

CAPÍTULO 08

DOI:10.29327/5586690.1-8

SORO DE LEITE: “OURO VERDE” OU UM RESÍDUO AGROINDUSTRIAL

WHEY: “GREEN GOLD” OR AN AGROINDUSTRIAL WASTE

Jefferson Renan Pinheiro Rodrigues
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Krause Gonçalves Silveira Albuquerque
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Mateus Ribeiro Costa
Universidade Federal de Pernambuco

Jaqueline dos Santos Silva Pinheiro Rodrigues
Universidade Federal de Pernambuco

João Paulo Alves Marinho
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Adamirely Bezerra de Melo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Gerla Castello Branco Chinelate
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO:

A indústria de alimentos, especialmente os laticínios, gera uma grande quantidade de resíduos, como o soro de leite, que possui alto valor biológico e carga orgânica, podendo contaminar solos e lençóis freáticos se descartado inadequadamente. Este estudo visa analisar o soro de leite, discutindo seus aspectos positivos e negativos. Uma revisão narrativa foi realizada utilizando os bancos de dados PubMed, SciELO, Portal de Periódicos Capes e Science Direct, de setembro de 2023 a outubro de 2024. A má gestão do soro impacta negativamente o meio ambiente, a saúde e a economia. Por outro lado, considera-se o soro como um coproduto, destacando sua composição nutricional, versatilidade e possíveis aplicações, como subprodutos, bioativos ou revestimentos para alimentos. Investigar o uso do soro de leite pode promover desenvolvimento técnico-científico sustentável na produção de alimentos. O termo "ouro verde" ressalta a importância deste nutricionalmente, economicamente e ambientalmente. Portanto, é crucial desenvolver abordagens adequadas para a gestão sustentável dos resíduos agroindustriais, transformando-os em produtos de valor agregado para diversos setores industriais.

PALAVRAS-CHAVES: Soro de leite; Resíduos; Agroindústria; Alimentos; Lácteos.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos principais protagonistas globais na produção de laticínios, gozando de uma notável proeminência econômica neste domínio. O leite, reconhecido como uma das *commodities* agroalimentares mais críticas à escala mundial, é elogiado não apenas pelo seu aporte econômico, mas também pela sua qualidade intrínseca como um alimento natural de exímio valor nutricional (Teixeira *et al.*, 2020). Trata-se de uma rica fonte de cálcio, proteínas de alto valor biológico, bem como vitaminas e minerais essenciais para a saúde humana. Por meio da aplicação de procedimentos tecnológicos que envolvem a separação, adição ou remoção de seus componentes, é viável a obtenção de uma multiplicidade de produtos laticínios, todos eles carregados de valor comercial e nutricional (Foroutan *et al.*, 2019).

Estes produtos abrangem uma diversificada gama de derivados lácteos, tais como: queijos, bebidas lácteas, emulsões, gorduras lácteas e queijos fundidos. Dentro desse conjunto de subprodutos, destaca-se o soro de leite, um subproduto inerente à coagulação do leite no processo de fabricação de queijos, que tem demonstrado notável relevância nas operações das indústrias de processamento de produtos lácteos, devido ao seu papel

essencial como matéria-prima fundamental na formulação de alimentos (Ribeiro *et al.*, 2020).

No contexto do processo convencional de manufatura de queijos, procede-se à segregação de uma fração aquosa designada como soro de leite, a qual, em grande medida, é considerada um subproduto residual, sobretudo em instalações de produção artesanal, devido ao seu elevado teor de matéria orgânica (Santos de Lima *et al.*, 2021). No território brasileiro, aproximadamente 40% do soro de leite produzido é inadequadamente descartado, em sua maior parte por queijarias de pequeno e médio porte, resultando em graves impactos ambientais decorrentes da alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) exigida por essa substância que supera de 10 a 100 vezes os níveis encontrados no esgoto residencial (Salas-Vargas *et al.*, 2021). Em virtude disso, a valorização e reutilização deste efluente emergem como um imperativo crucial na atenuação dos impactos ambientais.

Neste contexto, os diferentes tamanhos de queijarias e sua dispersão pelo território brasileiro dificultam a implantação de uma processadora de soro ou inviabilizam a logística de coleta desse soro produzido apesar do seu alto valor biológico, nos últimos anos, o processamento industrial de soro, no Brasil, sofreu um processo de aceleração com implantação de fábricas processadoras de soro em alguns estados como: Minas Gerais, Paraná, Bahia, Rio Grande do Sul, Espírito Santo e Rondônia (Roberto Pasquini; Ferrarezi Junior, 2022).

O soro de leite, uma vez já considerado um coproduto secundário, agora é valorizado por suas notáveis propriedades e benefícios. Ele serve como matéria-prima essencial na formulação de produtos alimentares de alta qualidade, contribuindo para a criação de alimentos ricos em proteínas e nutrientes essenciais. Sua versatilidade torna possível a produção de uma variedade de itens que atendem às demandas dos consumidores por produtos saudáveis e saborosos (Clara *et al.*, 2022).

Nesta perspectiva, é evidente que o setor de laticínios no Brasil está aproveitando não apenas a produção de leite, mas também o potencial transformador do soro de leite. À medida que a indústria avança em tecnologia e inovação, espera-se que o soro de leite continue a desempenhar um papel central na expansão da oferta de produtos lácteos diversificados (soro de leite em pó, soro de leite desmineralizado, soro de leite deslactosado, alimentos e bebidas funcionais, ácido láctico, bioetanol, bioplásticos, filmes e biofilmes, biogás, concentrado de proteína de soro de leite (WPC), isolado de proteína

de soro de leite (WPI) ou lactose) e na ampliação do valor agregado a essa importante cadeia produtiva (Bitencourt *et al.*, 2023).

Dada a importância do soro de leite no contexto socioeconômico e ambiental, objetivou-se com este trabalho realizar uma revisão de literatura abordando as diferentes aplicações deste subproduto e seus impactos ao meio ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho trata de um estudo qualitativo, de natureza descritiva, que consiste em uma revisão sistemática narrativa conduzida no banco de dados PubMed, SciELO, Portal de periódicos Capes, Science Direct. A pesquisa foi conduzida ao longo de uma semana, abrangendo o período de 20 de setembro a 30 de março de 2013. Foram estabelecidos critérios de inclusão que se limitaram a artigos originais e se basearam nos descritores: "Resíduos agroindustriais", "Soro do Leite", "Ouro Verde", "Subproduto" e "Coproduto". Durante a fase inicial de busca utilizando os descritores citados (em inglês e em português).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

SORO DE LEITE

O soro de leite é um líquido de tonalidade amarelo-esverdeada, caracterizado por um sabor levemente ácido ou doce, a depender do processo de coagulação feito na produção do queijo, e tem sua origem na coagulação do leite utilizado na produção de queijo (Asunis *et al.*, 2020). Costa *et al.* (2022) afirmam que a composição e a natureza do soro de leite produzido em ambientes industriais são altamente influenciadas pelo tipo de queijo em produção e pela tecnologia empregada no processo. A figura 1 apresenta um passo a passo do processo tecnológico da produção do queijo que resulta na formação do soro.

Na maioria das vezes os chamados "resíduos agroindustriais", contêm uma significativa quantidade de componentes de alto valor nutricional. Um exemplo é o soro, que representa aproximadamente 80% a 90% do volume total do leite utilizado na produção industrial de produtos lácteos (Salas-Vargas *et al.*, 2021). Os autores destacam

também que, o soro é rico em nutrientes, contendo cerca de 50% dos elementos presentes no leite original, tais como proteínas solúveis, lactose, vitaminas e minerais. A composição do soro de leite pode ser classificada em dois tipos distintos com base no seu valor de pH. Quando o pH está na faixa entre 5,9 e 6,6, ele é conhecido como "soro doce". Por outro lado, quando o soro é resultante da produção de caseína precipitada por ácidos e apresenta valores de pH entre 4,3 e 4,6, é denominado "soro ácido" (Gonzalez- Piedra *et al.*, 2021). A Tabela 1 a seguir detalha a composição dos soros doce e ácido para uma melhor compreensão.

Tabela 01: Composição estimada do soro de leite

Componentes	(%) Soro ácido	(%) Soro doce
Ácido láctico	0,1 - 0,8	0,1
Água	94 – 95	93 – 94
Gordura	0,3 - 0,6	0,3 - 0,5
Lactose	3,8 - 4,2	4,5 - 5,0
Compostos nitrogenados	0,6 - 0,8	0,8 - 1,0
Minerais	0,7 - 0,8	0,5 - 0,7

Fonte: Adaptado de Madrid *et al.*, 1995 apud Brito, 2021.

Ainda em relação a sua composição, o soro possui cerca de 93% de água, 5% de lactose, 0,7% a 0,9% de proteínas, 0,3% a 0,5% de gordura, 0,2% de ácido láctico e quantidades diminutas de vitaminas. As proteínas presentes no soro de leite abrangem uma variedade de componentes, incluindo a α -Lactalbumina, β -Lactoglobulina, albumina de soro, imunoglobulinas, proteose e peptonas (BAER *et al.*, 2001). Tais proteínas apresentam um alto valor biológicos, apresentando uma rápida digestão e estimulando a síntese de proteínas muscular, além de também possuir efeitos antioxidantes e terapêuticos (Corrochano *et al.*, 2018).

Em termos de geração, observa-se que aproximadamente de 1 a 6 litros de soro são produzidos para cada litro de leite processado. Além disso, para cada quilograma de queijo fabricado, são gerados impressionantes 10 quilogramas de soro (Antonelli *et al.*,

2019). Para Usmani *et al.* (2022), é importante destacar que a obtenção da proteína do soro de leite ocorre por meio do processo de precipitação da proteína caseína. Essas características peculiares do soro de leite o tornam um subproduto notável na indústria de alimentos, despertando interesse devido à sua riqueza nutricional e à sua versatilidade em aplicações na produção de alimentos e produtos relacionados.

Aplicações na agricultura

Nas vastas extensões das zonas rurais de países em desenvolvimento, as atividades econômicas se concentram predominantemente na criação de gado e na produção de laticínios, lideradas por pequenas empresas ou agricultores familiares. Nesse cenário, há uma contribuição para a segurança alimentar e para a subsistência para inúmeras famílias de pequenos produtores (Ramos *et al.*, 2024). Em 2018 a procura de produtos lácteos nos países em desenvolvimento aumentou significativamente (FAO, 2018; PIB, 2018).

Na indústria de laticínios, os principais subprodutos gerados, como as águas residuais e o soro de queijo, são caracterizados por seu importante valor nutricional, com teores significativos de matéria orgânica solúvel (Asas *et al.*, 2021). No entanto, apesar dessas propriedades valiosas, é comum o descarte inadequado do soro como um mero subproduto da produção de queijo. Essa prática acarreta um problema ambiental relevante, uma vez que o soro possui potencial para ser reutilizado de maneiras diversas, seja como ingrediente em produtos alimentícios, na alimentação animal ou na produção de biogás (Bella; Rao, 2021). A subutilização do soro não apenas representa uma perda econômica, mas também contribui para a poluição ambiental, destacando a necessidade de estratégias eficazes de gestão de resíduos na indústria de laticínios (Ramos *et al.*, 2024).

Uma estratégia de baixo custo e eficaz para o tratamento do soro na indústria de laticínios é a sua co-digestão com outros resíduos comuns em pequenas propriedades, como o esterco bovino. Um estudo demonstrou que a sinergia resultante da co-digestão anaeróbica desses substratos permite um aumento significativo nos rendimentos de biogás em comparação com a digestão de substratos de forma independente (Rico *et al.*, 2015).

Este soro residual possui características que fazem dele um substrato atrativo para a produção de metano por consórcios microbianos. Segundo Bella e Rao (2021), sua

biodegradabilidade gira em torno de 99% e é caracterizado por sua riqueza em macronutrientes, como proteínas (9%), lactose (70–80%), matéria orgânica (até 80 g/L de demanda química de oxigênio), minerais (8–20%), e baixas concentrações de peptídeos e lipídios hidrolisados. Para Jaimes-Estévez *et al.*, (2020), a união entre o soro e o esterco bovino pode renovar o conteúdo de microrganismos e fornecer nutrientes e oligoelementos essenciais para o crescimento bacteriano e arqueano, além disso, eles podem substituir o uso de produtos químicos na regulação do pH. Essa abordagem integrada não só promove a eficiência na gestão de resíduos, mas também maximiza os benefícios ambientais e econômicos da produção de biogás na indústria de laticínios.

O uso de efluentes de laticínios, sobretudo do soro de leite pode apresentar diversas aplicações e benefícios para a agricultura, contudo o processo de aplicação dos efluentes deve ser acompanhado de forma criteriosa, levando-se em consideração as áreas, definição de lâminas e frequência de aplicação, assim como deve ser realizado o monitoramento de tais áreas através de ensaios agronômicos (Ferraz, 2021). Além da adubação, o uso de soro de leite nas áreas de cultivo pode melhorar as características físicas do solo, diminuindo a compactação, pois a recuperação da estrutura do solo pode ser obtida através do manejo adequado do sistema, principalmente com o aumento dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) (Teixeira, 2020).

O soro do leite pode ser vastamente empregado para auxiliar na adubação de culturas de interesse agrícola e está alinhado com uma agricultura orgânica e sustentável. Uma vez que a agricultura orgânica temo como princípio norteador o não uso de insumos artificiais e químicos durante o processo de cultivo, assim impactando positivamente o meio ambiente e os aspectos sociais, uma vez que o processo gera produtos mais saudáveis e evita a exposição dos trabalhadores do campo aos produtos químicos (Friedrich; Feiden; Fulber, 2022).

A busca por alimentos mais saudáveis e processos produtivos mais sustentáveis reforça a necessidade dos sistemas convencionais de produção agrícola se adaptarem as práticas sustentáveis, havendo uma tendência crescente de modelos cujas estruturas de produção estejam alinhadas com as demandas dos consumidores por sustentabilidade, assim como é preconizado na produção orgânica (Leitão; Ferreira, 2022).

Em um estudo recente, foi demonstrado que o uso do soro de leite diluído para adubação da cana-de-açúcar colabora com o desenvolvimento da cultivar, reduzindo

custos de produção. Contudo os autores indicam ainda a necessidade de mais pesquisas na área de forma a caracterizar os efeitos a longo prazo do uso do soro na cultura da cana-de-açúcar (Lima *et al.*, 2022).

IMPACTO AMBIENTAL DO SORO DO LEITE

O Brasil se destaca em várias áreas da agropecuária, com a produção de leite sendo uma delas, onde as indústrias de laticínios desempenham um papel fundamental, não apenas na produção de leite, mas também na fabricação de seus produtos derivados, como queijo, manteiga, requeijão e outros. O setor lácteo tem demonstrado um crescimento contínuo, com um marco expressivo em 2020, quando alcançou a impressionante marca de 35,4 bilhões de litros de leite produzidos em um único ano (Brasil, 2021).

Sob a ótica econômica, a inadequada dispersão do soro de leite representa um desafio significativo que demanda um investimento considerável de recursos financeiros. É notável que aproximadamente 85% do leite que é processado em instalações industriais acaba sendo descartado. Esse desperdício ocorre principalmente devido à falta de infraestrutura apropriada, que é uma carência frequentemente observada em muitos laticínios, sobretudo aqueles de pequeno e médio porte. Essas empresas, que frequentemente enfrentam limitações em termos de recursos e capacidade técnica, acabam por não conseguir reduzir ou eliminar o impacto ambiental associado ao processo industrial (Salas-Vargas *et al.*, 2021).

Embora possa ser utilizado como suplemento nutricional para o gado, isso não é suficiente para aproveitar todo o soro, levando ao seu descarte em corpos d'água ou campos de cultivo (Addai *et al.*, 2020). Os autores de ambos os trabalhos convergiram na ideia de que esse subproduto industrial apresenta um elevado teor de matéria orgânica, atingindo até uma faixa de 25.000 a 80.000 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Se não for devidamente tratado e descartado, como é o caso das pequenas queijarias e alguns laticínios, o soro de leite pode causar uma série de problemas ambientais (Salas-Vargas *et al.*, 2021; Addai *et al.*, 2020).

De acordo com Silva (2011) o soro é aproximadamente cem vezes mais poluente que o esgoto doméstico, o leiteiro e o leite ácido, tendo em vista seus valores nutritivos e

seu elevado teor de carga orgânica, sendo recomendado a coleta dos diferentes resíduos gerados pelos laticínios para o adequado uso como subproduto ou tratamento. Nunes *et al.* (2018) identificaram em seu trabalho que a demanda de oxigênio do soro de leite pode chegar a aproximadamente 80.000 mg O₂ L⁻¹.

Além disso, o descarte do soro em cursos d'água pode levar ao crescimento excessivo de algas e microrganismos devido ao aumento da disponibilidade de nutrientes, resultando em eutrofização (Najar-Almanzor *et al.*, 2023). Ainda conforme os autores, o processo de eutrofização, por sua vez, pode causar a morte de peixes e a deterioração dos ecossistemas aquáticos. No contexto agrícola, o uso do soro de leite para irrigação em campos pode ter efeitos prejudiciais. Isso ocorre porque o soro pode modificar o pH do solo e afetar sua fertilidade, o que pode reduzir o rendimento das culturas. Isso pode ter implicações significativas na produção de alimentos e na sustentabilidade agrícola (Asunis *et al.*, 2021).

No que diz respeito ao descarte inadequado de soro de leite diretamente no solo, é possível a geração de contaminações do solo com nutrientes em excesso, como nitrogênio e fósforo, onde tais nutrientes podem lixiviar para os lençóis freáticos, causando a poluição tanto do solo quanto de fontes subterrâneas de água (Asunis *et al.*, 2020). Tal situação pode gerar ainda o surgimento de odores desagradáveis, gerando inconvenientes para a população local (Zhang *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2019)

A contaminação de águas superficiais e subterrâneas pelo soro de leite, representa um risco para a saúde pública, uma vez que essas fontes de água são utilizadas para diferentes fins, frequentemente sendo usadas para abastecimento humano e animal, assim, torna-se crucial a adoção de práticas de gestão responsável dos efluentes dos laticínios, bem como seu tratamento adequado e reutilização, para minimizar os impactos negativos no meio ambiente, por consequência, influenciando na saúde pública (Usmani *et al.*, 2022).

APLICAÇÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO

Cosméticos

A indústria de cosméticos busca constantemente ingredientes inovadores com maior potencial bioativo e melhor disponibilidade para atender à crescente demanda por

produtos naturais e orgânicos. Isso abrange uma ampla variedade de matérias-primas, desde resíduos até óleos vegetais (Majchrzack, 2022). Há também a produção de cremes e loções para a pele, explorando as propriedades hidratantes e anti-inflamatórias, assim como tem sido explorado o tratamento de doenças de pele, tais como a dermatite atópica e psoríase a partir de produtos à base de soro de leite (DIAS *et al.*, 2017). Esses biofermentos desempenham um papel fundamental na restauração do equilíbrio natural do microbiota da pele, frequentemente perturbado por fatores externos, e estão diretamente ligados à promoção de uma pele saudável (Majchrzack, 2022).

Neste estudo de Speer *et al.* (2021), foram empregados os biopolímeros proteína de soro de leite e quitosana na criação de uma emulsão sensível à temperatura. As concentrações tanto da proteína de soro de leite quanto da quitosana foram variadas. Os resultados obtidos têm o potencial de informar o desenvolvimento de estratégias destinadas a incorporar materiais sensíveis à temperatura em formulações que sejam tanto estáveis e de alto desempenho, especialmente no contexto de produtos cosméticos. A emulsão óleo/emulsão contendo concentrado de proteína de soro de leite e quitosana evidenciou a capacidade de ajustar o comportamento sensível à temperatura e reológico por meio da utilização de diferentes tipos de óleos e condições específicas.

Embalagem de alimentos

A procura pelas chamadas embalagens “verdes” acelerou a investigação sobre embalagens ativas de base biológica. Filmes comestíveis ou biodegradáveis são alternativas verdes aos plásticos tradicionais e ajudam no controle da poluição ambiental (Zandona; Blazic; Rezek Jambrak, 2021c). Os chamados biofilmes apresentam muitas vantagens, pois podem preservar a umidade, evitar a perda de componentes importantes e ainda serem consumidos junto com o produto sem remoção prévia (Kamal; Ali; Le, 2023).

O reaproveitamento de produtos e subprodutos agroindustriais têm atraído interesse científico significativo para a exploração da proteína do soro do leite, pois os filmes que possuem este composto em sua formulação funcionam como barreira ao oxigênio e podem se biodegradar rapidamente, se destacando como produtos de fonte

sustentáveis e materiais alternativos biodegradáveis, podendo ser consideradas para substituição de filmes a base fibras sintéticas como o náilon e o poliéster (Xin *et al.*, 2023).

Assim, a utilização de filmes comestíveis em alimentos não só preserva suas características de qualidade, como cor, acidez, açúcar e sabor, mas conserva os valiosos componentes nutricionais e aumenta a vida de prateleira dos mesmos (Sessa *et al.*, 2015; Feng *et al.*, 2018). Além disso, a melhoria das propriedades físicas, funcionais e de textura desses filmes podem ser alcançadas por meio da adição de substâncias químicas, enzimas e probióticos, que promovem ligações intra e intermoleculares mais fortes (Soukoulis *et al.*, 2014).

Os filmes à base de soro proteínas são especialmente notáveis, devido à sua transparência, flexibilidade e ausência de odor e sabor, o que os torna amplamente utilizados em diversas aplicações (Ket-on *et al.*, 2016). Quando aplicados em alimentos, esses biofilmes demonstraram ser eficientes na extensão do período de vida útil. Isso ocorre porque esses filmes agem como uma barreira física ou termodinâmica, retardando reações prejudiciais e as taxas de transferência de gás e umidade entre o ambiente e o produto (Soukoulis *et al.*, 2014; Espitia *et al.*, 2016).

De acordo com a pesquisa de Rodrigues *et al.* (2022), a utilização do soro de leite líquido, como um solvente ecológico para matrizes hidrocoloidais, como o amido e a quitosana, demonstrou uma interação eficaz, resultando na produção de biofilmes com uma espessura uniforme e possibilidade de aplicação como revestimento para produtos lácteos.

O estudo de Marquez (2023), onde o autor elaborou filmes a base de proteínas do soro de leite demonstraram baixa tendência à deformação, bem como exibiram uma textura pegajosa. Filmes comestíveis são amplamente conhecidos pelos profissionais que atuam nos diversos seguimentos do setor de alimentos, não sendo considerados uma inovação por si só, constituindo-se como películas finas fabricadas a partir de polissacarídeos, proteínas, lipídios ou seus derivados. Esse tipo de filme se destaca como uma alternativa sustentável aos filmes convencionais à base de petróleo, visto que sua versatilidade permite que sejam consumidos junto com o produto, proporcionando uma solução "verde" para embalagens de alimentos (Dianin *et al.*, 2019). A aplicação desses filmes sobre a superfície dos produtos alimentícios pode ser realizada de várias maneiras,

incluindo pincelamento, pulverização ou imersão (Soukoulis *et al.*, 2014; Saadan *et al.*, 2017).

Desenvolvimento de produtos e processos

As proteínas de soro de leite podem ser amplamente utilizadas na elaboração de outros produtos alimentícios, tais como bebidas lácteas, pães, biscoitos, produtos cárneos e formulações específicas para o público infantil, sendo possível a substituição parcial ou total de gordura (Hammam; Admed, 2019).

No estudo realizado por Silva (2022), foi observado que as isoflavonas foram eficazmente incorporadas no isolado proteico de soro de leite por meio do processo de *spray-drying*. Esse processo resultou em um aumento significativo na concentração de fenólicos totais, triplicando em relação à forma livre das isoflavonas. Em relação à caracterização das microcápsulas obtidas, os resultados indicaram que essas apresentavam uma superfície rugosa e diâmetros médios variando de 2,5 a 4,3 μm . Além disso, os valores de atividade de água e umidade se mostraram adequados quando comparados com os dados disponíveis na literatura.

Ainda em relação ao estudo feito por Silva (2012), as análises infravermelhas e termogravimétricas realizadas confirmaram a eficiência do processo de encapsulação. Esses resultados sugerem que a técnica de *spray-drying* foi capaz de encapsular as isoflavonas de maneira eficaz, resultando em um aumento na concentração de fenólicos totais e na obtenção de microcápsulas com características físicas e químicas apropriadas.

O estudo conduzido por Braga (2015) investigou a viabilidade de utilizar componentes do leite e do soro de leite como materiais para revestimento, bem como a sua combinação com goma arábica e gelatina na criação de microcápsulas através da técnica de coacervação complexa.

Pode-se inferir que a utilização exclusiva de carboidratos e proteínas do leite como materiais de revestimento, nas condições avaliadas no estudo de Braga (2015), não resultou na formação de microcápsulas. No entanto, o autor observou que ao incorporar essas proteínas e carboidratos com gelatina e goma arábica, respectivamente, tornou-se possível obter microcápsulas com sucesso.

Aplicações em Nanotecnologia

Conforme Pizeta (2021), é inegável a importância da nanotecnologia para o aprimoramento de produtos e processos em diversos segmentos industriais e científicos. No ramo alimentício, as oportunidades e desafios que essa tecnologia oferece são numerosos, além disso, a nanotecnologia tem o potencial de desempenhar um papel crucial em alimentos, permitindo manutenção ou modificações em termos de cor, sabor e valor nutricional.

O estudo conduzido por Oliveira (2022), destaca a utilização de concentrado proteico de soro de leite para a criação de nanopartículas através da técnica de reticulação química. Além disso, investigou-se as interações resultantes da reticulação com as soluções de soro de leite não tratadas, empregando análises térmicas, espectroscópicas e microscópicas.

A análise das nanopartículas que continham concentrado proteico de soro de leite, realizada por meio da Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), revelou a incorporação dos ácidos nas nanopartículas. Essa análise também indicou que a curva de uma das amostras apresentou diferenças significativas em relação às soluções de soro de leite que não passaram pelo processo de reticulação (Oliveira, 2022).

Produção de alimentos e bebidas funcionais

Os alimentos funcionais apresentam, para além da capacidade de nutrir, alguns efeitos metabólicos e fisiológicos no organismo humano, estando os seus efeitos associados a ingestão regular de frutas, verduras, cereais e outros alimentos ricos em fibras e outros nutrientes (Vidal *et al.*, 2012).

Os alimentos e bebidas funcionais são uma das categorias mais ambiciosas e inovadoras da indústria alimentar, continuando a gerar grande interesse entre muitos consumidores, pois oferecem benefícios para a saúde que vão além da nutrição básica. O

soro de leite e seus componentes são cada vez mais utilizados como ingredientes funcionais em produtos dietéticos e de saúde, enquanto os bioativos proteínas são mais frequentemente usadas tanto na indústria farmacêutica quanto indústrias nutricionais (Blazic *et al.*, 2018). Até o momento, os pesquisadores têm se concentrado na investigação da produção de bebidas à base de soro de leite de soro de leite agridoce nativo ou de soro de leite em pó, desproteínizado e diluído (Barukcic; Jakopovic; Bozanic, 2019).

As maiores empresas de laticínios no mundo já introduziram uma nova geração de produtos à base de soro de leite (De Matos Reis *et al.*, 2021). Os autores relatam ainda que a inclusão do soro de leite na bebida por eles desenvolvida revelou-se uma excelente escolha para aproveitar essa matéria-prima de custo mais acessível, resultando em um aumento na aceitação do produto. A formulação com uma proporção de 50% de leite e 50% de soro de leite obteve uma alta taxa de aprovação, com 91,5% entre as crianças e 73,6% entre os adolescentes.

Embora a produção de tais bebidas está provando ser a abordagem mais econômica para utilização do soro de leite na alimentação humana, existem diversas dificuldades quanto à sua produção, como a suscetibilidade à deterioração microbiana devido ao alto teor de água e a sensibilidade das proteínas do soro do leite a tratamentos térmicos em temperaturas superiores a 60 °C (Ribeiro *et al.*, 2020). A maioria das proteínas do soro precipitam após o tratamento térmico habitual do soro de leite (a 72 °C durante 15–20 s) (Zandona; Blazic; Rezek Jambrak, 2021b)

Portanto, muitas pesquisas visam implementar soluções não térmicas e técnicas na produção de bebidas à base de soro de leite, como a separação por membrana, ultrassom de alta intensidade ou tecnologia supercrítica de dióxido de carbono. A implementação de tais métodos não térmicos superam as dificuldades acima mencionadas e melhora as propriedades dos produtos desenvolvidos (Bauer *et al.*, 2020).

Produção de Bioativos

A proteína de soro hidrolisada, *Whey Protein Hydrolysate* (WPH), obtida por meio da hidrólise das moléculas de proteínas do soro, formam segmentos proteicos menores,

como aminoácidos e peptídeos de baixo peso molecular (SINHA *et al.*, 2017). O soro de leite é alvo de diversos estudos devido principalmente ao alto valor nutricional e potencial poluente. Contudo, para além disso, tal composto possui uma série de microrganismos, os quais podem ser isolados, caracterizados e analisados quanto as suas propriedades tecnológicas e funcionais, sendo possível a utilização deste em processos para produção de bioativos de interesse industrial, assim como o soro pode ser utilizado como substrato alternativo para o barateamento dos processos de produção de bioativos por microrganismos exógenos a tal meio.

Um desses bioativos são os pigmentos naturais, estudos realizados por Silva (2020), demonstraram que a produção de carotenoides por leveduras do gênero *Rhodotorula* em fermentação submersa tendo o soro de leite como principal substrato apresentou resultados promissores na produção do pigmento.

Avanços na tecnologia de isolamento de proteínas permitiram a separação das proteínas do soro de queijo em sua forma não desnaturada, levando à produção de outros dois subprodutos: o concentrado proteico de soro (WPC - *Whey Protein Concentrate*) e o permeado de soro de queijo, que apresenta uma alta concentração de lactose (Fox *et al.*, 2016). Uma aplicação alternativa do soro de queijo permeado é sua utilização como substrato em processos fermentativos utilizando microrganismos como bactérias, fungos filamentosos e leveduras, buscando obter produtos de alto valor comercial, tais como bioetanol, a enzima β -galactosidase e galactooligossacarídeos (Murari *et al.*, 2019; Fai *et al.*, 2014).

Mendonça *et al.* (2021) ao estudarem a produção de biossurfactantes por *Absidia cylindrospora*, utilizando o soro de leite como substrato, ressaltaram a viabilidade e adequação deste como substrato de baixo custo para processos biotecnológicos. A partir do estudo citado foi possível a produção tanto de biossurfactantes quanto de lipídios de interesse industrial.

Além dos pigmentos, biocombustíveis e enzimas, as proteínas do soro também apresentam potencial tecnológico para a indústria de alimentos como a capacidade emulsificante, espumante e gelificante devido às suas excelentes propriedades funcionais associadas às suas características físico-químicas e estruturais (PESCUMA *et al.*, 2010).

CONCLUSÃO

A revisão qualitativa realizada neste estudo revela claramente o potencial do soro como um composto nutricionalmente rico e com uma vasta gama de aplicações. Além de sua riqueza em nutrientes e alto teor de proteínas, o soro demonstra ser uma fonte valiosa com implicações econômicas significativas. Sua utilização eficaz não só pode aumentar as receitas, mas também reduzir o desperdício, contribuindo assim para a sustentabilidade financeira das indústrias alimentícias e agrícolas.

Contudo, percebe-se a necessidade da adequada manipulação de tal composto, de forma a evitar inconvenientes e prejuízos para o meio ambiente ou a sociedade em geral. Além disso, sua gestão adequada não só beneficia as operações comerciais, mas também reduz o impacto ambiental, promovendo práticas mais sustentáveis em toda a cadeia de produção. É fundamental reconhecer o papel do soro na promoção de práticas ambientalmente conscientes, de forma que o soro pode ser visto não como um subproduto, mas um coproduto do processamento de queijo, apresentando um alto valor agregado, de forma que o uso do termo “ouro verde” pode ser associado a tal produto ressaltando o seu valor comercial e seu apelo sustentável. Ao incentivar o uso consciente do soro de leite, não apenas garantimos uma abordagem mais sustentável para a produção de alimentos, mas também abrimos oportunidades para inovação e desenvolvimento de produtos com base em recursos até então subutilizados.

Portanto, é imperativo que haja uma valorização e um incentivo significativo para explorar todo o potencial do soro de leite. Sua natureza versátil não apenas abre portas para novas aplicações na área da saúde, economia e agricultura, como oferece uma solução tangível para desafios contemporâneos, como o desperdício de alimentos e os impactos ambientais da produção industrial. Ao adotar abordagens que valorizem e promovam o uso inteligente do soro, podemos otimizar os recursos disponíveis, promover um futuro mais sustentável e próspero para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ABIQ – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE QUEIJO. São Paulo. Disponível em: <http://www.abiq.com.br/>. Acesso em Fevereiro de 2024.

ADDAL, F. P.; LIN, F.; WANG, T, KOSIBA, A. A.; SHENG, P.; YU, F.; GU, J.; ZHOU, Y.; SHI, H. Technical integrative approaches to cheese whey valorization towards

sustainable environment. *Food & Function*, v. 11, n. 10, p. 8407-8423, 2020. Disponível em: doi:10.1039/d0fo01484b. Acesso em: 06 fev. 2024

ALONGI M, ANESE M. Re-thinking functional food development through a holistic approach. *Journal Function Food*, v.81, n. 104466, 2021. Disponível em: doi:10.1016/j.jff.2021.104466.

ANDOYO R, DIANTI LESTARI V, MARDAWATI E, NURHADI B. Fractal dimension analysis of texture formation of whey protein-based foods. *Internacional Journal Food Science* v. 2018, n. e7673259, p. 1–17, 2018. Disponível em: doi:10.1155/2018/7673259.

ANTONELLI, J.; LINDINO, C. A.; AZEVEDO, J. C. R.; SOUZA, S. N.; CREMONHEZ, P. A.; ROSSI, E. Produção de biogás pela digestão anaeróbica do soro de leite, *Revista de Ciências Agrárias*, v. 39, n. 3, p. 463–467, 2019.

ASAS, C., LLANOS, C., MATACAVA, J., VERDEZOTO, D. *In: Whey: Environmental Impact, Uses and Applications via Biotechnology Mechanisms*, v. 2, n. 1), p. 147–154, 2021.

ASUNIS F.; DE GIOANNIS, G.; FRANCINI, G.; LOMBARDI, L.; MUNTONI, A.; POLETTINI, A.; POMI, R.; ROSSI, A.; SPIGA, D. Environmental life cycle assessment of polyhydroxyalkanoates production from cheese whey. *Waste management*, v. 132, p. 31–43, 2021.

ASUNIS F.; DE GIOANNIS, G.; FRANCINI, G.; LOMBARDI, L.; MUNTONI, A.; POLETTINI, A.; POMI, R.; ROSSI, A.; SPIGA, D. The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorization. *Journal of environmental management*, v. 276, 2020.

BAER, R. J.; RYALI, J.; SCHINGOETHE, D. J.; KASPERSON, K. M.; DONOVAN, D. C.; HIPPEN, A. R.; FRANKLIN, S. T. Composition and properties of milk and butter from cows fed fish oil. *Journal of Dairy Science*, v. 84, n. 2, p. 345–353, 2001.

BARUKČIĆ, I.; JAKOPOVIĆ, K. L.; BOŽANIĆ, R. Whey and Buttermilk—Neglected Sources of Valuable Beverages. *Natural Beverages: The Science of Beverages*, v. 13, p. 209–242, 2019.

BAUER, J. M. *et al.* Safety and tolerability of 6-month supplementation with a vitamin D, calcium and leucine-enriched whey protein medical nutrition drink in sarcopenic older adults. *Aging Clinical and Experimental Research*, v. 32, n. 8, p. 1501–1514, 2020.

BELLA, K., RAO, P.V. Anaerobic digestion of dairy wastewater: effect of different parameters and co-digestion options—a review. *In: Biomass Conversion and Biorefinery*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01247-2>.

BENIWAL, A. *et al.* Harnessing the nutritional potential of concentrated whey for enhanced galactose flux in fermentative yeast. *LWT*, v. 141, p. 110840, 2021.

- BIERZUŃSKA P, CAIS-SOKOLIŃSKA D. Yoghurt enriched with polymerized whey protein. *Mljekarstvo*, v. 698, n. 4, p. 272–81, 2018
- BITENCOURT, T. B. *et al.* Uso de *Yarrowia lipolytica*, para produção de biomassa, utilizando soro de leite como fonte de carbono. *Brazilian Journal of Development*, v. 9, n. 2, p. 7905–7930, 2023.
- BLANCO, V. M. C.; OLIVEIRA, G. H. D.; ZAIAT, M. Dark fermentative biohydrogen production from synthetic cheese whey in an anaerobic structured-bed reactor: performance evaluation and kinetic modeling. *Renewable Energy: an international journal*, v. 139, p. 1310–1319, 2019.
- BLAŽIĆ, M. *et al.* Production of whey protein as nutritional valuable foods. *Croatian journal of food science and technology*, v. 10, n. 2, p. 255–260, 2018.
- BOSSO, A. *et al.* Substrate consumption and beta-galactosidase production by *Saccharomyces fragilis* IZ 275 grown in cheese whey as a function of cell growth rate. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2019.
- BRAGA, A. Estudo de constituintes do leite e soro de leite como materiais de parede no processo de microencapsulação por coacervação complexa; Estudo de constituintes do leite e soro de leite como materiais de parede no processo de microencapsulação por coacervação complexa. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Química, dez. 2015.
- CLARA, C. *et al.* Profile of whey destination in the city of Barbacena and microregion - Minas Gerais. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 14, p. e224111435344, 2022.
- COSTA, C.; AZOIA, NG; COELHO, L.; FREIXO, R.; BATISTA, P.; PINTADO, M. Proteínas derivadas de perdas e subprodutos lácteos como matéria-prima para aplicações não alimentares. *Alimentos*, v. 135, n. 10, 2021
- COSTA, M. A. *et al.* Whey butter: a promising perspective for the dairy industry. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 25, 2022.
- DAS, B. *et al.* Recovery of whey proteins and lactose from dairy waste: A step towards green waste management. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 101, p. 27–33, 2016.
- DE MATOS REIS, S. *et al.* Development of milk drink with whey fermented and acceptability by children and adolescents. *Journal of Food Science and Technology*, v. 58, n. 7, p. 2847–2852, 23 jul. 2021.
- DIANIN, B. I.; OLIVEIRA, A. G.; PIMENTEL, T. C.; HERNANDES, N. F.; COSTA, G. N. Edible biofilms formulated with whey proteins isolate and *L. casei* probiotic culture: characterization and application in tomatoes or grapes. *Chemical Engineering Transactions*, v. 75. p. 469-474, 2019.

- DIAS, M. F. R. G.; SILVA, T. H.; REZENDE, C. A.; RODRIGUES, M. V. N.; OLIVEIRA, M. B. Leite e derivados no envelhecimento da pele: benefícios e dúvidas. *Revisões críticas em ciência dos alimentos e nutrição*, v. 57, n. 6, p. 1206-1217, 2017.
- DOS-SANTOS RIBEIRO, Steve Angstrom *et al.* Estudo preliminar da biodigestão de esterco bovino com soro de leite em sistema de digestão em duplo estágio com purificação de biogás. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, e646985911, 2020.
- ESPITIA, P. J.; BATISTA, R. A.; AZEREDO, H. M.; OTONI, C. G. Probióticos e suas potenciais aplicações em ativosfilmes e revestimentos comestíveis, *Food Research International*, v. 90, p. 42-52, 2016.
- FAGBOHUNGBE, M. O.; ONYERI, C. A.; SEMPLER, K. T. Co-fermentation of whey permeates and cattle slurry using a partitioned up-flow anaerobic digestion tank, *Energy*, v. 185, p. 567-572, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.051>
- FAI, A. E. C.; SILVA, J. B.; ANDRADE, C. J.; BUTION, M. L.; PASTORE, G. M. Production of prebiotic galactooligosaccharides from lactose by *Pseudozyma tsukubaensis* and *Pichia kluyveri*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 3, n.4, p. 343-350, 2014.
- FANG T, SHEN X, HOU J, GUO M. Efeitos da proteína de soro de leite polimerizada preparada diretamente a partir de soro de queijo como substituto de gordura nas propriedades físico-químicas, textura, microestrutura e sensoriais de iogurte desnatado. *Lwt*, v. 115, n. e108268, 2019. Disponível em: doi:10.1016/j.lwt.2019.108268.
- FENG. Z.; WU, G.; LIU, C.; LI, D.; JIANG, B.; ZHANG, X.. Revestimento comestível à base de proteína isolada de soro de leite nanofibrilas para antioxidante e inibição do escurecimento do produto, *Food Hydrocolloids*, v. 79, p. 179-188, 2018.
- FERRAZ, K. C. R. Uso agrícola de soro de leite: efeitos no solo, na emissão de CO₂, na biomassa microbiana do solo e na produção vegetal. 2021. 93 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021.
- FOROUTAN, A. *et al.* Chemical Composition of Commercial Cow's Milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 67, n. 17, p. 4897–4914, 1 maio 2019.
- FOX, P. F. e MCSWEENEY, P. L, H. *Dairy Chemistry and Biochemistry*, First Edition, London: Thomson Science, 378p. 1998.
- FRIEDRICH, J. C. C.; FEIDEN, A.; FULBER, V. M. Agricultura orgânica - Uma discussão sobre mercado de orgânicos na perspectiva local e internacional. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 12, 2022.
- GARCÍA, A. *et al.* Evaluation of antioxidant, antibacterial and physicochemical properties of whey protein-based edible films incorporated with different soy sauces. *LWT*, v. 117, n. e108587, jan. 2020.
- GIL, N. *et al.* Vacuum-Assisted Block Freeze Concentration Studies in Cheese Whey and Its Potential in Lactose Recovery. *Foods*, v. 12, n. 4, p. 836, 15 fev. 2023.

GLUŠAC J, STIJEPIĆ M, ĐURĐEVIĆ-MILOŠEVIĆ D, MILANOVIĆ S, KANURIĆ K, VUKIĆ V. Crescimento e viabilidade de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus* em iogurte tradicional enriquecido com mel e concentrado proteico de soro de leite. *Irã Journal Veterinary Research*, v. 16, n. 3, p.249–54, 2015

GONZALEZ-PIEDRA, S. *et al.* A study on the feasibility of anaerobic co-digestion of raw cheese whey with coffee pulp residues. *Energies*, v. 14, n. 12, p. 3611, 17 jun. 2021.

HASHEMI, S. S.; KARIMI, K.; TAHERZADEH, M. J. Valorization of vinasse and whey to protein and biogas through an environmental fungi-based biorefinery. *Journal of Environmental Management*, v. 303, p. 114138, fev. 2022.

JAIMES-ESTÉVEZ, J., CASTRO, L., ESCALANTE, H., CARRILLO, D., PORTILLO, S., SOTRES, A., MORÁN, A. Cheese whey co-digestion treatment in a tubular system: microbiological behaviour along the axial axis. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 10, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00988-4>

JAIMES-ESTÉVEZ, J.; MERCADO, E. V.; JARAMILLO, J. G.; RODRÍGUEZ, P.; MARTÍ-HERRERO, J.; ESCALANTE, H.; CASTRO, L. From laboratory to farm-scale psychrophilic anaerobic co-digestion of cheese whey and cattle manure. *Bioresource Technology Reports*, v. 19, n. e101168, 2022.

KAMAL, H.; ALI, A.; LE, C. F. Green solvent processing: Effect of type of solvent on extraction and quality of protein from dairy and non-dairy expired milk products. *Food Chemistry*, v. 400, n. e133988, jan. 2023.

KET-ON A., PONGMONGKOL N., SOMWANGT HANAROJ A., JANJARASSKUL T., TANAN UWONG K. Propriedades e estabilidade de armazenamento de filme comestível de proteína de soro de leite com especiarias em pó. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 53, n. 7, p. 2933-2940, 2016

KHAN, S.; SHAHID, M.; NAWAZ, M.; SHAH, A. A.; MAHMOOD, Q. Implicações ambientais do soro de queijo como um recurso valioso: uma revisão. *Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição*, v. 26, n. 16, 15694-15708, 2019.

KHORSHIDI M, HESHMATI A, TAHERI M, KARAMI M, MAHJUB R. Efeito do revestimento à base de proteína de soro de leite e xantana na viabilidade de *Lactobacillus acidophilus* microencapsulado e nas propriedades físico-químicas, texturais e sensoriais do iogurte. *Ciência Alimentar Nutricional*, v. 9, n. 7, p. 3942–53, 2021.

LEITÃO, F. O.; FERREIRA, G. M. F. Produção orgânica e economia circular: um estudo de caso dos tomates orgânicos. *Informe Gepec*, v. 26, n. 2, p. 108-126, jul./dez. 2022.

LIU, Y.; ZHANG, W.; ZHANG, L.; HETTINGA, K.; ZHOU, P. Caracterizando as alterações nas proteínas do soro do leite bovino após processamento industrial simulado. *LWT Ciência Alimentar. Tecnologia.*, v. 133, n. e110101, 2020

- LOVATO, G. *et al.* Methane Production by Co-Digesting Vinasse and Whey in an AnSBBR: Effect of Mixture Ratio and Feed Strategy. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 187, n. 1, p. 28–46, 7 jan. 2019.
- MARQUEZ, A. Produção de biofilme a partir do soro de leite. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica do Paraná, 2023.
- MENDONÇA, Rafael S. *et al.* Produção de biossurfactante e lipídeos por uma nova cepa de *Absidia cylindrospora* UCP 1301 isolada do solo da Caatinga usando subprodutos agroindustriais de baixo custo. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 8300-8313, 2021.
- MINJ S, ANAND S. Whey proteins and its derivatives: bioactivity, functionality, and current applications. *Dairy*, v. 1, n. 3, p. 233–58, 2020. Disponível em: [doi:10.3390/dairy1030016](https://doi.org/10.3390/dairy1030016).
- MITRYUKOVSKIY, S. *et al.* On the influence of water on THz vibrational spectral features of molecular crystals. *Physical Chemistry Chemical Physics*, v. 24, n. 10, p. 6107-6125, 2022.
- MULEY, A. B.; SINGHAL, R. S. Extension of postharvest shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*) using a coating of chitosan-whey protein isolate conjugate. *Food chemistry*, v. 329, 1 nov. 2020.
- MURARI, C. S.; MACHADO, W. R. C.; SCHUINA, G. L.; DEL BIANCHI, V. L. Optimization of bioethanol production from cheese whey using *Kluyveromyces marxianus* URM 7404. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 20, 2019.
- NAJAR-ALMANZOR, C. E. *et al.* Microalgae-assisted green bioremediation of food-processing wastewater: A sustainable approach toward a circular economy concept. *Journal of Environmental Management*, v. 345, n. e118774, nov. 2023.
- NUNES, Luane Alcântara *et al.* O soro do leite, seus principais tratamentos e meios de valorização. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 11, n. 1, p. 301-326, 2018.
- OLIVEIRA, B. Produção e caracterização de nanopartículas do concentrado proteico do soro de leite (WPC). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 29 nov. 2022.
- PASQUINI, P. R; FERRAREZI-JUNIOR, E. Agroindústria de queijos artesanais. *Revista Interface Tecnológica*, v. 19, n. 2, p. 760–771, 20 dez. 2022.
- PESCUMA, M.; HÉBERT, E. M.; MOZZI, F.; FONT DE VALDEZ, G. Functional fermented whey-based beverage using lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, v. 141, n. 1–2, p. 73–81, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.04.011>
- PIZETA, M. Processos inovadores na formulação de cosméticos: aplicações de nanotecnologia. Universidade Federal de Uberlândia, 16 jun. 2021.
- RAMOS-SUÁREZ, J.; LVAREZ-MÉNDEZ, S.; RITTER, A.; GONZÁLEZ, J.; PÉREZ, A. A comprehensive evaluation of cheese whey to produce biogas in the Canary Islands. *Biomass and Bioenergy*, v. 180, n. e107008, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.107008>.

- RIBEIRO, A. G. *et al.* Associações entre consumo de produtos lácteos, proteína C-reativa e perfil lipídico em adultos: resultados do ELSA-Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 36, n.1, e00028019, 20 dez. 2020.
- RICO, C., MUNOZ, N., RICO, J. L. Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank reactor process: limits in co-substrate ratios and organic loading rate. *Bioresources Technology* v. 189, p. 327–333, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.032>
- RODRIGUES, J. R. P.; MIRANDA, K. W. E.; OLIVEIRA, N. S. I.; GALVÃO, A. M. M. T.; ARAÚJO, A. W. O.; SOUZA, T. M.; CHINELATE, G. C. B. O resíduo agroindustrial do soro de leite como solvente ecologicamente correto na elaboração de filme hidrocoloidal biopolimérico: o estudo das propriedades ópticas. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 17, n. e254111739189, 2022. Disponível em: DOI: 10.33448/rsd-v11i17.39189. Acesso em: 26 fev. 2024.
- SAADAN, M. Z. H.; MOHAMAD, Z.; JUSOH, M.; MAJID, R. A.; BAHARULRAZI, N.; MAN, S. H. C. Degradável filme de polietileno/farelo de arroz: efeito do glicerol. *Engenharia Química Tresgates*, 56, 49-54, 2017.
- SALAS-VARGAS, C. *et al.* Environmental impact of Oaxaca cheese production and wastewater from artisanal dairies under two scenarios in Aculco, State of Mexico. *Journal of Cleaner Production*, v. 311, n. e127586, 15 ago. 2021.
- SANTOS DE LIMA, J. *et al.* Análise de viabilidade para investimento em uma planta de aproveitamento do soro do leite/ Feasibility analysis for investment for whey production plant. *Brazilian Applied Science Review*, v. 5, n. 4, p. 1881–1906, 28 jul. 2021.
- SESSA M., FERRAR G., DONSI F. Revestimento comestível contendo óleo essencial e emulsões para prolongara vida útil de produtos vegetais, *Chemical Engineering Transactions*, v. 43, p. 55-60, 2015.
- SILVA, A. N. Modelagem, simulação e análise técnico-financeira de uma unidade de processamento de soro de leite para produção integrada de concentrado proteico, lactose e etanol. 2011. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 2011.
- SILVA, N. Microencapsulação de isoflavonas em isolado proteico do soro de leite por *spray-drying*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 29 nov. 2022.
- SILVA, S. R. S. Potencial biotecnológico da produção de pigmentos carotenoides por *Rhodotorula* spp. em soro de queijo coalho. Tese (Doutorado em Biociência Animal). Recife. p. 26. 2020.
- SOUKOULIS, C.; YONEKURA, L.; GAN, H. H.; BEHBOUDI-JOBBEHDAR, S.; PARMENTER, C.; FISK, I. Probiótico comestível filmes como uma nova estratégia para o desenvolvimento de produtos panificados funcionais: O caso do pão de forma. *Alimentos Hidrocolóides*, v. 39, p. 231-242, 2014.

SPEER, S. AMIN, S..Sustainable thermoresponsive whey protein- and chitosan-based oil-in-water emulsions for cosmetic applications. Food Technology and Biotechnology, 20 nov. 2021.

TEIXEIRA, D. *et al.* Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária. [s.d.].

TEIXEIRA, Paulo *et al.* ASPECTOS AMBIENTAIS E AGRONÔMICOS DA DISPOSIÇÃO DE EFLUENTE DE LATICÍNIOS NO SOLO. 2020.

TRIBST, A. A. L. *et al.* Manufacture of a fermented dairy product using whey from sheep's milk cheese: An alternative to using the main by-product of sheep's milk cheese production in small farms. International Dairy Journal, v. 111, p. 104833, dez. 2020.

USMANI, Z. *et al.* Valorization of dairy waste and by-products through microbial bioprocesses. Bioresource technology, v. 346, 1 fev. 2022.

VIDAL, A. M.; DIAS, D. O.; MARTINS, E. S. M.; OLIVEIRA, R. S.; NASCIMENTO, R. M. S.; CORREIA, M. G. S. A ingestão de alimentos funcionais e sua contribuição para a diminuição da incidência de doenças”. Cadernos de Graduação Ciências Biológicas e da Saúde, v. 1, n.15, 2011.

WAJCHRZAK, W. MOTYL, L. SMIGIELSKI, K. Biological and Cosmetical Importance of Fermented Raw Materials: An Overview. Food Technology and Biotechnology, v.27, n.15, 28 jul. 2022.

XIN, Y. *et al.* Application of Whey Protein-Based Emulsion Coating Treatment in Fresh-Cut Apple Preservation. Foods, v. 12, n. 6, p. 1140, 8 mar. 2023.

YİĞİT A, BIELSKA P, CAIS-SOKOLIŃSKA D, SAMUR G. Whey proteins as a functional food: Health effects, functional properties, and applications in food. Journal Amin Nutrition Association, v. 42, n. 8, p. 758-768, 2023. Disponível em: doi:10.1080/27697061.2023.2169208

ZANDONA, E.; BLAŽIĆ, M.; REŽEK JAMBRAK, A. Whey Utilisation: Sustainable Uses and Environmental Approach. Food Technology and Biotechnology, v. 59, n. 2, p. 147–161, 22 jun. 2021c.

ZANDONA, E.; BLAŽIĆ, M.; REŽEK JAMBRAK, A. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach. Food Technology and Biotechnology, v. 59, n. 2, p. 147, 1 abr. 2021a.

ZANDONA, E.; BLAŽIĆ, M.; REŽEK JAMBRAK, A. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach. Food technology and biotechnology, v. 59, n. 2, p. 147–161, 1 abr. 2021b.

ZHANG X, SUN X, GAO F, WANG J, WANG C. Systematical characterization of physiochemical and rheological properties of thermal-induced polymerized whey protein. Journal Science Food Agriculture. v. 99, n. 2, p. 923–932, 2019.

ZHANG, Q.; WANG, Y.; ZHANG, H.; LIU, Y.; ZHANG, W.; Wu, H. Utilização de soro de queijo para produção de bioetanol e biogás: uma revisão. Revista de Gestão Ambiental, v. 206, p. 419-431, 2018