RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE CONCENTRADOS PROTEICOS DERIVADOS DO LEITE

RELATIONSHIP BETWEEN THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF PROTEIN CONCENTRATES DERIVED FROM MILK

Letícia Ribeiro Barbosa[1], Carolina Neves Cunha[1], Elisa Reis Silva de Oliveira[2] Juliana de Carvalho da Costa[1], Rodrigo Stephani[2] e Ítalo Tuler Perrone[1]

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

Resumo

Este estudo caracterizou nove amostras de concentrados proteicos derivados do leite, incluindo concentrado proteico do soro (WPC), caseína micelar e proteína do leite em pó (MPC), por meio de MEV, análise de tamanho de partículas, cálcio iônico, pH, estabilidade térmica, indicadores da reação de Maillard, índice de escurecimento (BI), espectroscopia Raman e PCA. Os WPCs apresentaram menor tempo de coagulação térmica, predominância de lactose amorfa e menor índice de escurecimento. MEV e análise de tamanho de partículas mostraram que a capacidade de reidratação foi influenciada pela morfologia dos pós. A PCA evidenciou a influência do pH, cálcio iônico, estado físico da lactose, perfil de reidratação e índice de espuma. Conclui-se que o estado físico da lactose e a concentração de cálcio iônico são parâmetros importantes na produção e aplicação de concentrados proteícos derivados do leite.

Palavras-chave Concentrado proteico do soro do leite (WPC); Caracterização; Propriedades funcionais.

Introdução

O soro do leite, um coproduto da produção de queijos, é uma fonte rica em proteínas de alto valor biológico. O concentrado proteico do soro do leite (WPC) é obtido por meio da concentração e secagem do soro, resultando em um pó com alta concentração de proteínas. O WPC é amplamente utilizado na indústria de alimentos e bebidas devido ao seu perfil nutricional e propriedades funcionais, como alta digestibilidade, alto teor de aminoácidos essenciais, capacidade de formar espuma e emulsificação, e propriedades de geleificação (McSweeney et al., 2020).

No entanto, a qualidade e a funcionalidade do WPC podem variar significativamente entre diferentes marcas e processos de fabricação (Barros et al., 2018). A composição do WPC, incluindo o teor de proteína, lactose e minerais, pode influenciar diretamente suas propriedades, como solubilidade, estabilidade térmica, formação de espuma e capacidade de reidratação (Khatkar et al., 2023).

O estado físico da lactose, um dos principais componentes do WPC, pode ter um impacto significativo nas propriedades do produto. A lactose pode existir em diferentes estados físicos, incluindo cristalina, amorfa e estruturas de transição vítrea. A lactose cristalina é menos solúvel e pode contribuir para a formação de sedimentos, enquanto a lactose amorfa é mais solúvel e proporciona maior estabilidade (Queiroz et al., 2021).

O cálcio iônico é outro fator crucial que pode influenciar as propriedades do WPC, incluindo a estabilidade térmica e a capacidade de formar gel (Barros et al., 2018). A concentração de cálcio iônico pode afetar a estrutura das micelas de caseína, que são importantes para a textura e a estabilidade dos produtos lácteos (McSweeney et al., 2020).

Este estudo teve como objetivo caracterizar as propriedades físico-químicas e funcionais de amostras comerciais de concentrados proteicos derivados do leite. A análise de um conjunto abrangente de propriedades permitiu avaliar a qualidade e a funcionalidade das amostras, fornecendo insights importantes para a otimização da produção e aplicação na indústria de alimentos e bebidas.

Material e Métodos

Foram analisadas nove amostras de WPCs comerciais, incluindo WPCs de diferentes marcas, caseína micelar e proteína do leite em pó (MPC), adquiridas no mercado local. As amostras foram codificadas de acordo com a marca e tipo de produto (Tabela 1).

Tabela 1: Amostras analisadas no estudo.

Código	Fonte Proteica
WP1	soro
WP2	soro
WP3	soro
WP4	soro
WP5	soro
MC1	leite
MC2	leite
MP1	leite
MP2	leite + soro

Nas quais foram realizadas as seguintes análises:

Microscopia eletrônica de varredura (MEV): A morfologia dos pós foi analisada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando um microscópio eletrônico (TM300, Hitachi Ltd).

Determinação do tamanho de partículas: A distribuição do tamanho de partículas foi determinada por meio de um analisador de tamanho de partículas a laser (LS 13320, Beckman Coulter). A análise foi realizada em três tempos diferentes após a adição do pó ao módulo líquido do analisador, permitindo avaliar a evolução do tamanho de partículas durante a reidratação.

Análise do cálcio iônico e pH: O cálcio iônico foi determinado por meio de um eletrodo de íons seletivos (ISE, modelo Orion 960, Thermo Scientific) e o pH foi medido utilizando um pHmetro (modelo Hanna HI2210).

Estabilidade térmica: A estabilidade térmica das soluções proteicas foi avaliada por meio do tempo de coagulação térmica (HCT) (Francisquini et al., 2020). Um tubo hermético contendo as amostras foi agitado em banho de óleo à temperatura de 155 ± 2 °C. Foi medido o tempo decorrido entre a inserção das amostras no banho de óleo e o aparecimento dos primeiros sinais visíveis de coagulação

Determinação de indicadores da reação de Maillard (HMF, F, FMC e MF): A Quantificação dos marcadores intermediários de Maillard foi determinada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC, 2998)

Índice de escurecimento (BI): O índice de escurecimento (BI) foi determinado por meio da análise de cor utilizando um colorímetro (modelo CR-400, Chroma Meter) e a seguinte equação:

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad \text{sendo, } x = \frac{(a* + 1.750\ x\ L*)}{(5.645\ x\ L* + a* - 3.012\ x\ b*)}$$

onde L* representa a luminosidade que varia de 0 (preto) a 100 (branco), a* e b* correspondem às coordenadas de cromaticidade (-a = verde, +a = vermelho, -b = azul e +b = amarelo).

Espectroscopia Raman: Os espectros foram adquiridos no espetrômetro Brucker (RFS 100; FT-Raman Bruker®), na radiação excitante de 632,8 nm, com uma potência de saída do laser de 110 mW.

Análise de componentes principais (PCA): Os dados obtidos foram analisados por meio da análise de componentes principais (PCA) utilizando o software Matlab® software versão 7.10.0 (R2010a), para identificar padrões de similaridade e diferenciação entre as amostras.

Resultados e Discussão

A análise de estabilidade térmica por tempo de coagulação pelo calor (HCT), revelou que os WPCs apresentaram um tempo de coagulação térmico significativamente menor (2,0-3,1 minutos) em comparação com os produtos à base de caseína micelar e MPC (11,4-21,2 minutos). Essa diferença pode estar relacionada ao pH e à concentração de cálcio iônico nas amostras. Os WPCs apresentaram um pH mais baixo (6,36-6,70) e menor concentração de cálcio iônico (31-58 ppm) em relação aos produtos à base de caseína micelar e MPC (pH de 6,46-6,91 e cálcio iônico de 55-105 ppm) (Tabela 2).

Tabela 2: Perfil de cálcio iônico e pH para amostras reidratadas a 10% por 24h a 8°C.

Amostra	pH	Cálcio iônico (ppm)
WP1	6,70 ± 0,01	33 ± 1
WP2	6,45 ± 0,02	58 ± 1
WP3	6,36 ± 0,07	31 ± 2
WP4	6,41 ± 0,02	50 ± 1
WP5	6,57 ± 0,05	48 ± 1
MC1	6,91 ± 0,04	55 ± 1
MC2	6,46 ± 0,04	75 ± 1
MP1	6,69 ± 0,02	105 ± 6
MP2	6,64 ± 0,01	86 ± 1

O pH influencia a estabilidade das proteínas, sendo que em pHs mais baixos, as proteínas tendem a ser mais suscetíveis à desnaturação térmica. A presença de cálcio iônico também pode influenciar a estabilidade térmica das proteínas, pois os íons cálcio podem se ligar às proteínas, formando complexos que são mais resistentes ao calor (Barros et al., 2018).

A espectroscopia Raman foi utilizada para determinar o estado físico da lactose nas amostras. Os espectros Raman mostraram que a lactose nos WPCs se encontrava principalmente em estado amorfo, enquanto a caseína micelar e MPC apresentaram uma maior proporção de lactose cristalina. A presença de lactose cristalina pode afetar a solubilidade e a estabilidade dos produtos, contribuindo para a formação de sedimentos e uma textura menos desejável.

A reação de Maillard é uma reação química complexa que ocorre entre açúcares redutores e aminoácidos, levando ao escurecimento dos alimentos. A análise da concentração de compostos de Maillard, incluindo HMF, F, FMC e MF, e o índice de escurecimento (BI) mostrou que os WPCs apresentaram menor probabilidade de escurecimento em comparação com os outros produtos. A maioria das amostras de WPC apresentou concentrações de HMF abaixo do limite de quantificação (LQ), enquanto as amostras de caseína micelar e MPC apresentaram concentrações de HMF acima do LQ.

Tabela 3: Valores do BI e HMF para as amostras.

Amostra	BI	HMF (mg/100g)
WP1	16,1 ± 0,2	<LQ
WP2	16,1 ± 0,1	<LQ
WP3	15,5 ± 0,1	<LQ
WP4	18,6 ± 0,1	<LQ
WP5	18,1 ± 0,1	0,020 ± 0,016
MC1	8,0 ± 0,1	<LQ
MC2	10,4 ± 0,1	<LQ
MP1	8,9 ± 0,1	<LQ
MP2	11,4 ± 0,1	<LQ

Limite de quantificação HMF (LQ): 0,012 mg/100g (Pinto, 2024).

Os resultados da PCA corroboraram essa observação (Figura 1), mostrando uma clara separação entre os WPCs e os produtos à base de caseína micelar e MPC, com os WPCs sendo agrupados em um grupo com menor tempo de coagulação térmica (A). A análise também revelou a influência do estado físico da lactose nas propriedades dos WPCs. As amostras com maior proporção de lactose amorfa foram agrupadas em um grupo com maior capacidade de reidratação e menor tempo de coagulação térmica (B). Os resultados também mostram que as amostras de WPC se agruparam em um grupo com menor índice de escurecimento (C).

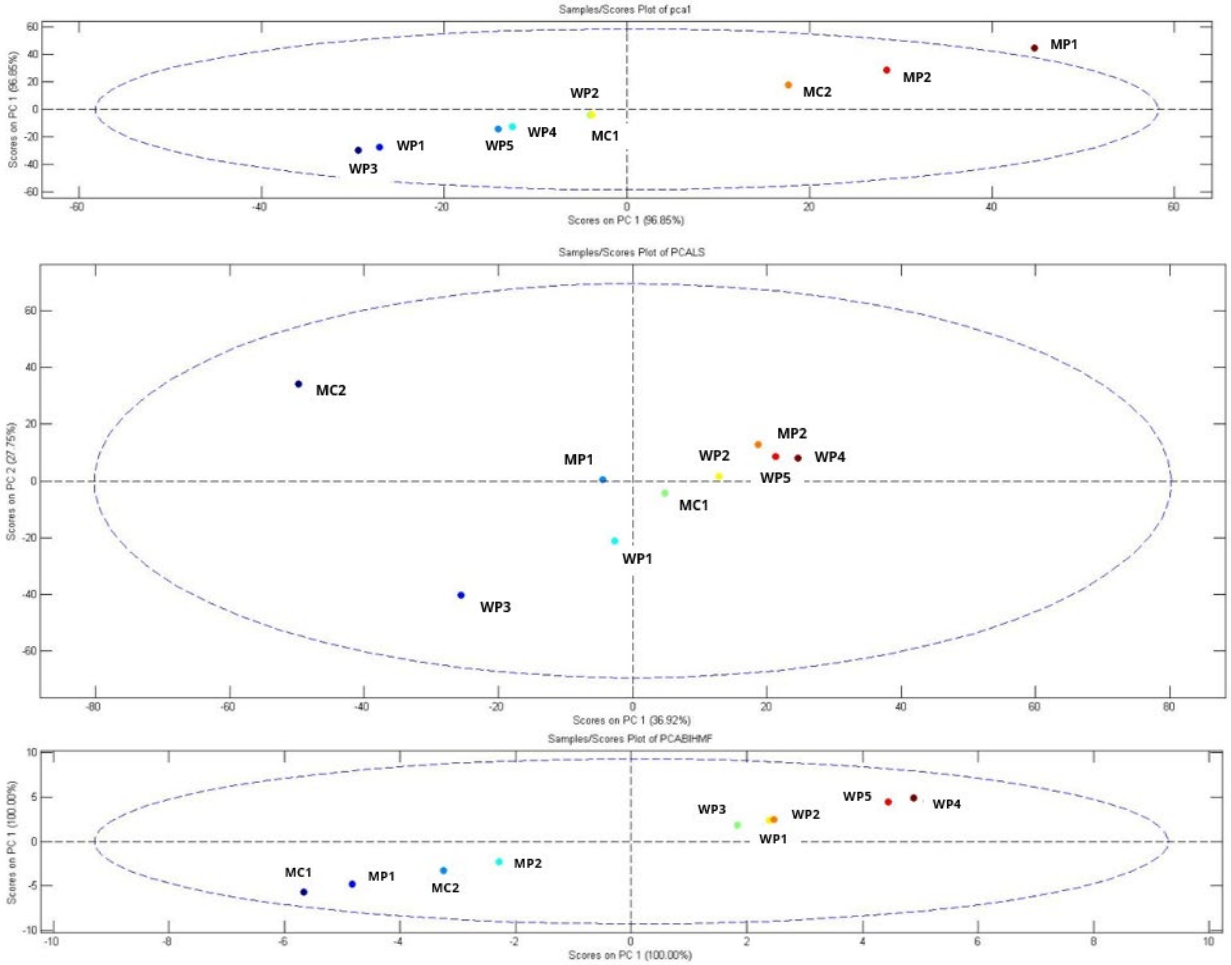


Figura 1: Análise de componentes principais (PCA)
A: Relação entre pH e HCT pela análise de componentes principais. B: Análise para as amostras reidratadas a 10%(m/m) por 24h a 8ºC. C: Relação entre os valores de HMF e BI agrupados pela análise de componentes principais.

Os resultados de microscopia revelaram diferenças significativas na morfologia dos pós. As amostras de WPC apresentaram partículas com formato irregular e maior superfície, enquanto a caseína micelar e MPC apresentaram partículas com formato mais esférico e superfície mais lisa. A MEV também revelou que as amostras de WPC apresentaram uma maior tendência à aglomeração, enquanto as amostras de caseína micelar e MPC apresentaram partículas mais dispersas.

A análise de tamanho de partículas demonstrou que a capacidade de reidratação dos WPCs foi influenciada pelo perfil morfológico dos pós. As amostras de WPC com partículas menores e menor índice de polidispersividade (PDI) apresentaram maior capacidade de reidratação.

A determinação do índice de espuma foi realizada em amostras reidratadas a 10%(m/m) em leite em pó desnatado reconstituído. Os resultados mostraram que as amostras de WPC não formaram espuma, enquanto a caseína micelar e MPC apresentaram uma boa capacidade de formação de espuma, com índice de espuma significativamente maior (MC2: 4,25 ± 0,35 cm; MP1: 11,78 ± 3,57 cm; MP2: 13,5 ± 0,71 cm). Esses resultados podem estar relacionados à composição e estrutura das

proteínas presentes nas amostras. As proteínas do soro do leite, como a alfa-lactoalbumina e a beta-lactoglobulina, são conhecidas por suas propriedades de formação de espuma, mas sua capacidade de formar espuma é afetada por vários fatores, como concentração, pH e temperatura. A caseína micelar e a MPC contêm proteínas que são conhecidas por suas propriedades de formação de espuma, como as caseínas e as proteínas do soro do leite.

Conclusão

Com base nesse estudo é possível concluir que o estado físico da lactose e a concentração de cálcio iônico influenciam significativamente as propriedades físico-químicas e funcionais dos WPCs comerciais. Os WPCs apresentaram menor estabilidade térmica, menor índice de escurecimento, menor capacidade de formar espuma, mas maior capacidade de reidratação em comparação com os produtos à base de caseína micelar e MPC. Os resultados indicam que os WPCs são mais suscetíveis à desnaturação térmica, mas podem ser mais adequados para aplicações que requerem menor escurecimento e maior capacidade de reidratação. Esses resultados fornecem informações importantes para a otimização da produção, armazenamento e aplicação de WPCs na indústria láctea, contribuindo para o desenvolvimento de produtos inovadores e de alta qualidade para o consumidor.

Referências Bibliográficas

BARROS, F. T. G.; SILVA, S. A.; SANTOS, M. L.; et al. Impacto das condições de processamento nas propriedades do concentrado de proteína do soro do leite: uma revisão. **Food Research International**, v. 106, p. 20-30, 2018.

FRANCISQUINI, J. d'A.; MARTINS, E.; RENHE, I. R. T.; OLIVEIRA, L. F. C.; STEPHANI, R.; PERRONE, I. T.; CARVALHO, A. F. Distribuição do tamanho de partículas aplicada à reidratação do leite em pó. Química Nova, v. 43, n. 2, p. 226-230, 2020.

QUEIROZ, E. S.; REZENDE, A. L. L.; PERRONE, I. T.; FRANCISQUINI, J. d'A.; CARVALHO, A.F.; ALVES, N. M. G.; OLIVEIRA, L. F. C.; STEPHANI, R. Spray drying and characterization of lactose-free goat milk. **LWT**, v. 147, 2021.

MCSWEENEY, D. J., MAIDANNYK, V., MONTGOMERY, S., O'MAHONY, J. A., & MCCARTHY, N. A. The Influence of Composition and Manufacturing Approach on the Physical and Rehydration Properties of Milk Protein Concentrate Powders. **Foods**, *9*(2), 2020.

KHATKAR, S. K., KHATKAR, A. B., MEHTA, N., KAUR, G., DHULL, S. B., & PRAKASH, S. Effective strategies for elevating the techno-functional properties of milk protein concentrate. **Trends in Food Science & Technology**, *140*, 2023.

PINTO, C., CUNHA, C., MESA, N., SAD, M.E., STEPHANI, R., PERRONE, Í., et al.; **Química Nova**, 2024.

Autor(a) a ser contatado: Letícia Ribeiro Barbosa, Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Farmácia e leticiaribeiro.barbosa@estudante.ufjf.br.