de cor dos pós do ciclone (A) e câmara (B).



As imagens obtidas através das análises por MEV, Figura 2, mostraram partículas mais esféricas e menos aglomeradas nos pós do ciclone em comparação aos da câmara. A3 e A4 apresentaram partículas maiores e com menos fissuras. A análise morfológica de pós é uma análise interessante porque permite classificar os pós formulados em relação à sua melhor ou pior capacidade de reidratação durante o uso pelos consumidores. As propriedades dos pós podem ser determinadas pelo tipo de aglomeração. Quantidades mais baixas de partículas finas, grandes partículas individuais e maior oclusão de ar resultam em pós com melhor capacidade de reidratação. Por outro lado, uma maior quantidade de partículas quebradas e a presença de partículas finas podem resultar numa pior capacidade de reidratação (Francisquini *et al.,* 2024).

Figura 2. Análise morfológica dos pós do ciclone e câmara para os quatro tratamentos.



Conclusão

Este estudo preliminar demonstrou que a adição da transglutaminase pode auxiliar a produção de lácteos desidratados. Pois quando comparada com polidextrose e maltodextrina, já usuais da indústria alimentícia, como agentes facilitadores na secagem por spray dryer na produção de lácteos desidratados, demonstrou redução significativa na formação de HMF, como também gerou partículas maiores, mais esféricas e menos propensas a fissuras, características desejáveis para um lácteo desidratado. Dessa forma, novos estudados devem ser realizados para verificar a utilização da TGase como uma alternativa viável para a indústria laticinista. Ademais, é importante estudos para investigar mecanismos moleculares pelos quais a TGase influencia a Reação de Maillard e as propriedades do leite em pó.

Referências Bibliográficas

BASTOS, D. H. M. et al. J. Produtos da reação de Maillard em alimentos industrializados. **Nutrire: rev. Soc. Bras. Alim. Nutr.,** v. 36, n. 3, p. 63-78, 2011.

ER, B.; SERT, D.; MERCAN, E. Production of skim milk powder by spray-drying from transglutaminase treated milk concentrates: Effects on physicochemical, powder flow, thermal and microstructural characteristics. **International Dairy Journal,** v. 99, p. 104544, 2019.

FRANCISQUINI, J. d'A. et al. The effect of transglutaminase on the characterization of lactose-free skimmed milk powder. **European Food Research and Technology,** v. 250, n. 5, p. 1417-1431, 2024.

GAN, C.-Y.; CHENG, L.-H.; EASA, A. M. Assessment of cross-linking in combined cross-linked soy protein isolate gels by microbial transglutaminase and maillard reaction. **Journal of food science,** v. 74, n. 2, p. C141-C146, 2009.

DE PAULA, I. L. et al. Buffalo powder dairy products with and without lactose hydrolysis: Physical-chemical and technical-functional characterizations. **LWT,** v. 151, p. 112124, 2021.

QUEIROZ, E. S. et al. Spray drying and characterization of lactose-free goat milk. **LWT**, v. 147, p. 111516, 2021.

TORRES, J. K. F. et al. Technological aspects of lactose-hydrolyzed milk powder. **Food Research International,** v. 101, p. 45-53, 2017.

VELAZQUEZ-DOMINGUEZ, A. et al. Transglutaminase cross-linking on dairy proteins: functionalities, patents, and commercial uses. **International Dairy Journal,** p. 105688, 2023.

Autor(a) a ser contatado: Jaqueline de Almeida Celestino, Universidade Federal de Juiz de Fora, Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro, Juiz de Fora - MG, 36036-900. E-mail: jaqueline@ice.ufjf.br