

SUBMETIDO 25/11/2021

APROVADO 14/02/2022

PUBLICADO ON-LINE 21/02/2022

PUBLICADO 10/07/2023




EDITORA ASSOCIADA

Poliana Sousa Epaminondas Lima

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6527>

ARTIGO ORIGINAL

## Tecnologias convencionais e emergentes aplicadas no processamento de bebidas à base de soro de leite: uma revisão

 Amanda Gouveia Mizuta <sup>[1]</sup>  
 Jaqueline Ferreira Silva <sup>[2]</sup>  
 Grasielle Scaramal Madrona <sup>[3]\*</sup>

[1] [amandagmizuta@gmail.com](mailto:amandagmizuta@gmail.com)

[2] [jaquelinesferreirasilva@gmail.com](mailto:jaquelinesferreirasilva@gmail.com)

[3] [gsmadrona@uem.br](mailto:gsmadrona@uem.br)

Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Brasil

**RESUMO:** O presente estudo teve como objetivo realizar uma prospecção científica e tecnológica incluindo tecnologias emergentes obtidas do ano de 2015 até o ano de 2020 em relação às bebidas à base de soro de leite, utilizando uma busca nas bases de dados ScienceDirect, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e PubMed. Os termos descritores utilizados para a pesquisa foram: soro de leite, bebidas à base de soro de leite, processos tecnológicos aplicados em bebidas à base de soro de leite. Ao realizar essas combinações de termos, verificou-se 57.791, 8.090 e 1.836 artigos publicados no ScienceDirect, SciELO e PubMed, respectivamente. Ao pesquisar os termos, observou-se a prevalência de estudos que avaliam a viabilidade de desenvolvimento de novos produtos lácteos à base de soro enriquecidos com probióticos ou prebióticos e o desenvolvimento de novas bebidas acopladas a um tratamento térmico não convencional, como as tecnologias emergentes (ultrassom de alta intensidade, aquecimento ôhmico, irradiação UV, alta pressão hidrostática, plasma frio, CO<sub>2</sub> supercrítico). Os resultados indicam uma perspectiva de futuras aplicações de novas tecnologias em bebidas à base de soro de leite na indústria alimentícia.

**Palavras-chave:** controle de qualidade; inovações em bebidas lácteas; resíduo de leite; tecnologias emergentes.

### *Conventional and emerging technologies applied in the processing of whey-based beverages: a review*

**ABSTRACT:** The present study aimed to conduct a scientific and technological review of the conventional as well as emerging technologies used from 2015 to 2020 in whey-based beverage production. A search on the databases ScienceDirect, Scientific Electronic Library Online (SciELO) and PubMed was performed using the following descriptors: whey, whey-based beverages, technological processes applied to whey-based beverages. The search

\*Autor para correspondência.

revealed 57,791, 8,090 and 1,836 papers published in ScienceDirect, SciELO and PubMed, respectively, with a prevalence of studies on the feasibility of developing new whey-based dairy products enriched with probiotics or prebiotics and the development of new drinks coupled with unconventional heat treatment, such as emerging technologies like high intensity ultrasound, ohmic heating, UV irradiation, high hydrostatic pressure, cold plasma and supercritical CO<sub>2</sub>. These results point to a perspective of future applications of new technologies in whey-based beverages in the food industry.

**Keywords:** emerging technologies; innovations in dairy beverage; milk residue; quality control.

## 1 Introdução

O leite contém 3,5% de proteínas, sendo 80% caseína e 20% proteínas do soro de leite. O soro de leite é o principal subproduto das indústrias de laticínios. Na produção do queijo, por exemplo, a cada 100 kg de leite são formados 90 kg de soro de leite. Este acaba por se tornar um poluente e conseqüentemente um problema de descarte para as indústrias de laticínios. Mas esse resíduo, ao contrário do que se pensa, pode ser valioso devido às altas propriedades nutricionais, bioquímicas e funcionais contidas em suas proteínas (BUHLER *et al.*, 2019; DINIKA *et al.*, 2020; WHERRY; BARBANO; DRAKE, 2019). Além dos benefícios à saúde, as proteínas do soro do leite possuem propriedades funcionais, como gelificação, formação de espuma e atividade emulsificante, que tornam seu uso relevante em várias aplicações alimentares (DINIKA *et al.*, 2020; KINSELLA; WHITEHEAD, 1989; PLAYNE; BENNETT; SMITHERS, 2003).

Visando diminuir o impacto ambiental causado pelo soro de leite e pelo fato de este possuir benefícios biológicos, tecnológicos e econômicos, uma série de tecnologias estão sendo usadas para converter esse resíduo em produto de valor agregado. Por esse motivo, o soro é isolado por processos de concentração, como os processos de separação por membrana (ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa e microfiltração) ou os processos de secagem (secagem térmica ou liofilização). Essas tecnologias possibilitam a obtenção de produtos comerciais como concentrado ou isolado de proteína de soro de leite. Tais possibilidades são características favoráveis para a utilização nos mais diversos tipos de aplicações (ALVES *et al.*, 2014; DINIKA *et al.*, 2020; GANJU; GOGATE, 2017; NICOLÁS; FERREIRA; LASSALLE, 2019). Uma das aplicações é a utilização desse isolado na fabricação de embalagens (HE *et al.*, 2022; MOHAMMADI *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2019; SCHMID *et al.*, 2015).

Nesse contexto, a garantia da qualidade do soro de leite e o desenvolvimento de novos produtos à base dele são importantíssimos. Para garantir a segurança microbiológica do soro de leite, tratamentos térmicos são utilizados, no entanto, esses processos podem ter um impacto significativo na qualidade do produto (BUHLER *et al.*, 2019); por esse motivo, novas tecnologias estão sendo utilizadas e estudadas. Entre essas tecnologias, destacam-se as tecnologias emergentes, pois substituem os tratamentos convencionais realizados pela indústria. São exemplos de tecnologias emergentes o aquecimento ôhmico, irradiação UV, alta pressão hidrostática, entre outros (BUHLER *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2019).

A presente revisão, portanto, é escrita com o objetivo de destacar os avanços tecnológicos (tecnologias convencionais ou não) relacionados às bebidas à base de soro, obtidos do ano de 2015 até o ano de 2020. Nas próximas seções são apresentados um

referencial teórico acerca do assunto, bem como a metodologia aplicada nesta pesquisa e os resultados dos trabalhos encontrados para os descritores soro de leite, bebidas à base de soro de leite e processos tecnológicos aplicados em bebidas à base de soro de leite.

## 2 Referencial teórico

O soro representa o subproduto mais importante da indústria do queijo e da caseína, sendo fabricado em grandes quantidades no mundo inteiro. Esse subproduto tem em sua composição várias substâncias valiosas, tais como proteínas, lactose, vitaminas, minerais, aminoácidos essenciais e ácido láctico de grande interesse (SONG *et al.*, 2013).

Há uma preocupação recorrente em gerar aplicabilidade para o soro de queijo em novos alimentos, visto que, no território brasileiro, cerca de 50% do soro não é aproveitado, gerando desperdício nutricional e financeiro. Por conseguinte, os impactos ambientais são relevantes, já que é um resíduo com alto teor orgânico (MAGALHÃES *et al.*, 2011).

Diante desse contexto, cada vez mais estudam-se novas maneiras de usar soro e reduzir a poluição ambiental. O conteúdo de lactose do soro de queijo e a presença de outros nutrientes essenciais para o crescimento microbiano fazem com que esse subproduto lácteo seja uma matéria-prima potencial para a produção de compostos valiosos quando se utilizam processos de fermentação (PANESAR *et al.*, 2007).

A proteína do soro do leite contém peptídeos bioativos que foram estudados e apresentam vários efeitos fisiológicos, como anti-hipertensivos, antioxidantes, antidiabéticos, aglutinantes de minerais, antimicrobianos, opioides, imunomoduladores e a regulação positiva de agentes citomoduladores. Seu envolvimento na melhoria das condições de saúde também reduziu o potencial de doenças crônicas (MANN *et al.*, 2019). Tem-se um aumento do interesse na produção de bebidas lácteas fermentadas contendo probióticos devido a várias alegações de saúde associadas ao seu consumo (ÖZER; KIRMACI, 2010).

O soro de leite é um coproduto da indústria de laticínios e representa a porção aquosa do leite, que se separa do coágulo durante a fabricação de queijo ou da caseína. Esse soro é um líquido opaco e de cor amarelo-esverdeada, representando cerca de 80% a 90% do volume de leite utilizado na indústria e contendo em torno de 55% dos nutrientes do leite (ALVES *et al.*, 2014; GIRALDO-ZUÑIGA *et al.*, 2004; GUIMARÃES *et al.*, 2019).

Segundo Brandelli, Daroit e Corrêa (2015), o soro de leite contém uma série de peptídeos bioativos com efeito promotor da saúde. O soro de leite, portanto, tem grande potencial tecnológico, sendo cada dia mais pesquisado, seja como matéria-prima (ZANON *et al.*, 2020) para a produção de ácido caproico (CHWIALKOWSKA *et al.*, 2019), como cultura inicial para os probióticos (KRUNIĆ; OBRADOVIĆ; RAKIN, 2019) e para os bioemulsificantes (ZHANG *et al.*, 2019).

A bebida láctea que utiliza o soro como matéria-prima tem sido cada vez mais estudada devido aos seus compostos bioativos e em função de sua versatilidade, das diferentes formas de obtenção de um produto de melhor qualidade ou até mesmo para a elaboração de bebidas probióticas (CAPPATO *et al.*, 2018; FERREIRA *et al.*, 2019; KADYAN *et al.*, 2021).

### 3 Método da pesquisa

Para esta pesquisa, foram consultados os bancos de dados das bibliotecas eletrônicas ScienceDirect, PubMed e SciELO para identificar estudos do ano de 2015 até 2020 relacionados aos descritores soro de leite, bebidas à base de soro de leite e processos tecnológicos aplicados em bebidas à base de soro de leite. Os artigos foram inicialmente selecionados e excluídos considerando a relevância, sendo um total de 50 estudos incluídos como artigos potencialmente relevantes; dessas publicações, 16 artigos foram utilizados, por tratarem especificamente do tema deste estudo.

Para obter uma maior compreensão, como critério de relevância, foram selecionados artigos em que constam avanços tecnológicos no tratamento do soro de leite, na utilização desse soro para o desenvolvimento de novos produtos e artigos que traziam os benefícios de seus peptídeos. Todos os tipos de soro de leite, independentemente da origem (soro doce ou ácido) e do processamento (isolado, concentrado de hidrolisado), foram considerados para inclusão. Os dados foram tabulados e discutidos conforme suas especificidades.

#### Tabela 1 ▼

Número de artigos publicados nas bases de dados ScienceDirect, PubMed e SciELO de acordo com os descritores soro de leite, bebidas à base de soro de leite, avanços tecnológicos com o soro de leite.

Fonte: dados da pesquisa

### 4 Resultados da pesquisa

Conforme dados expostos na Tabela 1, as publicações (nas três bases utilizadas) que envolvem o termo soro de leite totalizam 57.791 artigos publicados, sendo que a maior parte está relacionada a estudos dos compostos bioativos presentes no soro. No entanto, quando se refere a bebidas à base de soro de leite e a seus processos tecnológicos, o resultado é menor, totalizando 8.090 e 1.830 trabalhos, respectivamente.

Descritores	ScienceDirect	SciELO	PubMed
Soro de leite	53.494	318	3.979
Bebidas à base de soro de leite	7.081	30	979
Processos tecnológicos aplicados em bebidas à base de soro de leite	1.806	0	24

Ao pesquisar o termo “bebidas à base de soro de leite” na base de dados ScienceDirect, foram obtidos diferentes estudos, destacando-se os que investigam a viabilidade de desenvolvimento de novos produtos lácteos, como bebidas de soro com probióticos ou desenvolvimento de uma nova bebida acoplada a um tratamento térmico não convencional, bem como a caracterização química desses produtos. Ao pesquisar no SciELO, obteve-se uma maior prevalência de estudos envolvendo o desenvolvimento de novas bebidas à base de soro de leite, assim como a caracterização delas. No PubMed, a maioria dos artigos refere-se a bebidas de soro de leite como suplemento alimentar e à avaliação de seus benefícios.

Ao pesquisar “processos tecnológicos aplicados em bebidas à base de soro de leite” no ScienceDirect, houve prevalência de estudos do desenvolvimento de bebidas à base do soro enriquecidas com probióticos ou prebióticos e aplicação de tecnologias emergentes. No SciELO não foram encontrados estudos com esse descritor; já no PubMed encontraram-se poucos estudos e estes, novamente, abordam o desenvolvimento de produtos enriquecidos com *whey protein* (proteína do soro de leite) e sua caracterização

físico-química. Os artigos encontrados são discutidos a seguir, bem como alguns dos principais pontos tecnológicos observados pelos autores.

Segundo se sabe, bebidas à base de proteína de soro de leite com pH ácido normalmente desenvolvem sabor desagradável e adstringente. Assim, Wang *et al.* (2016) realizaram um estudo avaliando a aplicação de espectroscopia de infravermelho e da quimiometria na predição de adstringência de bebidas proteicas de soro de leite ácido. Nesse estudo, verificou-se a previsão rápida da adstringência, com um tempo de análise em torno de 3 minutos, fornecendo à indústria uma ferramenta para monitorar as características sensoriais de bebidas que contêm soro de leite.

A pasteurização e a ultrapasteurização (*ultra-high temperature* – UHT), tratamentos térmicos comuns usados no processamento de bebidas à base de soro de leite, têm um efeito negativo sobre os compostos bioativos presentes, pois essas substâncias são termossensíveis, ou seja, podem degradar ou afetar a aceitação sensorial dos produtos. Portanto, as tecnologias não convencionais, também denominadas de tecnologias emergentes, podem ser uma alternativa potencial a ser utilizada para o processamento de produtos lácteos à base de soro de leite (FERREIRA *et al.*, 2019).

Ferreira *et al.* (2019), para substituir os tratamentos térmicos convencionais realizados em produtos lácteos, estudaram diferentes condições de aquecimento ôhmico na fabricação de uma bebida à base de soro de leite com sabor de framboesa. Os resultados encontrados mostraram que o aquecimento ôhmico apresentou grande potencial para ser utilizado no processamento de bebidas à base de soro de leite, sendo essa uma tecnologia que se destaca para auxiliar a indústria de laticínios na fabricação de novos produtos.

O ultrassom, outra tecnologia emergente, pode ser usado para intensificar a recuperação de produtos valiosos do soro de leite, ou usado nas etapas de pré-tratamento, ultrafiltração, secagem por spray e cristalização. A combinação de ultrassom de baixa frequência e alta intensidade com o pré-tratamento térmico minimiza o espessamento ou a gelificação das soluções de soro de leite contendo proteínas (GAJENDRAGADKAR; GOGATE, 2016).

Barukčić *et al.* (2015) investigaram a influência do ultrassom de alta intensidade na qualidade do soro de leite doce reconstituído, para substituir os tratamentos térmicos, isto é, a pasteurização. A termossonicação, com potência nominal de 480 W por 10 minutos a 55 °C, resultou em uma melhor qualidade microbiológica e nas propriedades sensoriais em comparação à pasteurização do soro de leite.

Guimarães *et al.* (2019) avaliaram o perfil nutricional e os compostos voláteis de uma bebida prebiótica (contendo inulina) desenvolvida à base de soro, sabor graviola, submetida aos efeitos do ultrassom de alta intensidade (*high-intensity ultrasound* – HIUS). Essa bebida foi produzida e processada por ultrassom não térmico de alta intensidade variando a potência (0, 200, 400 e 600 W) e comparada ao tratamento térmico em alta temperatura. Em seus resultados, os autores perceberam que a potência do ultrassom é um fator importante na determinação das alterações nutricionais, sendo a potência média (400 W) o melhor tratamento para evitar os efeitos negativos do ultrassom. Os resultados evidenciam a viabilidade do uso do ultrassom na fabricação de laticínios funcionais, ou seja, com propriedades terapêuticas, como aumento das atividades antioxidante e anti-hipertensiva.

O objetivo do trabalho de Vargas *et al.* (2021) foi avaliar a influência do tratamento com ultrassom de alta intensidade na estrutura molecular da proteína isolada do soro de leite como uma etapa anterior para a coacervação complexa com kappa-carragenina e sua influência nas propriedades funcionais. Nos resultados do trabalho, foi possível

constatar que o uso da técnica de ultrassom de alta intensidade ajudou a melhorar algumas das propriedades funcionais da proteína isolada do soro. Em resumo, a coacervação dos complexos obtidos por ultrassom de alta intensidade e kappa-carragenina é uma ferramenta eficaz para melhorar as propriedades funcionais da proteína isolada do soro de leite.

Além de todos os benefícios citados, após o pré-tratamento assistido por ultrassom, as características do soro de leite melhoram a eficácia da ultrafiltração utilizada para separação da proteína e ajudam na prevenção do bloqueio do orifício do dispositivo de atomização do secador por spray. Também, o ultrassom pode aumentar a estabilidade ao calor das proteínas do soro do leite e, na etapa de processamento seguinte, o uso de atomização assistida por ultrassom ajuda a reduzir os tempos de tratamento, bem como a produzir o pó de concentrado de proteína com melhor qualidade (GAJENDRAGADKAR; GOGATE, 2016).

A tecnologia emergente CO<sub>2</sub> supercrítico é uma técnica usada para extração de compostos fitoquímicos de matrizes vegetais, engenharia de partículas para encapsulação e entrega de compostos de atividade biológica, entre outras aplicações, mas é pouco utilizada no processamento de alimentos. Assim, Silva *et al.* (2019) analisaram seus efeitos no processamento não térmico da bebida de soro de leite sabor graviola (*Annona muricata* L.) enriquecida com inulina, um carboidrato prebiótico, e seus resultados indicam que essa tecnologia não promoveu alterações físico-químicas e de cor na bebida prebiótica de soro de leite processada. Dessa forma, a tecnologia CO<sub>2</sub> supercrítico pode ser usada como um tratamento não térmico promissor para a produção de bebidas lácteas.

A tecnologia de plasma frio baseia-se em um gás ionizado composto por moléculas neutras, elétrons e partículas carregadas positiva e negativamente, com múltiplas interações. Dessa forma, o produto submetido a essa tecnologia apresenta preservação de compostos termossensíveis e das características físico-químicas e sensoriais, pois o processamento ocorre à temperatura ambiente. Silveira *et al.* (2019) empregaram o plasma frio como uma alternativa ao tratamento térmico tradicional utilizado nos alimentos. Nesse estudo, houve comparações das propriedades físico-químicas, físicas, térmicas e da microestrutura entre bebidas de soro de leite com sabor de goiaba submetidas à tecnologia de plasma frio (400 W usando gás nitrogênio) em diferentes condições de tempo e fluxo de gás e um produto pasteurizado convencionalmente. Concluiu-se que o tratamento com plasma pode ser uma ferramenta útil para modificar a estrutura e a reologia de produtos lácteos, permitindo o desenvolvimento de produtos com diferentes características.

Dessa forma, dadas as valiosas características nutricionais do soro de leite e a crescente conscientização do consumidor sobre os efeitos da dieta na saúde e no bem-estar, novos produtos alimentícios desenvolvidos à base do soro de leite são atraentes para os consumidores, sendo importante a preocupação com suas propriedades sensoriais e físico-químicas para seu uso como ingrediente alimentar, e as tecnologias emergentes apresentadas são uma alternativa para o processamento.

## 5 Conclusão

É perceptível que, no decorrer dos anos, os estudos relacionados ao soro de leite cresceram, principalmente devido ao fato de ele ser multifuncional e às suas propriedades físicas e bioquímicas.

Notou-se, ainda, um crescente aumento, nos últimos anos, de estudos dedicados aos avanços tecnológicos relativos ao processamento do soro de leite, como a substituição dos tratamentos térmicos convencionais por tecnologias emergentes, como o plasma frio, o aquecimento ôhmico e o ultrassom. Porém, ainda há uma prevalência de estudos relacionados aos benefícios do consumo do soro de leite e seus compostos para a saúde humana, sendo importante que sejam feitas pesquisas focadas na avaliação da qualidade e do processamento do soro de leite e em sua aplicação em diferentes produtos alimentícios.

Por fim, destaca-se a importância de conhecer, avaliar o estado da arte e pontuar os avanços tecnológicos (sejam de tecnologias convencionais ou não) de bebidas à base desse soro, indicando aos leitores perspectivas para futuras aplicações dessas diferentes tecnologias na indústria de bebidas.

## Financiamento

Os autores gostariam de agradecer à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro.

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Referências

ALVES, M. P.; MOREIRA, R. O.; RODRIGUES JÚNIOR, P. H.; MARTINS, M. C. F.; PERRONE, I. T.; CARVALHO, A. F. Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 3, p. 212-226, 2014. DOI: <https://doi.org/10.14295/2238-6416.v69i3.341>.

BARUKČIĆ, I.; JAKOPOVIĆ, K. L.; HERCEG, Z.; KARLOVIĆ, S.; BOŽANIĆ, R. Influence of high intensity ultrasound on microbial reduction, physico-chemical characteristics and fermentation of sweet whey. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 27, p. 94-10, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.10.013>.

BRANDELLI, A.; DAROIT, D. J.; CORRÊA, A. P. F. Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. **Food Research International**, v. 73, p. 149-161, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.016>.

BUHLER, S.; SOLARI, F.; GASPARINI, A.; MONTANARI, R.; SFORZA, S.; TEDESCHI, T. UV irradiation as a comparable method to thermal treatment for producing high quality stabilized milk whey. **LWT**, v. 105, p. 127-134, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.051>.

CAPPATO, L. P.; FERREIRA, M. V. S.; MORAES, J.; PIRES, R. P. S.; ROCHA, R. S.; SILVA, R.; CUCINELLI NETO, R. P.; TAVARES, M. I. B.; FREITAS, M. Q.; RODRIGUES, F. N.; CALADO, V. M. A.; RAICES, R. S. L.;

SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Whey acerola-flavoured drink submitted Ohmic Heating: bioactive compounds, antioxidant capacity, thermal behavior, water mobility, fatty acid profile and volatile compounds. **Food Chemistry**, v. 263, p. 81-88, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.115>.

CHWIALKOWSKA, J.; DUBER, A.; ZAGRODNIK, R.; WALKIEWICZ, F.; ŁĘŻYKZ, M.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. Caproic acid production from acid whey via open culture fermentation: evaluation of the role of electron donors and downstream processing. **Bioresource Technology**, v. 279, p. 74-83, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.086>.

DINIKA, I.; VERMA, D. K.; BALIA, R.; UTAMA, G. L.; PATEL, A. R. Potential of cheese whey bioactive proteins and peptides in the development of antimicrobial edible film composite: A review of recent trends. **Trends in Food Science & Technology**, v. 103, p. 57-67, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.017>.

FERREIRA, M. V. S.; CAPPATO, L. P.; SILVA, R.; ROCHA, R. S.; CUCINELLI NETO, R. P.; TAVARES, M. I. B.; ESMERINO, E. A.; FREITAS, M. Q.; BISSAGIO, R. C.; RANADHEERA, S.; RAICES, R. S. L.; SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Processing raspberry-flavored whey drink using ohmic heating: physical, thermal and microstructural considerations. **Food Research International**, v. 123, p. 20-26, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.045>.

GAJENDRAGADKAR, C. N.; GOGATE, P. R. Intensified recovery of valuable products from whey by use of ultrasound in processing steps: a review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 32, p. 102-118, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.02.023>.

GANJU, S.; GOGATE, P. R. A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. **Journal of Food Engineering**, v. 215, p. 84-96, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.021>.

GIRALDO-ZUÑIGA, A. D.; COIMBRA, J. S. R.; GOMES, J. C.; MINIM, L. A.; ROJAS, E. E. G.; GADE, A. D. Tecnologias aplicadas ao processamento do soro de queijo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 59, n. 340, p. 53-66, 2004.

GUIMARÃES, J. T.; SILVA, E. K.; RANADHEERA, C. S.; MORAES, J.; RAICES, R. S. L.; SILVA, M. C.; FERREIRA, M. S.; FREITAS, M. Q.; MEIRELES, M. A. A.; CRUZ, A. G. Effect of high-intensity ultrasound on the nutritional profile and volatile compounds of a prebiotic soursop whey beverage. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 55, p. 157-164, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.025>.

HE, Z.; ZHAO, J.; LIU, C.; LI, W.; WANG, Y. Ameliorating effect of  $\gamma$ -aminobutyric acid on the physical performance of whey protein films. **Food Hydrocolloids**, v. 124, Part A, 107207, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107207>.

KADYAN, S.; RASHMI, H. M.; PRADHAN, D.; KUMARI, A.; CHAUDHARI, A.; DESHWAL, G. K. Effect of lactic acid bacteria and yeast fermentation on antimicrobial, antioxidative and metabolomic profile of naturally carbonated probiotic whey drink. **LWT**, v. 142, 111059, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111059>.



KINSELLA, J. E.; WHITEHEAD, D. M. Proteins in whey: chemical, physical, and functional properties. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 33, p. 343-438, 1989. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(08\)60130-8](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(08)60130-8).

KRUNIĆ, T. Ž.; OBRADOVIĆ, N. S.; RAKIN, M. B. Application of whey protein and whey protein hydrolysate as protein based carrier for probiotic starter culture. **Food Chemistry**, v. 293, p. 74-82, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.062>.

MAGALHÃES, K. T.; DRAGONE, G.; PEREIRA, G. V. M.; OLIVEIRA, J. M.; DOMINGUES, L.; TEIXEIRA, J. A.; SILVA, J. B. A.; SCHWAN, R. F. Comparative study of the biochemical changes and volatile compound formations during the production of novel whey-based kefir beverages and traditional milk kefir. **Food Chemistry**, v. 126, n. 1, p. 249-253, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.012>.

MANN, B.; ATHIRA, S.; SHARMA, R.; KUMAR, R.; SARKAR, P. Bioactive peptides from whey proteins. In: DEETH, H. C.; BANSAL, N. (ed.). **Whey proteins: from milk to medicine**. London: Elsevier, 2019. Chapter 14, p. 519-547. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00015-1>.

MOHAMMADI, M.; MIRABZADEH, S.; SHAHVALIZADEH, R.; HAMISHEHKAR, H. Development of novel active packaging films based on whey protein isolate incorporated with chitosan nanofiber and nano-formulated cinnamon oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 149, p. 11-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.083>.

NICOLÁS, P.; FERREIRA, M. L.; LASSALLE, V. Magnetic solid-phase extraction: a nanotechnological strategy for cheese whey protein recovery. **Journal of Food Engineering**, v. 263, p. 380-387, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.020>.

OLIVEIRA, A. C. S.; UGUCIONI, J. C.; ROCHA, R. A.; BORGES, S. V. Development of whey protein isolate/polyaniline smart packaging: Morphological, structural, thermal, and electrical properties. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 14, 47316, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.47316>.

ÖZER, B. H.; KIRMACI, H. A. Functional milks and dairy beverages. **International Journal of Dairy Technology**, v. 63, n. 1, p. 1-15, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2009.00547.x>.

PANESAR, P. S.; KENNEDY, J. F.; GANDHI, D. N.; BUNKO, K. Bioutilisation of whey for lactic acid production. **Food Chemistry**, v. 105, n. 1, p. 1-14, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.035>.

PLAYNE, M. J.; BENNETT, L. E.; SMITHERS, G. W. Functional dairy foods and ingredients. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 58, n. 3, p. 242-264, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/102.100.100/192074?index=1>. Acesso em: 29 ago. 2023.

SCHMID, M.; HELD, J.; HAMMANN, F.; SCHLEMMER, D.; NOLLER, K. Effect of UV-radiation on the packaging-related properties of whey protein isolate based films and coatings. **Packaging Technology and Science**, v. 28, n. 10, p. 883-899, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/pts.2150>.

SILVA, E. K.; GUIMARÃES, J. T.; COSTA, A. L. R.; CRUZ, A. G.; MEIRELES, M. A. A. Non-thermal processing of inulin-enriched soursop whey beverage using supercritical carbon dioxide technology. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 154, 104635, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104635>.

SILVEIRA, M. R.; COUTINHO, N. M.; ROCHA, R. S.; MORAES, J.; ESMERINO, E. A.; PIMENTEL, T. C.; FREITAS, M. Q.; SILVA, M. C.; RAICES, R. S. L.; RANADHEERA, C. S.; BORGES, F. O.; FONTELES, T. V.; CUCINELLI NETO, R. P.; TAVARES, M. I. B.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; CRUZ, A. G. Guava flavored whey-beverage processed by cold plasma: physical characteristics, thermal behavior and microstructure. **Food Research International**, v. 119, p. 564-570, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.033>.

SONG, T.-S.; LEE, K.-S.; KANG, S.-B.; YOO, S.-H.; LEE, J.-I.; YOON, S.-S. Synthesis of galactooligosaccharides in the cheese whey-based medium by a lactase from *Lactobacillus paracasei* YSM0308. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 33, n. 5, p. 565-571, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2013.33.5.565>.

VARGAS, S. A.; DELGADO-MACUIL, R. J.; RUIZ-ESPINOSA, H.; ROJAS-LÓPEZ, M.; AMADOR-ESPEJO, G. G. High-intensity ultrasound pretreatment influence on whey protein isolate and its use on complex coacervation with *kappa* carrageenan: evaluation of selected functional properties. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, 105340, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105340>.

WANG, T.; TAN, S.-Y.; MUTILANGI, W.; PLANS, M.; RODRIGUEZ-SAONA, L. Application of infrared portable sensor technology for predicting perceived astringency of acidic whey protein beverages. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 12, p. 9461-9470, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11411>.

WHERRY, B.; BARBANO, D. M.; DRAKE, M. A. Use of acid whey protein concentrate as an ingredient in nonfat cup set-style yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 10, p. 8768-8784, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16247>.

ZANON, E. O.; PIMENTEL, T. C.; GOMEZ, R. J. H. C.; FAGNANI, R. Development of a whey protein spread enriched with  $\beta$ -glucan: an alternative for whey valorization. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 4, p. 1711-1717, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10186>.

ZHANG, G.; LI, Y.; SONG, T.; BAO, M.; LI, Y.; LI, X. Improvement in emulsifying properties of whey protein-Rhamnolipid conjugates through short-time heat treatment. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 181, p. 688-695, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.06.015>.