



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**CONCENTRAÇÃO DE PROTEÍNAS DO SORO DE QUEIJO POR
ULTRAFILTRAÇÃO EM PLANTA PILOTO**

Tamara Inês Fiegenbaum

Lajeado/RS, 12 de dezembro de 2023



Tamara Inês Fiegenbaum

CONCENTRAÇÃO DE PROTEÍNAS DO SORO DE QUEIJO POR ULTRAFILTRAÇÃO EM PLANTA PILOTO

Monografia apresentada no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Química, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Neutzling Lehn

Lajeado/RS, 12 de dezembro de 2023

Tamara Inês Fiegenbaum

CONCENTRAÇÃO DE PROTEÍNAS DO SORO DE QUEIJO POR ULTRAFILTRAÇÃO EM PLANTA PILOTO

O Orientador e a Banca Examinadora abaixo aprovam a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Prof. Dr. Daniel Neutzling Lehn - Orientador
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Dra. Cláucia Fernanda Volken de Souza - Banca
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Dra. Lucélia Hoehne – Banca
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Lajeado, 12 de dezembro de 2023

AGRADECIMENTOS

À minha família, expresso minha profunda gratidão pelo apoio constante, dedicação incansável e todas as formas de ensino que compartilharam comigo. Minha mãe, que em meio a inúmeras dificuldades sempre me incentivou e amparou, ao meu pai (*in memoriam*), minha irmã, cujo apoio foi crucial nos momentos desafiadores, meu cunhado e ao meu namorado, que me sustentou com apoio, suporte, muito amor e carinho, sempre com um sorriso no rosto!

Aos demais familiares, amigos e colegas, por me compreenderem nos momentos difíceis e oferecerem apoio quando mais necessitei, por estimularem minha jornada em busca dos meus sonhos, ajudando a torná-los realidade.

Ao meu orientador, professor Dr. Daniel Neutzling Lehn por me mostrar que nas adversidades descobrimos nossos talentos mais notáveis. Agradeço pelos ensinamentos, assim como pelas orientações e dedicação exemplares.

Estendo meu agradecimento aos demais professores por todos ensinamentos, e à Universidade do Vale do Taquari por proporcionar minha formação acadêmica.

Por fim, agradeço a todos que me apoiaram e fizeram parte dessa trajetória, família, amigos, colegas e professores. Muito Obrigada!

RESUMO

Com o aumento da produção de alimentos para atender ao crescimento populacional, há maior geração de resíduos, mesmo que estes, proporcionalmente em relação à produção, tenham diminuído. Evidencia-se a necessidade da busca por alternativas capazes de reaproveitar as sobras de produção possibilitando a geração de outros produtos de características e funcionalidades distintas. Suplementos alimentares constituem uma opção de produção que pode utilizar determinados sobras de produção gerados na fabricação de queijos como insumos, dadas as características nutricionais dessas substâncias. Nesse contexto, surge o soro de queijo como fonte promissora de proteínas de alta qualidade nutricional e aminoácidos essenciais. Tendo em vista a importância que o suplemento possui na nutrição humana, técnicas e processos industriais estão sendo estudados para estimular o reaproveitamento de coprodutos gerados na produção de alimentos para servirem como ingredientes na fabricação de outros produtos com valor agregado. Em razão disso, o uso de processos de separação por membranas, como a ultrafiltração, aplicados ao soro de queijo de origem bubalina é uma alternativa para o reaproveitamento desse coproduto e pode ser utilizada para obter um concentrado proteico de qualidade. O presente trabalho teve como objetivo realizar a separação das proteínas do soro do queijo de origem bubalina *in natura* a fim de obter um concentrado proteico por meio da ultrafiltração usando duas plantas piloto distintas, visando avaliar a eficiência de ambas para a utilização do concentrado proteico na fabricação do suplemento alimentar tipo *whey protein*. Foram caracterizados por meio de análises físico-químicas em triplicata os soros *in natura* coletados, bem como os permeados e retentados obtidos, em termos de umidade, teores de proteínas, gordura, cinzas e carboidratos. O soro ácido apresentou uma concentração de proteínas de 18,38% (m/m) e o soro doce atingiu concentração de 14,34% (m/m). O soro doce foi utilizado na Planta Paillasse e o soro ácido na Planta Reseta com membranas semelhantes e condições operacionais similares. Ocorreram diferenças expressivas nos teores de gordura e proteínas nos retentados e permeados dos dois soros. Com os resultados obtidos, foi possível concluir que a Planta Reseta apresentou maior eficiência do que a Planta Paillasse, evidenciando que a membrana de ultrafiltração usada na primeira planta piloto está em melhores condições do que a segunda. O tempo de operação influi diretamente no grau de concentração proteica dos retentados. Nenhum dos retentados obtidos atingiu os 30% de concentração para ser considerado um concentrado proteico, exigindo-se maior tempo de separação. Recomenda-se o emprego da microfiltração ou centrifugação para remoção de gordura antes da ultrafiltração.

Palavras-chave: separação por membranas; *whey protein*; suplemento alimentar; proteínas; soro de queijo.

ABSTRACT

With the increase in food production to meet population growth, there is a greater generation of waste, even if it has decreased proportionally in relation to production. This highlights the need to look for alternatives capable of reusing production leftovers and generating other products with different characteristics and functionalities. Food supplements are a production option that can use certain production leftovers generated in cheese production as inputs, given the nutritional characteristics of these substances. In this context, cheese whey has emerged as a promising source of high quality nutritional proteins and essential amino acids. In view of the importance of the supplement in human nutrition, industrial techniques and processes are being studied to encourage the reuse of by-products generated in food production to serve as ingredients in the manufacture of other products with added value. For this reason, the use of membrane separation processes, such as ultrafiltration, applied to cheese whey of bubal origin is an alternative for reusing this by-product and can be used to obtain a quality protein concentrate. Therefore, the aim of this study was to separate the proteins from the whey of fresh buffalo cheese in order to obtain a protein concentrate by means of ultrafiltration using two different pilot plants, in order to evaluate the efficiency of both for the use of the protein concentrate in the manufacture of whey protein food supplements. Physico-chemical analyses were carried out in triplicate on the raw whey collected, as well as the permeates and retentates obtained, in terms of moisture, protein, fat, ash and carbohydrate content. The acid whey had a protein concentration of 18.38% (m/m) and the sweet whey had a concentration of 14.34% (m/m). The sweet whey was used in the Paillasse Plant and the acid whey in the Reseta Plant with similar membranes and similar operating conditions. There were significant differences in the fat and protein content of the retentates and permeates of the two wheys. With the results obtained, it was possible to conclude that the Reseta Plant showed greater efficiency than the Paillasse Plant, showing that the ultrafiltration membrane used in the first pilot plant is in better condition than the second. Operating time has a direct influence on the degree of protein concentration in the retentates. None of the retentates obtained reached the 30% concentration to be considered a protein concentrate, requiring a longer separation time. The use of microfiltration or centrifugation is recommended.

Keywords: membrane separation; whey protein; food supplement; proteins; cheese whey.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo produtivo do queijo.....	20
Figura 2 - Corte de coágulo e dessoragem do queijo.....	21
Figura 3 - Processo de separação de acordo com o tamanhos dos constituintes.....	30
Figura 4 - Etapas do trabalho de ultrafiltração por membranas	33
Figura 5 - Planta Piloto Paillasse Unit 03.....	34
Figura 6 - Planta Piloto Reseta.....	35
Figura 7 - Diagrama tridimensional $L^*-a^*-b^*$	36
Figura 8 - Destilador de Nitrogênio.....	39
Figura 9 - Concentração de proteínas em base úmida em função do tempo.....	45
Figura 10 - Permeado (I) e retentado (II) obtido na ultrafiltração da Planta Piloto Paillasse.....	48
Figura 11 - Permeado (I) e retentado (II) obtido na ultrafiltração da Planta Piloto Reseta	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ranking dos maiores consumidores, produtores e importadores de queijos no mundo.....	22
Tabela 2 - Constituintes do soro doce.....	23
Tabela 3 - Características das membranas.....	26
Tabela 4 - Composição físico-química do soro de queijo bubalino <i>in natura</i>	41
Tabela 5 - Composição físico-química do retentado e permeado obtidos na Planta Paillasse 03.....	43
Tabela 6 - Composição físico-química do retentado e permeado obtidos na planta Reseta.....	44
Tabela 7 - Parâmetros L*, a* e b* obtidos para o soro de queijo <i>in natura</i> , retentado e permeado.....	48
Tabela 8 - Parâmetros L*, a* e b* obtidos para o soro de queijo <i>in natura</i> , retentado e permeado.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

a.C.	Antes de Cristo
a*	Parâmetro de cor, diferença do vermelho e do verde
b*	Parâmetro de cor, diferença do azul e do amarelo
g	Gramas
h	Hora
HCl	Ácido clorídrico
Hz	Herz
kDa	kilodalton
kg	kilograma
KCl	Cloreto de potássio
L	Litros
L*	Parâmetro de cor, luminosidade
m	Metros
mm	Milímetros
nm	Nanômetros
NaCl	Cloreto de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
pH	Potencial hidrogeniônico
α	Alfa
β	Beta
%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
μm	Micrômetros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Tema.....	13
1.2 Delimitação do tema	13
1.3 Problema de pesquisa	13
1.4 Hipótese	13
1.5 Objetivo geral	13
1.6 Objetivos específicos	14
1.7 Justificativa.....	14
2 REVISÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Produção de alimentos e geração de resíduos	16
2.2 Processo de fabricação de queijos	18
2.3 Soro de queijo	22
2.4 Usos do soro de queijo.....	24
2.5 Processos de separação por membranas da proteína do soro de queijos..	26
2.5.1 Microfiltração.....	27
2.5.2 Ultrafiltração	28
2.5.3 Nanofiltração	30
2.5.4 Osmose inversa.....	31
2.5.5 Estudos realizados sobre ultrafiltração	31
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Obtenção do soro de queijo.....	33
3.2 Separação por membranas	34
3.3 Caracterização do soro bubalino <i>in natura</i> , dos retentados e permeados ..	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41

4.1 Caracterização físico-química do soro <i>in natura</i>	41
4.1.2 Caracterização físico-química dos retentados e permeados obtidos	43
4.2 Cor	47
5 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

O soro de queijo é um coproduto da produção de queijo obtido em forma líquida no processamento de produtos lácteos. Em 2020, a produção de soro de queijo bovino ultrapassou 12 milhões de toneladas, e em 2021, esse volume aumentou para mais de milhões de toneladas (SEAPA, 2023). A produção de queijo resulta em uma quantidade expressiva de soro, cerca de doze litros a cada quilograma de queijo produzido quando se utiliza leite bovino. Este soro possui concentração elevada de matéria orgânica em sua composição, o que resulta em um potencial poluente considerável. Isso pode levar à contaminação do solo e da água, além da geração de odores desagradáveis nas proximidades dos locais onde o soro é descartado. (Fraga *et al.*, 2016). Guo e Hendricks (2010) afirmam que o queijo fabricado com leite bubalino possui um rendimento superior quando comparado ao queijo produzido com leite bovino, sendo possível obter aproximadamente 1 kg de queijo e 4 litros de soro com apenas 5 litros de leite. Vale ressaltar que esse soro também contém uma carga de matéria orgânica elevada e potencial poluente.

Para amenizar tais situações, estão sendo realizadas pesquisas sobre reaproveitamento deste soro, pois sua reutilização, além de reduzir impactos ambientais, servirá como fonte de insumos para indústrias alimentícias (Boschi, 2006). Conforme explicam Ricci e Domingues (2012), o leite de búfala possui valor nutritivo superior quando comparado ao bovino, destacando principalmente a gordura e

proteínas, constituintes utilizados como matéria-prima na fabricação de derivados que proporcionam rendimento, textura e qualidade.

O reaproveitamento do soro de queijo para extração de proteínas e utilização na área alimentícia é uma excelente opção para reduzir os grandes impactos ambientais e alavancar a economia da indústria, na qual irá agregar valor a um resíduo. O soro obtido na manufatura do queijo tem a possibilidade de reuso por conter um valor nutricional expressivo (Manzatti, 2016), devido aos compostos orgânicos nele contidos, que representam alta carga orgânica se lançados no ambiente (Frigon, 2009).

Um produto que pode ser gerado a partir do reaproveitamento do soro do queijo é o suplemento alimentar *whey protein*, que é consumido como fonte de proteína com aminoácidos essenciais, com capacidade de recuperar a musculatura de pessoas que exercem atividades físicas intensas, sendo esse produto considerado de alto valor agregado (Yadav *et al.*, 2015). Nesse sentido, tem-se a forma de concentração da proteína por meio de um sistema de ultrafiltração, o qual, de acordo com Leindecker (2011), é usado com o intuito de purificar e separar macromoléculas de micromoléculas. A ultrafiltração citada é considerada um processo de separação por diferença de pesos moleculares. As moléculas de diversos tamanhos estão contidas em uma mistura que é filtrada através de membranas com auxílio de pressão sem a adição de calor, sendo uma ótima alternativa do ponto de vista econômico e ambiental (Atra *et al.*, 2004). Geralmente é utilizada a microfiltração como etapa pré-tratamento antes da ultrafiltração, que visa remover gordura e bactérias para potencializar a concentração de proteínas (Chen, 2023). Em países cuja economia é baseada na produção leiteira, essa é uma das alternativas que elevam a porcentagem de utilização do soro do queijo na geração de ingredientes para desenvolver novos produtos (Bieger; Lima, 2008).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como intuito estudar e executar a metodologia para um tratamento adequado ao soro de queijo, visando a agregação de valor com o aproveitamento pela indústria de suplementos alimentares, uma vez que o processo de separação por membranas é de interesse da indústria por se tratar de um processo de separação sem adição de calor, portanto, não afetando a

composição centesimal da proteína. Porém, o custo elevado para sua implantação justifica estudos para verificação da viabilidade técnica de aplicação

1.1 Tema

Avaliação do desempenho da concentração de proteínas de soro de queijo a partir da ultrafiltração por membranas.

1.2 Delimitação do tema

Avaliação das características do soro de queijo líquido concentrado como fonte de insumo e o desempenho do processo de ultrafiltração por membranas na concentração da proteína.

1.3 Problema de pesquisa

A partir da operação de ultrafiltração do soro de queijo *in natura* de origem bubalina em condições determinadas, qual a concentração de proteína possível de ser aplicada para que possa ser utilizada como ingrediente para o suplemento alimentar *whey protein*?

1.4 Hipótese

É possível concentrar a proteína do soro do queijo de maneira eficiente por meio da ultrafiltração por membranas?

1.5 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de duas plantas piloto de ultrafiltração por membranas com funcionamentos diferentes na concentração de proteínas do soro de queijo de origem bubalina, visando seu aproveitamento na produção de *whey protein*.

1.6 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, delimitou-se os seguintes objetivos específicos:

- a) caracterizar soro de queijo bubalino *in natura* coletado em uma indústria de laticínios da região metropolitana do RS;
- b) Realizar o processo de ultrafiltração do soro em duas plantas piloto de modelos diferentes;
- c) caracterizar os permeados e retentados obtidos em cada planta piloto;
- d) avaliar a eficiência de cada processo através do grau de concentração proteica obtido, comparando as duas plantas piloto.

1.7 Justificativa

As proteínas do soro do queijo possuem elevados teores de aminoácidos essenciais, conferindo valor nutricional às mesmas. Entre os aminoácidos presentes, se destacam os que possuem enxofre, como a cistina e metionina com comprovado potencial anticancerígeno (Baldasso; Barros; Tessaro, 2011). Oliveira, Bravo e Tonial (2012) afirmam que aminoácidos essenciais são aqueles que o organismo humano impossibilitado de sintetizar, por isso devem ser obtidos de fontes como os alimentos proteicos. A qualidade nutricional das proteínas é dependente da presença, diversidade e quantidade dos aminoácidos que as compõe.

O soro do queijo não suporta longos períodos de acondicionamento sem o devido tratamento, sendo necessário passar por processos de filtração ou secagem para ampliar seu tempo de validade (Baldasso; Barros; Tessaro, 2011). A ultrafiltração é uma alternativa para o reaproveitamento deste material, visto que através dela separa-se as proteínas pela retenção de macromoléculas e passagem de micromoléculas, como lactose e sais minerais. De modo geral, com a seleção adequada da membrana é possível obter um retentado concentrado em proteínas com redução no teor de sólidos e sais, justificando-se a escolha pelo tema.

Tendo em vista que a menor proteína presente no soro de queijo possui peso molecular de 14 kDa, é geralmente empregada uma membrana de 10 ou 20 kDa para

separar as proteínas do soro de lactose e minerais, permanecendo estas no retentado da ultrafiltração em uma concentração de até 35% do total (Chen, 2023).

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Produção de alimentos e geração de resíduos

Pode-se utilizar a expressão “resíduo” na indústria alimentícia para designar a matéria-prima que durante o processo principal não é aproveitada ou rejeitada. Esse, por sua vez, pode ser obtido tanto em forma sólida como líquida, sendo o sólido remetido às cascas de frutas na maioria das vezes (Gomes *et al.*, 2016). Muitos estudos estão sendo desenvolvidos para encontrar formas de reaproveitamento visando a produção de novos produtos com valor agregado, conforme explica Oliveira (2018).

A geração de resíduos está presente em diversos setores da indústria, sendo a produção de alimentos uma grande geradora das duas formas de resíduos. Esses resíduos são em grande parte destinados aos aterros sanitários ou até para alimentação de animais, sem um estudo prévio de suas características e qualidade para consumo. Esse aumento expansivo de produção fez ganhar força o processo de conscientização ecológica, visando obter um crescimento global econômico e social com sustentabilidade ambiental (Filho, 2017).

De acordo com Soldera (2017), alguns dos principais setores da área de alimentos que compartilham do mesmo problema são, por exemplo, a indústria láctea, indústria cervejeira, a indústria produtiva e a indústria de manufatura de grãos. Em decorrência do grande crescimento desses setores nos últimos anos, estes enfrentam grande dificuldade de descarte de seus resíduos gerados na produção de produtos, resultando em problemas ambientais e socioambientais.

A indústria cervejeira, de acordo com Boffo *et al.* (2014), tem como principal resíduo o bagaço de malte. Esse rejeito, gerado em decorrência da produção de cervejas é rico em proteínas e fibras, sendo considerado uma matéria-prima composta por lignocelulósico contendo em torno de 28% de hemicelulose, 17% de celulose, e 28% de lignina (Batista *et al.*, 2018). Uma das alternativas para auxiliar na redução de rejeitos gerados na fabricação de bebidas alcoólicas na indústria cervejeira é a secagem do bagaço do malte, que serve como fonte de matéria-prima e pode ser utilizada no desenvolvimento de novos produtos e também na produção de ração para alimentação animal (Bourscheidt *et al.*, 2011).

Outro exemplo que pode ser relacionado, é o aproveitamento do resíduo gerado na extração do óleo de soja. Sua composição é rica em proteínas de qualidade nutricional e possui baixo teor energético, além de ser também fonte de minerais e carboidratos. Tendo em vista que o Brasil configura entre os maiores produtores de soja no mundo, tem-se uma excelente alternativa de aproveitamento de resíduos (Silva *et al.*, 2006).

De acordo com Gonçalves (2017), na indústria de laticínios ocorre a formação de resíduos sólidos, líquidos e gasosos como já foram definidos anteriormente. Os sólidos são gerados nas perdas de embalagens, materiais de escritório, sanitários, refeitórios, lodo oriundo da estação de tratamento de esgoto, entre outros. Os gasosos são obtidos em emissões de gases formados na queima e geração de vapor pelas caldeiras, enquanto o líquido pode ser obtido nos processos de higienização em geral, derramamentos eventuais e o mais expressivo, no descarte do soro.

O soro pode ser tanto ácido, com pH entre 5 e 6, como doce com pH entre 6 e 7. O soro doce é mais comumente obtido durante a produção de queijos e essa distinção é feita com base nos métodos empregados para remover a caseína do leite. Considera-se o soro ácido quando a coagulação é proveniente da adição de ácidos orgânicos ou minerais em pH menor que 5, possuindo teor de minerais superior ao soro doce. Por outro lado, o soro é considerado doce quando o queijo é oriundo da coagulação da caseína por coalho em pH próximo de 6,5 (Yadav *et al.*, 2015).

De acordo com Teixeira e Fonseca (2008), obtém-se cerca de 1 kg de queijo e 9 litros de soro a cada 10 litros de leite, justificando seu alto volume como resíduo. Silva (2021) afirma que para a produção de queijo usando leite de búfala, são

utilizados 5 litros de leite para produzir 1 kg de queijo. Comparando-se os dois tipos, pode observar-se que há mais geração de soro quando produzido queijo com leite bovino, porém, o soro de queijo bubalino possui maior concentração de proteínas, que de acordo com Andrade (2015), possui 3,05%, enquanto o bovino tem 2,92%. Gonçalves (2017) afirma em seu estudo que diversas indústrias descartam o soro de maneira inadequada em conjunto com águas residuais, o que é proibida. Seu descarte inadequado não afeta a saúde das pessoas se despejado em pequenas quantidades, mas um grande volume pode trazer danos graves ao meio ambiente, tendo-se o conhecimento que poderá afetar o ecossistema local e cursos d'água, o que poderá afetar diretamente a qualidade da água potável. Yadav *et al.* (2015) afirmam que há uma quantidade representativa de matéria orgânica no soro, com demanda química de oxigênio entre 50 a 102 g/L e demanda biológica de oxigênio entre 27 e 60 g/L em sua composição. Por tal razão, seu despejo no meio ambiente, sem tratamento é proibido.

O soro do queijo foi por muito tempo descartado como sendo um efluente e também destinado à alimentação de animais, em especial bovinos e suínos. Sua ingestão por animais não oferece risco à saúde destes, desde que seja uma dieta acompanhada e controlada. Boschi (2006) explica que o soro de queijo era utilizado *in natura* para a alimentação de animais devido aos altos teores de lactose, água e sais que dificultavam o processamento do resíduo, sendo utilizado como método tradicional a evaporação térmica, que necessita de uma grande demanda energética, além de teores relativamente altos de açúcares e sais.

2.2 Processo de fabricação de queijos

O queijo é um alimento antigo, não havendo sequer evidências sobre a origem precisa do mesmo. Contudo, tem-se o conhecimento de que seu consumo remonta à Europa antes da disseminação dos romanos, com uma estimativa que abrange aproximadamente de 8000 a.C. a 3000 a.C., quando os primeiros animais foram domesticados. Uma hipótese sugere que a descoberta desse alimento pode ter ocorrido por meio do armazenamento de leite no estômago de animais utilizados como recipientes (Gonçalves, 2019)

Trata-se de um alimento proveniente da coagulação de leite por meio da inserção de enzimas coagulantes ou também pelo ácido láctico. Ao fabricar o queijo, produz-se também o soro do queijo, que representa aproximadamente entre 80% e 90% do leite usado, o qual possui em sua composição aproximadamente 55% dos nutrientes do leite, como proteínas solúveis, lactose, lipídios e sais minerais (Bald *et al.*, 2014).

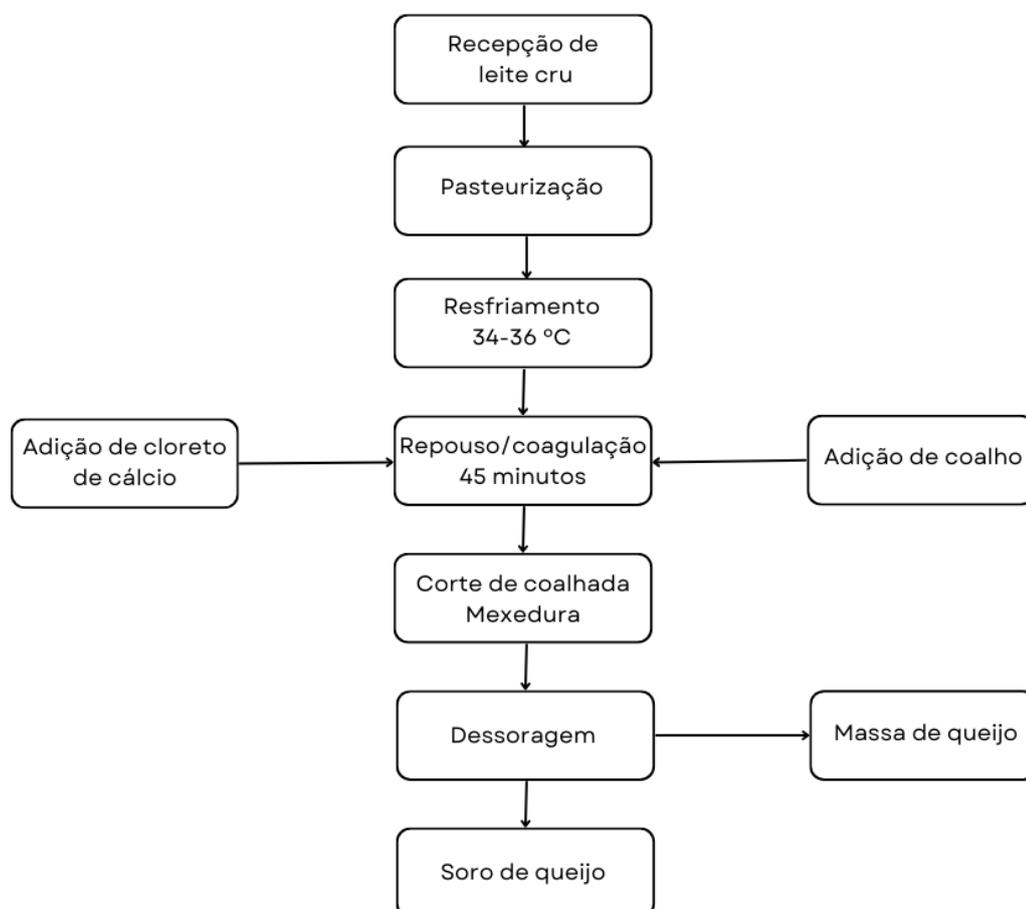
De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Brasil ocupa o terceiro lugar entre os maiores produtores de leite no mundo, com um volume de aproximadamente 34 bilhões de litros anuais. Há produção em 98% dos seus municípios, incluindo pequenas e médias propriedades rurais. Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul e Paraná desempenham um papel expressivo como polos de produção de leite no Brasil (Brasil, 2022).

Segundo Moraes (2021), a composição do queijo é vinculada a diversos fatores, incluindo o método empregado na coagulação e separação do soro, os fermentos utilizados e os tratamentos aplicados à massa. O autor destaca que o coproduto não apenas apresenta um teor substancial de proteínas, mas também contém sais minerais, principalmente cálcio além de vitaminas, corroborando as descobertas de Bald *et al.* (2014). Essa interação complexa de variáveis ressalta a diversidade nutricional e a importância dos processos na formação das características do queijo. A classificação dos tipos de queijos não se caracteriza por uma precisão absoluta, dada a abundância de variedades disponíveis no mercado. As diferenças entre eles derivam de alguns fatores, incluindo processos produtivos, as regiões geográficas de origem e as condições climáticas, todos exercendo influência direta sobre a composição do leite utilizado. Em virtude disso, a classificação dos queijos ocorre de maneira simplificada e geral, tomando como critérios fundamentais o teor de umidade e a consistência. Conforme delineado por Moraes (2021), a classificação dos tipos de queijo se desenvolve com base nesses parâmetros, proporcionando uma visão geral dos perfis que podem apresentar.

- Mole: teor de umidade superior a 50%;
- Firme ou semiduro: teor de umidade de 40% a 50%;
- Duro: teor de umidade de 37% a 40%;
- Muito duro: teor de umidade igual ou inferior a 37%.

A fabricação de queijos de alta qualidade é dependente da qualidade da matéria-prima e dos ingredientes empregados no processo. A matéria-prima é o leite, seja ele de vaca, de búfala, de cabra ou de ovelha. Além do leite, os ingredientes desempenham um papel importante e incluem fermentos, coagulantes, cloreto de cálcio, corante e sal, conforme indicado por Antunes (2003). O procedimento produtivo consiste em desidratar o leite, resultando na concentração de caseínas, gordura e minerais. Este processo reduz aproximadamente 80% do conteúdo de água original. A coagulação é então induzida pela adição de coalho e cloreto de cálcio, seguida pelo corte da coalhada, dessoragem e, finalmente, a obtenção do soro, como ilustrado na Figura 1. Essa sequência de etapas reflete a complexidade e a precisão envolvidas na produção de queijos de qualidade. final.

Figura 1 - Processo produtivo do queijo



Fonte: Adaptado de Moraes (2021).

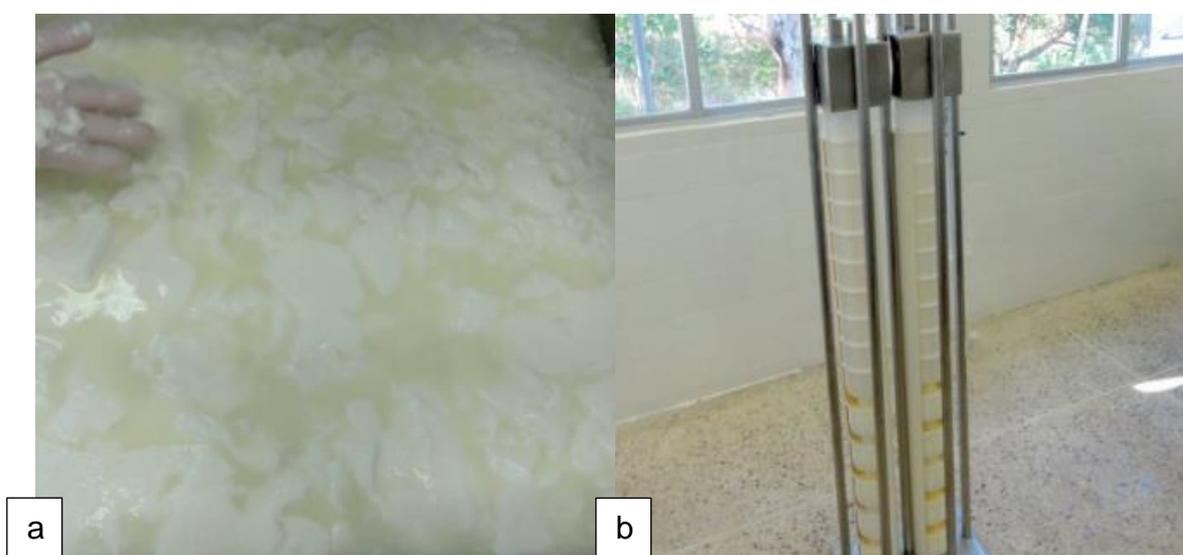
A primeira etapa consiste em receber o leite cru para analisar suas características físico-químicas e integridade. Realizado esse procedimento, a matéria-

prima deverá passar pelo processo de pasteurização, que consiste em realizar o tratamento térmico do leite com a temperatura entre 72 °C e 75 °C por 15 segundos para eliminação de microrganismos patogênicos e indesejáveis. Antes de seguir para a etapa de coagulação, ele deve ser resfriado no mesmo compartimento até 34 °C a 36 °C (Antunes, 2003)

Durante a fase da coagulação no processo, o objetivo é realizar a separação das proteínas e gorduras do leite, além de eliminar a água por meio do processo de dessoragem. Essa dessoragem origina o coágulo da massa, que é sensível e dispersa-se com facilidade em partículas que estão divididas bem finas. A remoção de água é provocada pelo fracionamento do coágulo, e essa coagulação ocasiona a precipitação de proteínas com gordura. Esse tipo de coagulação tem a atuação de uma enzima proteolítica sobre a fração kappa, que exerce proteção contra a precipitação das caseínas no leite (Antunes, 2003). O tempo de duração do processo é de aproximadamente 40 minutos.

Após a conclusão dessa etapa, procede-se com o corte do coágulo (Figura 2a), cujo objetivo é aumentar a área superficial das partículas da massa. Esse processo possibilita a saída do soro e promove o aumento da uniformidade de temperatura nessas partículas. Após, ocorre a dessoragem (Figura 2b), a qual consiste na aplicação de pressão para extrair o soro, modelar o queijo e permitir a remoção da massa do queijo, conforme descrito por Antunes (2003).

Figura 2 – Corte de coágulo (a) e dessoragem por prensagem (b) do queijo



Fonte: Embrapa (2018).

De acordo com os dados divulgados pela Associação Brasileira das Indústrias de Queijo (ABIQ), o mercado mundial de queijos aumentou 2,3% em 2019. Os EUA (Estados Unidos) lideram o ranking mundial em consumo de queijo com 6,1 milhões de toneladas, representando 24% do volume global. Seguido deste, tem-se a Alemanha e a França como maiores produtores, respectivamente, conforme observado na Tabela 1. Os mesmos países são também os maiores produtores de queijos, somando 46% da produção mundial. A previsão aponta uma tendência de crescimento no consumo semelhante ao obtido no de 2019.

Tabela 1 - Ranking dos maiores consumidores, produtores e importadores de queijos no mundo

País	Consumo em toneladas	Produção em toneladas	Importação em toneladas
Estados Unidos	6,1 milhões	6,3 milhões	180 mil
Alemanha	3 milhões	3,5 milhões	778 mil
França	1,6 milhões	1,9 milhões	377 mil

Fonte: Adaptado de ABIQ (2019).

Considerando amplo volume de produção de leite e queijo, é projetada uma e expressiva geração de soro de queijo. Conforme apontado por Teixeira e Fonseca (2008), para a obtenção de 1 kg de queijo, são necessários cerca de 10 litros de leite bovino, resultando em 9 litros de soro. No caso do leite bubalino, essa relação é de 5 litros de leite para 1 kg de queijo, gerando 4 litros de soro. A concentração de proteínas nesse subproduto revela-se de extrema importância, dada sua composição nutricional e potenciais aplicações industriais. Essa reflexão destaca a importância de uma gestão eficaz do soro de queijo, considerando tanto o seu volume quanto o seu valor nutricional.

2.3 Soro de queijo

Produto secundário da produção de queijos, o soro é obtido após a coagulação de caseínas do leite, apresentando uma coloração amarelada com aproximadamente 94% de água (Tsermoula *et al.*, 2021). De acordo com Pescuma *et al.* (2010), ele é composto por água, lactose, proteínas e minerais, como o NaCl e KCl, entre outros.

As proteínas presentes no soro de queijo possuem aminoácidos essenciais, potencializando seu valor biológico, assim como peptídeos bioativos, que são responsáveis por diversas propriedades funcionais atribuídas ao consumo de proteínas do soro (Siqueira; Machado; Stamford, 2013). A distribuição dos constituintes do soro doce pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 – Constituintes do soro doce

Constituintes	Teor (% em m/m)
Água	93 a 94
Sólidos totais 6 a 7 %	
Lactose	4,5 a 5
Proteína	0,8 a 1
Ácido láctico	0,1 a 0,2
Cinzas	0,5 a 0,7

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2017).

Ao realizar o processo de separação das caseínas do leite, restam na fração líquida as proteínas do soro do queijo e lactose, além de sais minerais. Essas proteínas podem ser aproveitadas para compor produtos de alto valor nutricional. Dentre as proteínas, podem ser destacadas: α -lactoalbumina, β -lactoglobulina, imunoglobulinas e albumina de soro bovino. A β -lactoglobulina é a proteína encontrada em maior abundância no soro, representando cerca de 50% das proteínas do soro do queijo. A molécula possui 162 aminoácidos e peso molecular de cerca de 18.000 Daltons, com estrutura que depende do pH do meio em que se encontra. Ela sofre dissociação quando estiver inserida em pH inferior a 3,5 e superior a 7,5, e se polimeriza quando estiver em um pH entre 3,5 e 5,2, originando um octômetro com peso molecular de 147.000 Daltons (Antunes, 2003). Em concentrados proteicos de soro encontra-se a β -lactoglobulina, proteína com propriedade de gelificação (Antunes, 2003). O uso dessa proteína serve como fonte de aminoácidos essenciais e aminoácidos ramificados, pois protegem o músculo e melhora a absorção de vitaminas lipossolúveis (Spadoti; Zacarchenco; Alves, 2016).

A α -lactoalbumina é a proteína que está como segunda maior em abundância presente no soro de queijo, representando aproximadamente 13% de proteínas totais. Considerada a única proteína do soro capaz de fazer ligação com o cálcio e com peso molecular de aproximadamente 14.000 Daltons, apresenta alto teor de triptofano, aminoácido cujos benefícios estão associados à melhora e regulação do sono e humor. É capaz de se restaurar em 90% mesmo após a desnaturação a 65,2 °C, motivo pelo qual pesquisadores a consideravam como a mais termoestável e resistente entre as demais proteínas do soro. As proteínas α -lactoalbumina e β -lactoglobulina são responsáveis por interagir com o sistema imunológico e desencadear a alergia alimentar comum em crianças (Brasil, 2021).

A albumina é uma proteína de cadeia polipeptídica de 582 aminoácidos essenciais e 69.000 Daltons de peso molecular. Possui capacidade de se ligar com lipídios e transportá-los para obter energia e formar novas membranas (Antunes, 2003). O autor explica ainda que, a albumina isolada no soro do sangue é igual à albumina presente no soro do queijo. As imunoglobulinas tem como função auxiliar na imunidade do animal, enquanto que suas propriedades quando nos derivados lácteos ainda é desconhecida. É formada por duas cadeias polipeptídicas iguais de 20.000 Daltons cada uma e duas cadeias polipeptídicas com peso molecular entre 50.000 a 70.000 Daltons cada (Antunes, 2003).

2.4 Usos do soro de queijo

O mercado consumidor alimentício está cada vez mais exigente, buscando por alimentos de qualidade e segurança. Em relação a tratos animais, busca-se um histórico alimentar dos animais que fornecem o insumo para elaboração de diversos produtos alimentícios. O bem-estar animal está diretamente ligado à qualidade do produto final, como a maciez da carne e a composição do leite bovino, por exemplo (Silva, 2013). De acordo com o trabalho desenvolvido por Moura *et al.* (2020), é possível substituir o leite integral por alimentações a base de soro de queijo para animais sem haver um prejuízo em relação às características da carne, tendo em vista que o soro foi obtido em laticínios, como produto secundário da fabricação de queijos. O soro que se obtém na produção de queijo deve ser colocado em tanques e em seguida passar pelos processos de clarificação por centrifuga para retirar pedaços

pequenos de queijo. Após, segue-se para a operação de ultrafiltração para concentrar a proteína e então, caso queira-se aumentar a porcentagem de concentração, usa-se o método de *spray dryer* para secar o produto e transformar em pó (Antunes, 2003).

Para obter-se um produto final de qualidade, é necessário secar o material para que possa ser utilizado novamente como ingrediente. O método usual é a secagem por *spray dryer*, que consiste em secar substâncias através da atomização. No entanto, esse processo pode apresentar dificuldades ao longo da execução, como adesão de partículas, partículas pegajosas, desnaturação de proteínas, entre outros, tendo como consequência um baixo rendimento no produto final (Silva; Santos, 2021).

Conforme explica Wyatt (2015), o soro do queijo é uma ótima opção de fonte de produção de peptídeos com propriedades biológicas. É possível hidrolisar tais peptídeos por meio de enzimas, mas quando possui um peso molecular alto torna-se mais difícil o processo. A ultrafiltração e a nanofiltração são citadas como metodologias que separam e concentram esses componentes. Peptídeos bioativos com propriedades de interesse para promover a saúde cardiovascular foram estudados intensamente, visto que mortes em decorrência de problemas cardiovasculares estão entre as mais ocorridas. Hidrolisados proteicos são amplamente utilizados na produção de alimentos especiais para tratamentos de algumas disfunções do organismo e na suplementação alimentar para nutrição de esportistas, mas o meio de obtenção destes possui um custo elevado, oriundos da caseína e do concentrado proteico do soro de queijo (Carreira *et al.*, 2011).

Um dos suplementos mais conhecidos mundialmente é o *whey protein*, suplemento alimentar produzido a partir da proteína presente no soro de queijo. O principal público alvo são os jovens, cujo objetivo é adquirir massa muscular (Guimarães, 2019). O ingrediente principal na produção de *whey protein* é a proteína do soro (Aita, 2020). Esse soro passa por diversos processos de separação para obtenção de um concentrado proteico, sendo que um soro com concentração proteica entre 30% e 85% é considerado um “concentrado de proteína do soro de queijo”, enquanto o concentrado com 90% ou mais de proteínas é considerado como “proteína isolada do soro de queijo” (Gomes, 2019). Para Carrilho (2013), as proteínas presentes no soro possuem inúmeras propriedades benéficas à saúde, auxiliando na diminuição de doenças infecciosas, condição de doenças degenerativas, entre outros.

Isso se explica pela alta concentração de imunoglobulinas presentes que possuem capacidade imunológica e auxílio na produção de glutathiona.

2.5 Processos de separação por membranas da proteína do soro de queijos

Processos de separação por membranas são aqueles cujas separações de misturas, suspensões ou soluções são realizadas por intermédio de membranas, sejam elas poliméricas ou cerâmicas. Essas substâncias a serem fracionadas podem ser de diferentes espécies e tamanhos, tendo em vista que o intuito é separar, purificar ou concentrar o produto desejado. As características levadas em conta para a seleção da membrana adequada envolvem a natureza química do material em questão, presença ou não de poros, bem como seus tamanhos e distribuição (Boschi, 2006).

A osmose inversa, nanofiltração, microfiltração e ultrafiltração são métodos que utilizam membranas acrescidas de pressão, amplamente utilizadas para concentrar, separar e purificar substâncias e moléculas de fluidos. Elas podem ser utilizadas em temperatura ambiente e consomem pouca energia. Na Tabela 3 observa-se algumas das características que devem ser consideradas para a escolha da membrana adequada.

Tabela 3 - Características das membranas

Técnica	Tamanho médio dos poros (nm)	Vazão do permeado (L*h⁻¹*m²)	Pressão transmembrana (bar)
Microfiltração	>200	>300	0-3
Ultrafiltração	2-200	20-200	2-10
Nanofiltração	1-2	5-100	10-40
Osmose Inversa	<1	<50	25->80

Fonte: Wyatt (2015).

O uso do processo de separação por membranas emerge como uma alternativa altamente eficaz na recuperação do soro de queijo. Esse método permite a separação de seus constituintes com base no tamanho, evitando transição de fase. As membranas empregadas são constituídas de materiais simples e ambientalmente

inofensivos, o que não apenas otimiza a eficiência do processo, como contribui positivamente para a sustentabilidade ambiental (Wen-Qiong *et al.*, 2019).

2.5.1 Microfiltração

A microfiltração é uma operação unitária que se destaca por sua capacidade de separar substâncias por meio de membranas. Nesse processo, a diferença de pressão atua como a força motriz, desempenhando papel significativo na remoção de proteína sérica do leite desnatado ou, alternativamente, na separação da proteína do leite concentrado, conforme destacado por Hurt, Adams e Barbano (2015). De acordo com Jesus (2019), a microfiltração é considerada uma etapa inicial devido às dimensões discretas dos poros dos filtros, nos quais o solvente e todo o material solúvel permeiam.

A eficácia da capacidade de retenção da microfiltração está intrinsecamente ligada à pressão aplicada durante o processo. Possui capacidade de reter partículas com tamanhos entre 0,1 μm e 10 μm , sendo essa faixa determinada, em grande medida, pela magnitude da pressão empregada. A relação é diretamente proporcional, indicando que um aumento na pressão resulta em uma maior passagem de partículas. Em outras palavras, quanto maior a pressão aplicada, maior a probabilidade de moléculas com tamanhos quase equivalentes aos poros conseguirem atravessar o sistema de filtração, conforme explicado por Filho (2017).

De acordo com Filho, Renosto e Balestrin (2021), a microfiltração é utilizada antes da ultrafiltração com objetivo de remover grande parte da gordura do soro de queijo, cerca de 95%. Além disso, é capaz de separar microrganismos e glóbulos brancos, visto que esses glóbulos podem obstruir as membranas da ultrafiltração. No trabalho realizado por Lira *et al.* (2009), a microfiltração foi usada para filtrar leite de búfala, apresentando grande redução na carga microbiana do leite, considerando o processo eficiente.

2.5.2 Ultrafiltração

A concentração proteica do soro gerado na produção de queijos é uma excelente alternativa no mercado alimentício (Damar; Cinar; Gulec, 2020). Uma das opções de destaque na recuperação e concentração desse coproduto é a ultrafiltração por membranas, porém, altos teores de α -lactalbumina, albumina sérica bovina e β -lactoglobulina limitam seu uso devido à propensão de incrustação causada nas membranas. De acordo com (Baruk Cic; Bo Zanik; Kulozik, 2014), às interações hidrofóbicas e iônicas ocasionadas pelas interações intermitentes das proteínas do soro com a superfície exterior da membrana desencadeiam essas incrustações, além das interações delas com íons monovalentes e divalentes.

A indústria de laticínios é uma das primeiras a explorar a técnica de separação por ultrafiltração para desenvolvendo materiais, equipamentos e processos para sua execução com eficiência. De acordo com o estudo realizado por Leidens (2013), trata-se de uma tecnologia promissora que possibilita o aperfeiçoamento de produtos lácteos tradicionais e o reaproveitamento de coprodutos gerados na produção dos mesmos, para que sirvam como insumo na fabricação de outros lácteos e suplementos alimentares. A ultrafiltração pode ser definida como um processo de separação mediante o uso de membranas, que é realizado sob a aplicação controlada de pressão. Boschi (2006) acrescenta que o transporte de uma determinada substância ou espécie ocorre devido à existência de um gradiente de potencial químico ou elétrico, sendo o primeiro dependente de fatores como pressão, temperatura e composição da substância. Wen-Qiong *et al.* (2019) estimam que aproximadamente 75% das membranas de ultrafiltração utilizadas na indústria são destinadas ao fracionamento das proteínas do soro de queijo.

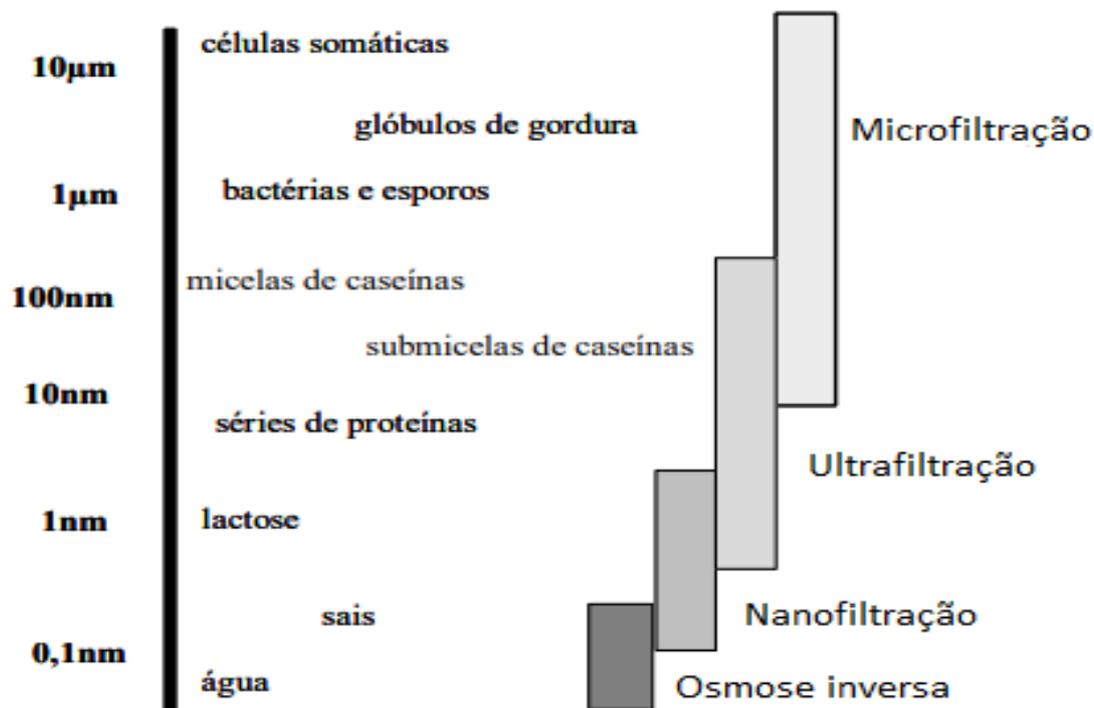
Boschi (2006) ressalta a relevância do emprego da ultrafiltração, evidenciando seu baixo consumo energético quando comparado aos métodos convencionais utilizados para tais finalidades. A ultrafiltração opera em temperatura ambiente, dispensando a necessidade de uma fonte de calor externa para facilitar a operação unitária. Essa particularidade não apenas simplifica o processo, mas também reduz a dependência de recursos adicionais, tornando a ultrafiltração uma opção atrativa e economicamente viável em comparação com métodos que requerem fontes de calor externas. Assim, a compreensão dessas vantagens reforça a posição da ultrafiltração

como uma abordagem eficiente e sustentável em diversas aplicações industriais, visto que o uso de calor implica na qualidade da matéria-prima.

Na ultrafiltração, é possível recuperar tanto a proteína como a gordura do soro porque ambas as moléculas ficam retidas na membrana em decorrência de seu tamanho, enquanto cinzas e a lactose atravessam a membrana, alcançando o permeado. Posteriormente, o concentrado resultante passa por um procedimento de secagem em secadores de pulverização, transformando-o em uma forma em pó. Vale ressaltar que a eficácia desse processo está intrinsecamente ligada à composição específica do soro (Yee; Wiley; Bao, 2006). Em um estudo conduzido por Atra *et al.* (2004), foi investigado o impacto de diversas pressões e vazões no processo, além da análise da rejeição de proteínas no permeado, a fim de aprimorar a eficácia do procedimento. De acordo com seu trabalho, para a obtenção de um pó concentrado com composição de 80% em proteína, faz-se necessário 20% (m/m) de proteína em um retentado.

O material da membrana usada no processo é um dos principais fatores, sendo geralmente utilizadas as orgânicas, que são de acetato de celulosa, polysulfone, polietersulfona, poliamida, fluoreto de polivinilideno, propileno ou poliéterimida, e as inorgânicas, que são metálicas ou de cerâmica (Wyatt, 2015). Ainda de acordo com o autor, na filtração há a formação do permeado e do retentado, sendo o primeiro o que passa pela membrana e o segundo o que fica retido na mesma. Antunes (2003) explica que a membrana usada no processo de concentração de proteína do soro do queijo é constituída por vários polímeros com capacidade de retenção de moléculas com pesos moleculares maiores que 20.000 a 30.000 Daltons. Nesse processo, obtém-se o permeado que são as moléculas que atravessam a membrana e o retentado que são as moléculas permeadas por ela. É possível chegar a uma concentração proteica de 25 a 35% por meio da ultrafiltração. Na Figura 3 são apresentados os constituintes do leite e o processo de separação adequado para cada um.

Figura 3 - Processo de separação de acordo com o tamanho dos constituintes



Fonte: Adaptado de Boschi (2006).

Segundo Boschi (2006), a técnica de separação por membranas é aconselhável para leites e soros, especialmente no que diz respeito às proteínas, sendo a ultrafiltração considerada a opção mais apropriada. Isso ocorre devido à designação de cada processo com base no tamanho dos poros da membrana e no tamanho dos constituintes de interesse na solução a filtrar, observado o peso molecular associado a eles.

2.5.3 Nanofiltração

Assim como a ultrafiltração, a nanofiltração é definida como um processo de separação por membrana que consiste em adicionar pressão por um meio externo para realizar a separação e concentração de substâncias, mas que possuem uma massa molar entre 100 e 500 Daltons (Atra *et al.*, 2004). Rosa e Silva (2022) afirmam se tratar de um processo relativamente simples e eficiente, ocasionando um aumento significativo de implementação em processos nos últimos anos.

Seu processo possui amplo emprego no tratamento de água, conforme Abdel (2018). Porém, obstáculos como a incrustação de membranas surgem ao longo do

processo, acarretando em diminuição de sua eficiência pelo fato de ser necessário aumentar a pressão do equipamento. Fappi (2015) explica que esses problemas afetam o processo e deve-se utilizar técnicas para tratar previamente os produtos a serem filtrados, tendo como exemplo o emprego da ultrafiltração, microfiltração, coagulação, entre outras.

2.5.4 Osmose inversa

Amplamente utilizada no processo de tratamento de águas, a osmose inversa é uma técnica de separação semelhante ao mecanismo osmótico, dependente de um gradiente de concentração (Mossmann, 2018). A osmose inversa consiste em exercer uma pressão maior que a pressão atmosférica sobre o espaço em que está a solução concentrada. Essa pressão faz com que a água permeie a membrana na direção oposta à osmose e direcione seu fluxo do meio concentrado para o meio menos concentrado. De modo geral, afirma-se que a água pura passa por meio de uma membrana, enquanto sólidos dissolvidos ficam retidos no recipiente de alimentação (Santos, 2015).

2.5.5 Estudos realizados sobre ultrafiltração de soro de queijo

No trabalho realizado por Baldasso, Barros e Tessaro (2011), foi estudada experimentalmente a concentração e posteriormente a purificação de proteínas do soro de queijo bovino utilizando a ultrafiltração em conjunto com a diafiltração descontínua, alternando variáveis como concentração volumétrica, volume de água da diafiltração, além do número de passos da mesma. O resultado aponta uma produção eficiente de concentrados proteicos, superior a 70% em massa.

Kilian *et al.* (2020) analisaram o comportamento da concentração proteica do soro do queijo bovino pelo processo de ultrafiltração com diferentes temperaturas e pressão. Seu estudo obteve resultados satisfatórios com promissoras utilizações das proteínas concentradas como ingrediente na produção de alimentos como maionese, sorvetes, entre outros. Borges *et al.* (2020) selecionaram três subprodutos líquidos na indústria de laticínios: soro de leite coalhado, soro de queijo e soro de segundo queijo de ovelha. Todos eles passaram pelo processo de concentração de proteínas por

ultrafiltração e em seguida foram utilizados como ingredientes na produção de queijos para comparar o valor nutritivo entre eles. Concluíram então que o uso de ingredientes concentrados por ultrafiltração confere melhora nas propriedades dos queijos. Recomendam ainda que, mais trabalhos nesse âmbito sejam desenvolvidos.

Na pesquisa de Henriques *et al.* (2020), foram investigadas as propriedades de gelificação de produtos líquidos não desengordurados de proteína do soro do queijo, obtidos por ultrafiltração. No trabalho, foi realizada a concentração proteica do soro de queijo através da ultrafiltração e posteriormente usada como ingrediente para a produção de géis lácteos ácidos. Os autores observaram que o concentrado proteico obtido confere alto valor nutritivo e agregado a produtos lácteos e alimentícios, além de auxiliar a indústria na demanda de mercado.

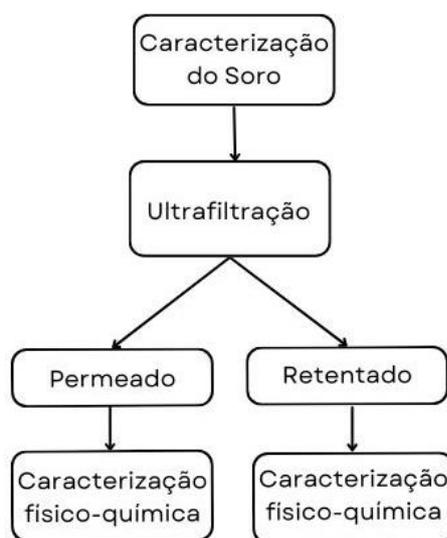
O estudo realizado por Damar, Cinar e Gulec (2020) vem ao encontro com o assunto em questão. Os autores avaliaram e compararam a eficácia do processo de ultrafiltração para concentrar as proteínas do soro de queijo bovino tendo como base as características físico-químicas das membranas utilizadas. Observaram que a permeabilidade da água foi afetada pela morfologia dos poros, a resistência intrínseca da membrana foi afetada pela porosidade da camada ativa, enquanto a rugosidade foi o principal fator responsável pela incrustação, destacando a alta rejeição das proteínas comuns do soro e da lactose em alta rugosidade.

Brião *et al.* (2017) realizaram uma série de testes de ultrafiltração com soro de queijo bovino para investigar a ocorrência de acúmulo de resíduos na superfície da membrana, representando o fluxo de permeado com precisão, observando o início de sua formação em menos de 10 segundos. Foi avaliado, no estudo conduzido por Lira *et al.* (2009), a eficiência de uma membrana cerâmica que possui 0,8 µm de porosidade no processo de filtração do soro de queijo bubalino, afim de comparar a qualidade nutricional do retentado com o soro *in natura* e o pasteurizado. Mossamann, Viganó e Brião (2020) avaliaram, sob diferentes pressões, a recuperação de proteínas através da ultrafiltração associada à diafiltração, bem como a influência de fluxo ao longo do processo. No estudo desenvolvido por Souza (2017), foi realizada a recuperação de proteínas do soro de queijo bubalino através da ultrafiltração e diafiltração, obtendo um resultado de cerca de 36% de proteínas (m/v).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo do trabalho apresenta o material e os métodos utilizados. Os experimentos foram realizados em dois equipamentos de funcionamento e fabricantes diferentes, seguindo ambos as mesmas etapas, conforme Figura 4.

Figura 4 – Etapas do trabalho de ultrafiltração por membranas



Fonte: Da autora (2023).

3.1 Obtenção do soro de queijo

O soro de queijo bubalino de queijo tipo mussarela foi coletado em uma indústria de laticínios na cidade de Glorinha, RS. Foram coletados dois lotes em recipientes higienizados e resfriados, sendo levados até a Universidade onde permaneceram congelados até os experimentos e caracterização. Esses lotes foram coletados em dois períodos diferentes, os quais foram caracterizados através de metodologias oficiais de análise de alimentos do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) e da

Associação de Produtos Químicos Agrícolas (AOAC, 2012) para composição centesimal (proteínas, umidade, cinzas e carboidratos), pH e cor (Konica, 2021).

3.2 Separação por membranas

Foram realizados experimentos de ultrafiltração de soro de queijo bubalino em simplicata, sendo ambos em plantas piloto de modelos diferentes. Os lotes de soros de queijo obtidos foram caracterizados e posteriormente realizados os experimentos de separação por membrana.

A ultrafiltração do soro foi conduzida em duas plantas piloto distintas, sendo uma a Planta Piloto Paillasse Unit 03 (Figura 5), situada no Parque Científico e Tecnológico (Tecnovates) da Univates. Nesse processo, foi empregada uma membrana orgânica espiral de polietersulfona (PES), com massa molar de corte de 10 kDa, 0,78 mm de espessura e 0,23 m² de superfície de contato. Foram utilizadas as seguintes condições operacionais: temperatura de 10 °C, pressão de trabalho de 3 bar e rotação de 40 Hz. Para iniciar os experimentos, efetivou-se a limpeza dos equipamentos para assegurar a qualidade e segurança destes. Em seguida, alimentou-se água de osmose para recirculação e finalmente alimentou-se o *soro in natura* no equipamento.

Figura 5 – Planta Piloto Paillasse Unit 03



Fonte: Da autora (2023).

Inicialmente o soro de queijo é vertido no tanque, onde uma bomba centrífuga extrai a amostra e direciona o soro através da tubulação para a membrana orgânica. As válvulas são ajustadas de acordo com o tipo de membrana utilizada, visto que pode ser empregada também a membrana mineral em outro local. Na membrana, o retentado é retido, enquanto o permeado atravessa a membrana. Após a passagem pela membrana, o permeado é recolhido por uma mangueira localizada após a membrana na tubulação, ao passo que o retentado é coletado por uma mangueira na parte inferior do tanque.

A segunda filtração foi realizada na Planta Piloto Reseta (Figura 6), situada no Laboratório de Operações Unitárias da Univates. Para iniciar os experimentos, efetivou-se a limpeza dos equipamentos para assegurar a qualidade e segurança destes. Em seguida, alimentou-se água de osmose para recirculação e finalmente alimentou-se o *soro in natura* no equipamento. Para a ultrafiltração neste equipamento, foi empregada uma membrana orgânica espiral de polietersulfona com massa molar de corte de 10 kDa e 1,8 m² de superfície de contato. Foram utilizadas as seguintes condições operacionais: temperatura de 26 °C, pressão de trabalho de 3 bar e rotação de 30 Hz.

Figura 6 – Planta Piloto Reseta



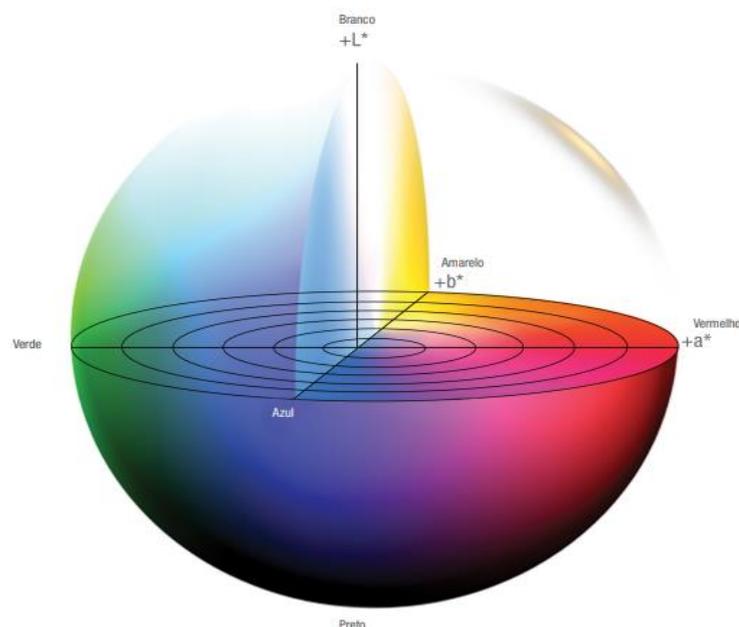
Fonte: Da autora (2023).

A operação de funcionamento da planta envolve a introdução do soro no tanque à direita na Figura 6, sendo direcionado pela bomba centrífuga através da tubulação, adentrando pelo lado direito da membrana orgânica localizada na parte posterior da planta. Após a passagem da amostra pela membrana, o permeado e o retentado seguem por trajetórias distintas, sendo o retentado conduzido de volta ao mesmo tanque e o permeado encaminhado para o tanque à esquerda na representação visual. Amostras de retentado e permeado podem ser coletadas a qualquer momento por meio de torneiras localizadas junto ao medidor de vazão, e ao término do processo, o retentado resultante é recolhido na parte inferior do tanque.

3.3 Caracterização do soro bubalino *in natura*, dos retentados e permeados

Foram caracterizados os soros *in natura* utilizados, retentados e permeados obtidos. A cor foi determinada através de espectrofotometria com o auxílio de um espectrofotômetro modelo CM-5 da marca Minolta, por meio de um diagrama tridimensional de cores $L^*a^*b^*$, onde L^* representa a luminosidade, a^* e b^* representam a cromaticidade, tendendo do verde (-) até o vermelho (+) e do azul (-) até o amarelo (+), respectivamente. Um aumento nos valores de a^* e b^* resulta no distanciamento do centro e aumento da saturação da cor (Konica, 2021). A Figura 7 apresenta o diagrama tridimensional de cores $L^*a^*b^*$.

Figura 7 - Diagrama tridimensional $L^*a^*b^*$



Fonte: Konica (2021).

A avaliação físico-química do soro de queijo bubalino *in natura*, bem como dos permeados e retentados obtidos, foi conduzida em triplicata, seguindo as metodologias oficialmente recomendadas para análise de alimentos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) e da *Association of Official Agricultural Chemists* (AOAC, 2012).

Para análise de umidade, foi utilizado o método gravimétrico de secagem direta em estufa a 105° C, conforme proposto na metodologia, que visa determinar a porcentagem de umidade através da remoção de água da amostra quando submetida ao aquecimento. Neste, foram pesadas amostras em cápsulas de porcelana anteriormente secas em estufa, posteriormente foram colocadas em estufa até evaporação da umidade e então colocadas em dessecador até atingir temperatura ambiente para pesagem dos sólidos restantes. Para determinar o percentual de umidade de casa amostra, foi utilizada a Equação 1.

$$Umidade (\%) = \frac{100 \times N}{P} \quad (1)$$

Onde:

P = massa de amostra em gramas;

N = perda de amostra em gramas.

No processo de determinação do resíduo de cinzas, optou-se pela aplicação do método gravimétrico de incineração, no qual a amostra foi submetida a um aquecimento a uma temperatura específica de 550 ± 10°C, mantida por um período de 4 horas. Este procedimento visou a eliminação completa da matéria orgânica presente na amostra, deixando apenas as cinzas resultantes. A Equação 2 foi empregada para calcular a porcentagem de cinzas com base nessa variação de peso.

$$Cinzas (\%) = \frac{100 \times N}{P} \quad (2)$$

Onde:

P = massa de amostra em gramas;

N = perda de amostra em gramas.

Na análise de proteínas, empregou-se o método de digestão Kjeldahl, fundamentado na determinação de nitrogênio (Tecnal, 2023). Este procedimento implica o aquecimento da amostra com ácido sulfúrico para a digestão, resultando na oxidação do hidrogênio e carbono. O nitrogênio contido nas proteínas converte-se em sulfato de amônia, e ao adicionar NaOH, a solução é aquecida, liberando amônia para a solução que contém ácido bórico, formando borato de amônia. O borato de amônia gerado é titulado com uma solução de ácido clorídrico para determinar a quantidade de nitrogênio presente na amostra. Portanto, a Equação 3 foi utilizada para calcular o teor de proteínas na amostra. Esse método abrange uma série de etapas cuidadosamente executadas, garantindo uma análise precisa e confiável do conteúdo proteico da amostra em questão.

$$\text{Proteínas (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times M \times 0,14 \times f}{P} \quad (3)$$

Onde:

V_a = volume de HCl usado na titulação em mL;

V_b = volume de HCl utilizado na titulação do branco;

M = molaridade do HCl;

0,14 = miliequivalente grama do nitrogênio;

f = fator de conversão de nitrogênio para proteína – 6,38 – (específico para lácteos);

P = peso da amostra em gramas.

O equipamento usado para a destilação foi o destilador de Nitrogênio da marca Tecnal, modelo TE-0364, representado na Figura 8.

Figura 8 – Destilador de nitrogênio



Fonte: Da autora (2023).

Foi determinado o teor de lipídios por meio do método Método de Mojonnier modificado, nº 989.05 – AOAC (2012). A gordura foi extraída através de uma mistura de éteres da amostra, o extrato do éter decantou em frascos previamente pesados e depois foi evaporado. Essa gordura extraída foi seca até peso constante, sendo o teor calculado através da Equação 4.

$$Gordura (\%) = \frac{((M_{\text{béquer}} + \text{lipídios}) - m_{\text{béquer}}) - m_{\text{branco}}}{m_{\text{amostra}}} \times 100 \quad (4)$$

Foi determinado o teor de carboidratos presentes na amostra através da diferença entre os resultados de umidade, cinzas, lipídios e proteínas, conforme Equação 5.

$$Carboidratos (\%) = 100 - (U\% + C\% + L\% + P\%) \quad (5)$$

Onde:

U = umidade;

C = cinzas;

L = lipídios;

P = proteínas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização físico-química

4.1.1 Caracterização físico-química do soro *in natura*

Analisou-se o pH do soro de queijo *in natura* utilizado nas plantas, obtendo-se a média de 6,05 no soro utilizado na Planta Paillasse, sendo classificado como soro doce de acordo com a Portaria DAS nº 658, de 21 de setembro de 2022, que altera o anexo I, da Instrução Normativa nº 94, de 18 de setembro de 2020, que aprova o Regulamento Técnico, que fixa os padrões de identidade e qualidade para o soro de leite doce e o soro de leite ácido (BRASIL, 2022). Para o soro utilizado na Planta Reseta, obteve-se a média de 5,5, sendo classificado como soro ácido. Em seguida, caracterizou-se os soros obtidos, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição físico-química do soro de queijo bubalino *in natura*

Parâmetro em base úmida (m/m)	Soro <i>in natura</i>	Soro <i>in natura</i>
Teor de umidade (%)	92,82 ± 0,01	93,05 ± 0,04
Teor de cinzas (%)	0,37 ± 0,05	0,37 ± 0,05
Teor de proteínas (%)	0,92 ± 0,06	0,96 ± 0,02
Teor de lipídios (%)	0,46 ± 0,02	0,50 ± 0,01
Teor de carboidratos (%)	5,43 ± 0,08	5,12 ± 0,11

Legenda: Valores expressos em média ± desvio padrão.

Fonte: Da autora (2023).

As amostras de soro de queijo utilizadas são do mesmo laticínio, porém, de coletas distintas. Uma possível hipótese para a diferença de acidez de ambos os soros pode estar relacionada com a conservação durante o transporte do coproduto utilizado

na Planta Reseta, uma que vez que este teve sua acidez aumentada. Possíveis causas do aumento de acidez podem ser o resfriamento não efetivo e o manuseio durante o processo de filtração.

A partir dos valores obtidos na Tabela 4, avista-se que o teor de umidade do soro *in natura* do experimento 1 é de 92,82%, enquanto o de sólidos totais é de 7,18%, estando contemplados dentro destes, por ordem de proporção, os carboidratos, as proteínas, os lipídios e as cinzas. Avaliando-se a composição somente em base seca tem-se 75,63% de carboidratos, sendo a lactose o principal carboidrato presente, 12,81% de proteínas, 6,45% de lipídios e 5,11% de cinzas.

Ao analisar os valores obtidos para o experimento 2, percebe-se que o teor de umidade soro *in natura* é de 93,05%, e 6,95% de sólidos totais, estando contemplados dentro destes, por ordem de proporção, os carboidratos, as proteínas, os lipídios e as cinzas. Avaliando-se a composição somente em base seca tem-se 73,67% de carboidratos, 13,81% de proteínas, 7,20% de lipídios e 5,32% de cinzas. Percebe-se que o soro utilizado no experimento 2 possui maior teor de proteínas em relação ao soro utilizado no experimento 1, além de possuir maior teor de lipídios e cinzas. A variação na composição dos dois soros pode estar associada ao momento em que foram coletados, uma vez que ocorreu em períodos diferentes e o leite, matéria-prima primordial, pode apresentar diferenças em sua composição durante a produção de cada um dos soros. No entanto, verifica-se que ambos os soros utilizados possuem valores semelhantes para teor de proteínas.

Os valores de proteína em base seca obtidos, de 12,81% na Planta Paillasse e 13,81% na Planta Reseta, foram semelhantes aos obtidos no estudo realizado por Bassan (2015), cujo soro de queijo *in natura* de búfala utilizado continha 11,13% de proteína em base seca. Souza (2017) obteve em seu estudo, 6,00 para pH do soro *in natura* de búfala, 7,9% de sólidos totais, 0,89% de proteínas, 0,7% de lipídios e 0,63% de cinzas, ambos em base úmida. Convertendo-se esses valores para base seca, tem-se 11,27% de proteínas, 8,86% de lipídios e 7,97% de cinzas. Essa diferença de composição obtida para os soros analisados pode ser relacionada ao processamento do coproduto e também à qualidade da matéria-prima (Teixeira; Fonseca, 2008).

Lira *et al.* (2009) caracterizam o soro de queijo bubalino *in natura* e encontraram pH com valor de 6,31, 89,60% de umidade e 10,40% de sólidos totais. Em valores de base seca, foram obtidos 11,54% de lipídios, 11,44% de proteínas e 56,15% de lactose. No trabalho de Teixeira e Fonseca (2008), o soro de queijo *in natura* doce bovino do tipo mussarela utilizado, obteve 93,67% de umidade e 6,33 de sólidos totais, subdivididos estes em 0,77% de gordura, 0,84% de proteínas, 0,47% de cinzas e 4,42% de lactose, ambos em base úmida. Convertendo-se esses valores para base seca, tem-se 12,16% de lipídios, 13,27% de proteínas, 7,42% de cinzas e 69,83% de lactose.

4.1.2 Caracterização físico-química dos retentados e permeados obtidos

Após a caracterização do soro *in natura* e dos experimentos realizados, foram caracterizados os retentados e permeados obtidos em ambos os procedimentos. Na Tabela 5 são apresentados os valores obtidos para retentado e permeado da ultrafiltração realizada na Planta Paillasse 03.

Tabela 5 - Composição físico-química do retentado e permeado obtidos na ultrafiltração na Planta Paillasse 03

Parâmetro em base úmida (m/m)	Retentado	Permeado
Teor de umidade (%)	95,05 ± 0,01	95,10 ± 0,01
Teor de cinzas (%)	0,37 ± 0,01	0,36 ± 0,01
Teor de proteínas (%)	0,71 ± 0,20	0,64 ± 0,03
Teor de lipídios (%)	0,49 ± 0,11	0,26 ± 0,20
Teor de carboidratos (%)	3,38 ± 0,13	3,64 ± 0,09

Legenda: Valores expressos em média ± desvio padrão.

Fonte: Da autora (2023).

Após, foram caracterizados o retentado e permeado obtidos na ultrafiltração da Planta Reseta, evidenciando-se os valores obtidos na Tabela 6.

Tabela 6 - Composição físico-química do retentado e permeado obtidos na ultrafiltração na Planta Reseta

Parâmetro em base úmida (m/m)	Retentado	Permeado
Teor de umidade (%)	93,20 ± 0,02	94,40 ± 0,02
Teor de cinzas (%)	0,34 ± 0,01	0,35 ± 0,01
Teor de proteínas (%)	1,25 ± 0,01	0,27 ± 0,00
Teor de lipídios (%)	0,50 ± 0,02	0,16 ± 0,01
Teor de carboidratos (%)	2,47 ± 0,17	3,75 ± 0,09

Legenda: Valores expressos em média ± desvio padrão.

Fonte: Da autora (2023).

A partir da Tabela 5, pode-se verificar que o retentado obtido no experimento 1 possui um teor de umidade de 95,05% e 4,95% de sólidos, enquanto o permeado possui 95,10% de umidade e 4,90% de sólidos. Sendo assim, em base seca há 68,28% de carboidratos, 14,34% de proteínas, 9,90% de lipídios e 7,48% de cinzas no retentado. Na Tabela 6 pode-se verificar que o retentado obtido no experimento 2 possui um teor de umidade de 93,20% e 6,80% de sólidos. Sendo assim, em base seca há 36,32% de carboidratos, 18,38% de proteínas, 7,35% de lipídios e 5% de cinzas.

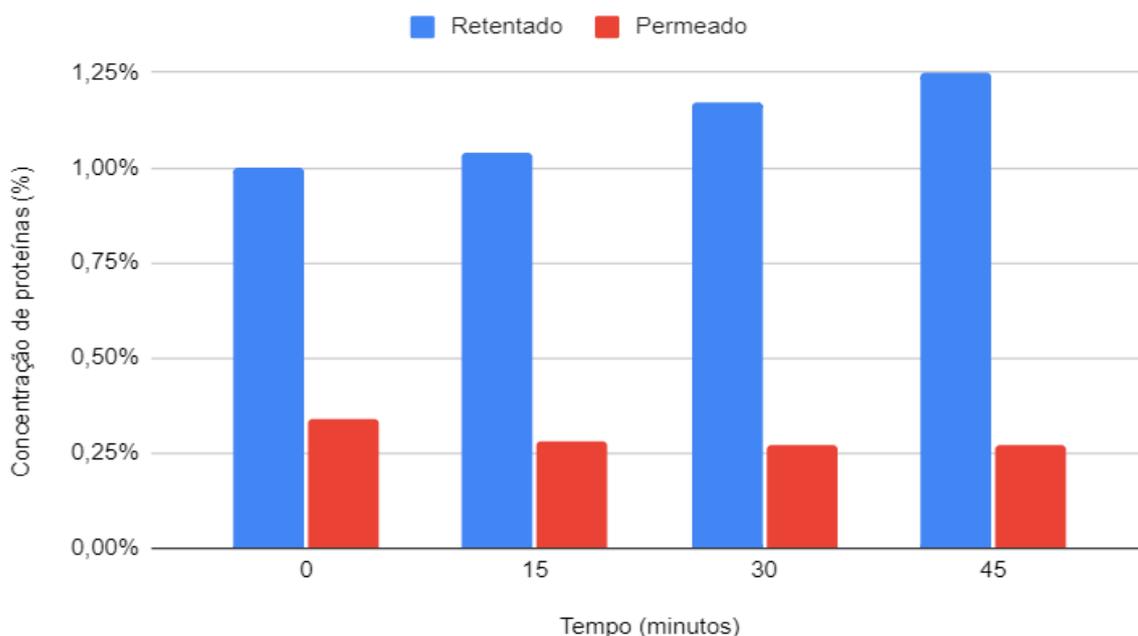
O aumento de concentração de proteínas foi pouco expressivo após o processo de ultrafiltração no experimento 1, visto que aumentou de 12,81% para 14,34% em base seca. Notavelmente, o permeado apresentou um valor intermediário ao retentado e o soro *in natura*, com 13,06% de proteínas, cujo resultado sugere que o processo não atingiu a eficiência esperada na concentração de proteínas. Além disso, a análise do teor de proteínas revelou que não ocorreu diminuição do soro *in natura* para o retentado, variando de 5,11% para 7,35%. Este resultado contrasta com o estudo conduzido por Baldasso, Barros e Tessaro (2011), no qual a ultrafiltração do soro de queijo bovino resultou na eliminação quase completa das cinzas. Essas discrepâncias destacam a necessidade de uma compreensão mais aprofundada dos parâmetros operacionais e das características específicas do processo em cada contexto de estudo.

No experimento 2 houve uma concentração de proteínas superior em comparação ao experimento 1, aumentando de 13,81% para 18,38% em base seca. Além desse aumento proteico, destaca-se uma redução na quantidade de cinzas, que

passou de 5,32% para 5%. Importante ressaltar que a remoção parcial de cinzas neste experimento se alinha com a abordagem adotada por Baldasso, Barros e Tessaro (2011), os quais também efetuaram a remoção substancial de cinzas em suas análises.

Foram coletadas amostras em intervalos de 15 minutos ao longo do experimento 2, com o intuito de investigar a possível influência do tempo de filtração na concentração de proteínas. A Figura 9 exibe a relação entre o tempo decorrido e a concentração de proteínas em base úmida.

Figura 9 – Concentração de proteínas em base úmida em função do tempo



Fonte: Da autora (2023).

Com base na Figura 9, é perceptível que a concentração de proteínas aumentou progressivamente ao longo do tempo. Essa observação sugere que o período de filtração desempenha um papel direto na obtenção de um concentrado proteico, indicando uma influência da variável temporal no processo. Os retentados obtidos nos experimentos não se qualificam como concentrados proteicos, pois não alcançaram a concentração mínima de 30%, requisito essencial para serem designados como "concentrado de proteína do soro de queijo", como indicado por Gomes (2019).

No estudo conduzido por Mossmann, Viganó e Brião (2020), foi concentrado soro de queijo bovino através de ultrafiltração seguida por diafiltração. Na etapa de

ultrafiltração, obtiveram uma rejeição de proteínas pela membrana de aproximadamente 98%, entre 11% e 15% de rejeição de lactose, 100% de gordura e aproximadamente 25% de cinzas. Esses resultados evidenciam que é necessário remover gordura antes da ultrafiltração, visto que o tamanho do diâmetro de corte dos lipídios é maior que das proteínas. A membrana empregada foi de polietersulfona com configuração espiral, massa molar de corte de 10 kDa e área de filtração de 5,4 m². Além disso, os autores conduziram estudos em diferentes pressões, 2 bar e 4 bar, evidenciando que ambas obtiveram resultados semelhantes.

Becker *et al.* (2020) utilizaram o processo de ultrafiltração para concentrar as proteínas do soro de queijo bovino. O retentado apresentou 92,4% de umidade e 8,16% de sólidos totais. Em termos de base seca, a composição foi de 35,05% de proteínas, 14,83% de lipídios, 45,46% de lactose e 3,43% de cinzas. O procedimento empregou uma membrana de poliamida com configuração espiral, massa molar de corte de 10 kDa e área de filtração de 1,8 m². A ultrafiltração foi realizada a 1 bar de pressão e temperatura de 10 °C.

O processo conduzido na Planta Piloto Reseta apresentou vazão de 3,6 L/h no permeado e 116,12 L/h no retentado no início da filtração. Ao final desta, obteve-se uma vazão de 2,21 L/h na linha do permeado e 103,03 L/h na linha do retentado. Ao analisar os dados, observa-se que ambos apresentaram redução na vazão. A vazão na linha do permeado reduziu expressivamente, ao passo que a redução na vazão da linha do retentado foi menos pronunciada.

Lira *et al.* (2009) explica que o emprego de uma membrana com uma porosidade superior na microfiltração que permite a separação de lipídios, pode interferir no aumento da vazão e conseqüentemente contribuir para a redução de incrustação de proteínas na membrana. Brião *et al.* (2017) ultrafiltraram o soro de queijo em diferentes condições e obtiveram reduções significativas na vazão do permeado em pouco tempo de processo, visto que após 10 minutos sua vazão era apenas 55% da vazão inicial, e após 60 minutos, apenas 35% da vazão inicial. Os autores afirmam que a incrustação da membrana ao longo do processo é o principal fator contribuinte para a redução na vazão do permeado.

Mossamann, Viganó e Brião (2020) observaram que nos experimentos com soro nas pressões de 2 bar e 4 bar, a vazão do permeado reduziu ao longo do tempo. No ensaio com pressão de 4 bar obtiveram vazão inicial maior, enquanto que a partir de 5 minutos de processo, ambos atingiram vazões próximas. Essa redução é justificada pelos depósitos formados na superfície da membrana. Além disso, os autores explicam que o fluxo do permeado do soro menor que o fluxo do retentado demonstra o efeito de concentração e a tendência é de se agravar com o decorrer do tempo de concentração.

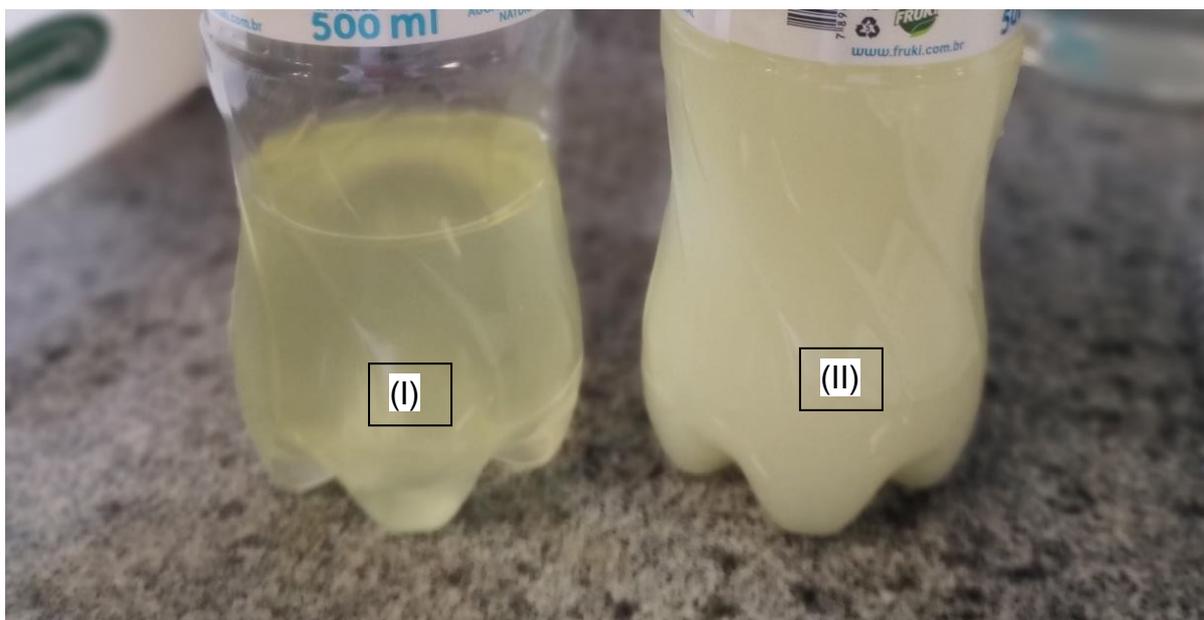
A partir dos experimentos realizados e dos dados comparados, percebe-se que ambos não atingiram o objetivo de concentrar proteínas em até 30% em termos de base seca. No entanto, a partir dos estudos avaliados, nota-se que os lipídios podem incrustar as membranas e reduzir a eficiência da ultrafiltração, o que pode ter colaborado para o baixo concentrado obtido. Além disso, a remoção de cinzas também é indicada por Mossmann, Viganó e Brião (2020) através da nanofiltração, visto que as mesmas auxiliam no entupimento dos poros.

Lira *et al.* (2009) caracterizaram um soro de queijo bubalino e obtiveram 1,20% de gordura em base úmida, reduzindo esse percentual para 0,07% após a microfiltração, evidenciando ser um processo eficaz para remoção dos lipídios. Com essa etapa de microfiltração antes da ultrafiltração, diminui-se a incrustação ocasionada na membrana de ultrafiltração, visto que a gordura é um dos principais incrustantes que leva ao entupimento dos poros. No entanto, também houve uma redução em menor proporção de proteínas, lactose, sólidos e acidez. Outro método que pode ser adotado para a remoção de gordura é a centrifugação, que consiste em separar compostos através da sedimentação baseada na diferença de densidades.

4.2 Cor

O procedimento de separação por membranas realizado na Planta Piloto Paillasse Unit 03 gerou um permeado (à esquerda) e retentado (à direita) com tonalidades diferentes, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Permeado (I) e retentado (II) obtido na ultrafiltração da Planta Piloto Paillasse



Fonte: Da autora (2023).

Após a filtração, fez-se a análise de cor por espectrofotometria e obteve-se os resultados para os parâmetros L^* , a^* e b^* , conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros L^* , a^* e b^* obtidos para o soro de queijo *in natura*, retentado e permeado

Parâmetro	Soro <i>in natura</i>	Retentado	Permeado
Cor L^*	$60,66 \pm 0,04$	$52,23 \pm 0,08$	$49,77 \pm 0,14$
Cor a^*	$-3,55 \pm 0,01$	$-2,75 \pm 0,01$	$-2,34 \pm 0,01$
Cor b^*	$4,12 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,01$	$0,91 \pm 0,02$

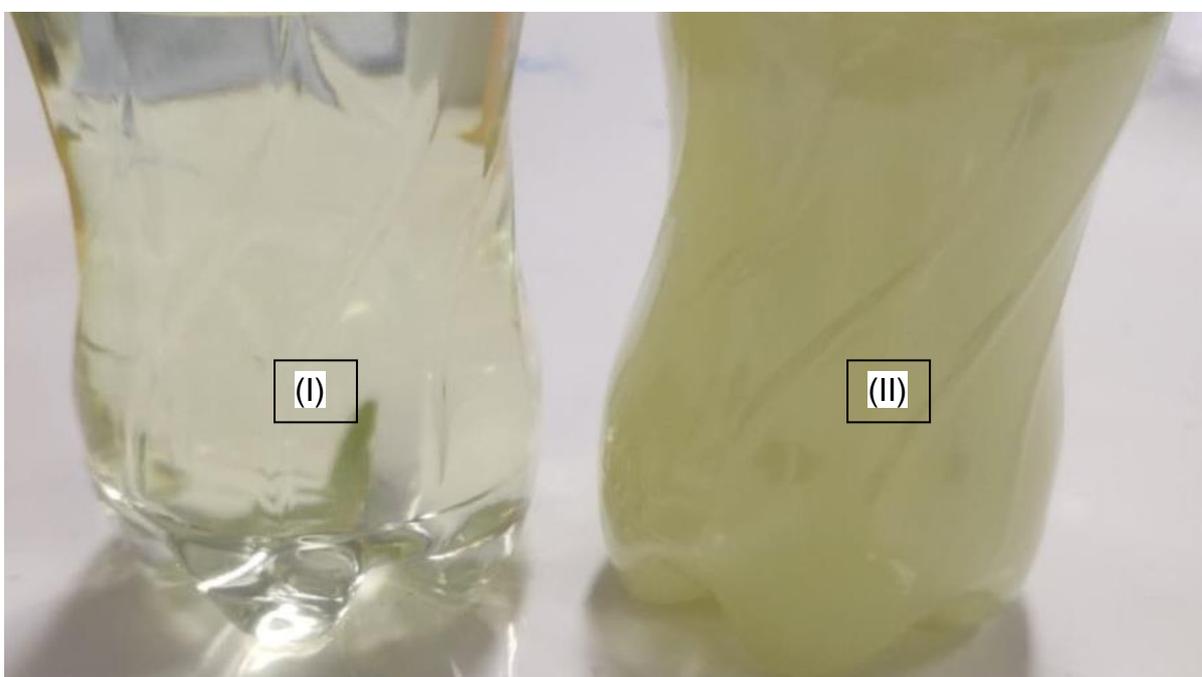
Legenda: Valores expressos em média \pm desvio padrão.

Fonte: Da autora (2023).

Os valores de L^* representam a luminosidade da amostra, tendo uma faixa de variação de 0 a 100. Eles não oscilaram muito e apresentaram valor relativamente alto, o que indica bastante luminosidade. Os valores de a^* e b^* apresentaram pequena redução para retentado e permeado, respectivamente. O primeiro indica variação de tonalidade de verde (negativo) até vermelho (positivo), enquanto o segundo indica a tonalidade amarela.

O procedimento de separação por membranas realizado na Planta Piloto Reseta gerou um permeado (à esquerda) e um retentado (à direita) com tonalidades diferentes, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Permeado (I) e retentado (II) obtido na ultrafiltração da Planta Piloto Reseta



Fonte: Da autora (2023).

Após a filtração, fez-se a análise de cor por espectrofotometria e obteve-se os resultados para os parâmetros L^* , a^* e b^* , conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Parâmetros L^* , a^* e b^* obtidos para o soro de queijo *in natura*, retentado e permeado

Parâmetro	Soro <i>in natura</i>	Retentado	Permeado
Cor L^*	54,30 ± 0,053	55,54 ± 0,145	48,46 ± 0,146
Cor a^*	-3,02 ± 0,009	-3,42 ± 0,008	-0,80 ± 0,017
Cor b^*	2,41 ± 0,020	3,36 ± 0,009	0,54 ± 0,012

Legenda: Valores expressos em média ± desvio padrão.
Fonte: Da autora (2023).

Pode-se verificar-se que a amostra de soro *in natura* de ambos os experimentos possui luminosidades semelhantes ao retentado e um pouco mais distantes do permeado. O retentado possui maior luminosidade que o permeado em ambos os experimentos, esse fato pode estar relacionado à composição de cada corrente de

saída das plantas piloto utilizadas. O estudo realizado por Becker *et al.* (2020) apresentou uma redução no parâmetro para o retentado.

Os valores de a^* e b^* também apresentaram pequena variação para retentado e permeado, respectivamente. O primeiro indica variação de tonalidade de verde (negativo) até vermelho (positivo), enquanto o segundo indica a tonalidade amarela. No experimento conduzido na Planta Paillasse, observa-se que os valores de a^* aumentaram ligeiramente, enquanto os valores de b^* tiveram redução para retentado e permeado, justificando-se uma coloração menos amarela.

No experimento conduzido na Planta Reseta, observa-se que os valores de L^* não variaram muito. Nos valores de a^* , observa-se que o retentado teve uma pequena diminuição, enquanto que o permeado apresentou aumento no valor, evidenciando um tom mais esverdeado para o primeiro e um menos esverdeado para o segundo. Para o parâmetro b^* , nota-se um pequeno aumento para retentado e redução significativa no permeado, o que é justificado através da Figura 11, onde é possível perceber a cor mais amarela no retentado e menos amarela no permeado. Becker *et al.* (2020), obtiveram, para o retentado do soro de queijo, valor de -1,17 para o parâmetro a^* , 6,52 para b e 26,92 para L .

5 CONCLUSÃO

Com base nas atividades realizadas, é possível concluir que a utilização da ultrafiltração por membranas para concentrar proteínas emerge como uma alternativa para o uso eficiente do soro gerado durante a produção de queijos, com potencial para gerar um insumo de interesse para a indústria alimentícia. A caracterização dos soros *in natura* indica que a diferença composicional pode ser atribuída a diversos fatores e influenciar na concentração proteica, ressaltando-se o uso de um soro ácido e outro soro doce. Os retentados obtidos contêm um teor expressivo de umidade. Em menor proporção, possuem carboidratos, proteínas, lipídios e cinzas em sua composição. A coloração dos retentados apresenta tonalidade amarelada e aspecto opaco.

O experimento realizado na Planta Reseta demonstrou uma melhor separação quando comparado à Planta Paillasse. Isso destaca a importância do entendimento sobre a separação por membranas e a necessidade de manipulá-las com cautela, pois ambos os experimentos realizados não alcançaram a concentração necessária de 30%, visto que no experimento com soro doce conduzido na Planta Paillasse obteve-se uma concentração proteica final de 14,34%, e no experimento com soro ácido conduzido na Planta Reseta obteve-se uma concentração de 18,38%, ressaltando a concentração proteica avaliada em decorrer do tempo neste segundo. Para investigações futuras, é aconselhável integrar a microfiltração antes da ultrafiltração, visando eliminar gordura e agentes patogênicos que podem se acumular nas membranas. A microfiltração, devido aos seus poros de dimensões superiores em comparação com a ultrafiltração, revela-se eficaz na remoção desses elementos indesejados, além da centrifugação, que pode ser empregada na remoção da gordura. A nanofiltração também se apresenta como uma alternativa para a remoção de cinzas.

REFERÊNCIAS

ABDEL, Mona A. Sistemas de nanofiltração e aplicações no tratamento de efluentes: artigo de revisão. **Revista de Engenharia de Ain Shams**, v. 9, n. 4, p. 3077-3092, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447918300534?via%3Dihub>. Acesso em: 05 set. 2022.

ABIQ. Associação Brasileira das Indústrias de Queijo. Disponível em:

<https://www.abiq.com.br/>. Acesso em: 05 out. 2023.

ABIQ. **Mercado global de queijos bate recorde em 2019**. Associação Brasileira da Indústria de Queijo. 2021. Disponível

em https://www.abiq.com.br/noticias_ler.asp?codigo=2373&codigo_categoria=6&codigo_subcategoria=5#:~:text=Mercado%20global%20de%20queijos%20bate%20recorde%20em%202019&text=Em%202019%2C%20o%20mercado%20global,ap%C3%B3s%20dois%20anos%20de%20decl%C3%ADnio. Acesso em: 01 set. 2022.

AITA, Bruno C. **Produção de Enzimas Hidrolíticas por Fermentação em Estado Sólido e Secagem por Spray Drying**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia

Química) – Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, 2020.

Disponível em:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23219/TES_PPGEQ_2021_AITA_BRUNO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 20 set. 2022.

ANDRADE, Kivya D de. **Qualidade do leite de búfala (*Bubalus bubalis*) suplementada com selênio**. 2015. Dissertação (Pós-Graduação em produção animal) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, RN, 2015.

Disponível em:

https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/20821/1/KivyaDiasDeAndrade_DISSE RT.pdf. Acesso em: 01 out. 2023.

ANG, Wei L.; MOHAMMAD, Abdul W.; HILAL, Nidal; LEO, Choe P. **A review on the applicability of integrated/hybrid membrane processes in water treatment and desalination plants**. *Desalination*, Volume 363, Pages 2-18, 2015. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916414001337?casa_token=rjogEu7jCccAAAAA:yjgvT3ptpQz4UoB1kJpq27OuM5rvMfLhdjau_-XfXVjuDMHUH5ynfW5UkqikwATwDFpzTTEwhWo. Acesso em 23 set. 2022.

ANTUNES, Aloisio J. **Funcionalidade de proteínas do soro de leite bovino**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2003.

AOAC. **Official Method of Analysis: Association of Analytical Chemists**. 19th Edition, Washington DC, 2012, 121-130.

ATRA, Ramadam; VATAI, Gyula; MOLNAR, Erika B.; BALINT, Agnes. *Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose*. **Journal of Food Engineering**, v. 67, n. 3, p. 325-332, 2005. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877404002109>. Acesso em: 01 nov. 2022.

BALD, Júlio. A.; VINCENZI, Angélica; GENNARI, Adriano; LEHN, Daniel N.; SOUZA, Cláucia F. V. De. Características físico-químicas de soros de queijo e ricota produzidos no Vale do Taquari, RS. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 4, n. 3, 20 nov. 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/228507872.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

BALDASSO, C.; BARROS, T.C.; TESSARO, C. Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. **Desalination**, v. 278, n. 1–3, p. 381-386, 2011. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411004681?via%3Di> hub. Acesso em: 10 set. 2022.

BARUK CIC, Irena; BO BANIC, Rajka; KULOZIK, Ulrich. *Effect of pore size and process temperature on flux, microbial reduction and fouling mechanisms during sweet whey cross-flow microfiltration by ceramic membranes*. **International Dairy Journal**, v. 39, p. 8-15, 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.05.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958694614000910>. Acesso em: 18 set. 2022.

BASSAN, Juliana C. **Hidrolisados parciais de soro proteínas lácteas bovina e bubalina obtidos com proteases imobilizadas**: ensaios de transporte e absorção de peptídeos através das técnicas da dialisabilidade e cultura de células caco-2. 2015. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNSP_3531c988dcb068fdc1d591b9ef5663d4. Acesso em: 01 nov. 2023.

BATISTA, Evandro A et al. **Estudo do processo de secagem do resíduo de malte gerado na produção de cerveja**. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA ECONOMIA - CONTECC, 75., 2018, Maceió, AL. (Batista et al., 2018). Disponível em: https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agronomia/126_edpdsdrdmgnpdc.pdf. Acesso em 10 ago. de 2022.

BECKER, Jeneffer; FERNANDES, Ilizandra A.; STEFFENS, Clarice; STEFFENS, Juliana; VALDUGA, Eunice. Obtenção e caracterização de concentrado proteico de soro de leite em pó. **Vivências**, v. 16, n. 31, 2020. Disponível em: <http://revistas.uri.br/index.php/vivencias/article/view/172>. Acesso em: 05 nov. 2023.

BIEGER, Arlei; LIMA, Jandir F. Empresa e desenvolvimento sustentável: um estudo de caso da Soro. **Revista FAE**, Curitiba, v.11, n.2, p. 59-67, 2008. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/326/222>. Acesso em: 30 ago. 2022.

BOFFO, E. V.; Silva, G. M. C. da; KLAGENBOECH, R.; TONEL, J. J. Modelagem Matemática para Descrição da Cinética de Secagem da Mistura de Bagaço de Malte e Levedura (*Saccharomyces Cerevisiae*). *In: XX Congresso de Engenharia Química*, 2014, Santa Catarina. **Anais**. Florianópolis, SC: COBEQ, 2014. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/modelagem-matematica-para-descricao-da-cintica-de-secagem-da-mistura-de-bagao-de-malte-e-levedura-saccharomyces-cerevisiae-17430>. Acesso em: 25 set. 2022.

BORGES, Ana Raquel *et al.* **Subprodutos lácteos concentrados por ultrafiltração usado como Ingredientes na Produção de Gordura Reduzida queijo coalho lavado**. Instituto politécnico de Coimbra, Portugal, 2020.

BOSCHI, Jaqueline R. **Concentração e purificação das proteínas do soro de queijo por ultrafiltração**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, RS, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/8693?locale-attribute=en>. Acesso em: 18 set. 2022.

BOURSCHEIDT, C. T.; Oliveira, B. H.; Gonçalves, G. da C.; Silva, G. M. C da. **Estudo da Secagem do Bagaço de Malte Resíduo Úmido Obtido do Processo Industrial de Cervejaria**. *In: II International Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management*, 2011, Paraná. Anais. Foz do Iguaçu: SIGERA, 2011. Disponível em: <http://www.sbera.org.br/2sigera/obras/t167.pdf>. Acesso em: 21 set. 2022.

BRASIL - Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Mapa do Leite: políticas públicas e privadas para o leite**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/mapa-do-leite#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20terceiro,de%204%20milh%C3%B5es%20de%20pessoas>. Acesso em: 10 out. 2022.

BRASIL. **PORTARIA Nº 098-R**. Governo do Estado do Espírito Santo. Secretaria de Estado da Saúde. 2021. Disponível em: https://farmaciacidade.es.gov.br/Media/farmaciacidade/Arquivos/PORTARIA_098-R-F%C3%93RMULAS_NUTRICIONAIS.pdf. Acesso em: 12 out. 2022.

BRASIL. **Diário Oficial da União**. Portaria SDA nº 658, de 21 de setembro de 2022 - Altera o anexo I, da Instrução Normativa nº 94, de 18 de setembro de 2020, que aprova o Regulamento Técnico, que fixa os padrões de identidade e qualidade para o soro de leite e o soro de leite ácido. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-658-de-21-de-setembro-de-2022-431646898>. Acesso em: 09 nov. 2023.

BRIÃO, Vandrê B.; SEGUENKA, Bruna; ZANON, Caroline D; MILANI, Adriana. *Cake formation and the decreased performance of whey ultrafiltration*. **Acta Scientiarum**.

Technology, v. 39, n. 05, p. 517-524, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v39i5.27585>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/3032/303258119001/303258119001.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2023.

BUSS, Dilnei A.; Henkes, Jairo A. Estudo dos impactos ambientais causados por laticínios com foco no reaproveitamento dos resíduos gerados. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 384-395, 2014. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/2535. Acesso em: 15 nov. 2023.

CARREIRA, Raquel L.; SILVA, Viviane D. M.; LIMA, Letícia G.; MORAIS, Harriman A.; SILVESTRE, Marialice P. C. Perfil peptídico de hidrolisados proteicos da farinha de trigo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 41, n. 4, p. 481-489, out./dez. 2011. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. 2011. ISSN 1983-4063. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/Sx8RWDwB7DFQTpbk6pbYqMz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 4 set. 2022.

CARRILHO, Luiz H. Benefícios do uso de whey protein whey protein/Benefícios da utilização da proteína do soro de leite whey protein. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**. vol. 7, n. 40, julho-agosto. 2013. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA391596417&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=19819927&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7Ee49273ba&aty=open-web-entry>. Acesso em: 05 nov. 2022.

CHEN, George Q.; QU, Yiran; GRAS, Sally; KENTISH, Sandra E. Separation Technologies for Whey Protein Fractionation. **Food Engineering Reviews**, v. 15, p. 438-465, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09330-2>. Acesso em: 05 out. 2023.

DAMAR, Irem; CINAR, Kadir; GULEC, Haci Ali. *Concentration of whey proteins by ultrafiltration: Comparative evaluation of process effectiveness based on physicochemical properties of membranes*. **International Dairy Journal**, v. 111, p. 104823, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104823>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095869462030193X?casa_token=ELoXN4jUw5kAAAAA:f9qqtoykYJdRUC7gFKOXkC1T9Ki8cQH7-JWgJmnEdblhM3ZnGoclCCS6k2eROtoxrm3oilQSc0. Acesso em: 1 set. 2023.

EMBRAPA. **Queijo caprino artesanal sem fermento láctico**. 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/196754/1/CNPC-2018-Cot186.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

FAPPI, Devanir A. **Micro e ultrafiltração como pó-tratamento para reuso de efluentes de abatedouro e frigorífico de suínos**. 2015. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Paraná, Medianeira, PR, 2015. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1273>. Acesso em: 18 nov. 2023.

FILHO, M.B.G. **Análise da implementação do sistema de membranas ultrafiltrantes em uma ETA de ciclo completo a partir do estudo de caso da ETA Meia Ponte.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2017. Disponível em: <https://eeca.ufg.br/p/23209-trabalho-de-conclusao-de-curso-engenharia-civil-2017-2>. Acesso em: 15 ago. 2023.

FILHO, Gilberto A. B.; RENOSTO, Natália F.; BALESTRIN, Tomás da S. **Produção de suplemento (*whey protein*) concentrado e isolado a partir do soro de leite.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS: 2021. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/21755/BRZOZOVSKI_FILHO_GILBERTO_RENOSTO_NATALIA_BALESTRIN_TOMAS_2021_TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 01 out. 2023.

FLORENCIO, Isanna et al. **Produção de etanol a partir de lactosoro industrial.** 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/WfGGcGD4pcHqg5qFCTrGbtL/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2022.

FRAGA, Érica E. A.; RODRIGUES, Simone M. S.; VASCONCELOS, Cleiton R.; SANTANA, José R.; SANTOS, Mário J. C.; SILVA, Daniel P.; Análise do descarte ambientalmente correto da produção do queijo coalho em fabriquetas do Sertão Sergipano. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 2, p.126-135, 2016. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2016.002.0010> 2016. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/8799/2/AnaliseDescarteQueijoCoalho.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

FRIGON, Jean C.; BRETON, Jérôme; BRUNEAU, T.; MOLETTA, Renè; GUIOT, S. R. 2009. The treatment of cheese whey wastewater by sequential anaerobic and aerobic steps in a single digester at pilot scale. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 18, p. 4156-4163, 2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.077>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409003617>. Acesso em: 15 set. 2023.

GOMES, Jaqueline V. P. **Concentrado proteico de soro de leite adicionado de Extrato de cúrcuma desenvolvido por secagem em leito de Espuma e spray drying: aspectos nutricionais e tecnológicos.** 2019. Viçosa, MG, BRASIL, 2019. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/27772/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em 15 set. 2022.

GOMES, M. S.; FRAGA, Sara; MOURA, Neusa F.; SILVA, Roberto S. G. Aproveitamento de cascas de banana para a produção de farinha e aplicação como ingrediente em bolos. *In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2016, Gramado, RS. **Anais**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312029963_APROVEITAMENTO_DE_CASCAS_DE_BANANA_MUSA_SPP_PARA_PRODUCAO_DE_FARINHA_E_APLICACAO_COMO_INGREDIENTE_EM_BOLOS. Acesso em: 05 ago. 2023.

GONÇALVES, Nayara de R. **Processos Químicos na Indústria de Produção de Queijo**. 2017. Monografia (Bacharel em Química) - Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, MG, 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/70093574-Processos-quimicos-na-industria-de-producao-de-queijo.html>. Acesso em: 02 out. 2022.

GONÇALVES, Ana C. R. **Caracterização do processo de produção de queijo de cabra na queijaria Prados de Melgaço**. 2019. Trabalho (Mestrado em Engenharia Alimentar) – Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, Portugal: 2019. Disponível em: <http://repositorio.ipv.pt/handle/20.500.11960/2509>. Acesso em: 25 out. 2023.

GUIMARÃES, Pedro E. **Consumo de suplementos alimentares e esteroides anabolizantes por praticantes de musculação**. 2019. Dissertação (Mestrado em Atividade Física e Saúde) – Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/124325/2/368007.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

GUO, Mingruo; HENDRICKS, Gregory M. Improving buffalo milk. **Improving the safety and quality of milk**. Woodhead Publishing, p. 402-416, 2010. DOI <https://doi.org/10.1533/9781845699437.3.402>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9781845698065500145>. Acesso em: 01 out. 2023.

HENRIQUES et al. **Concentrados protéicos de soro de leite líquido como matéria-prima primária para géis lácteos ácidos**. Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal. 2020.

HURT, E.E.; ADAMS, M.C.; BARBANO, D.M. Microfiltration: Effect of channel diameter on limiting flux and serum protein removal. **Journal of dairy science**, v. 98, n. 6, p. 3599–3612, 2015. DOI <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9225>. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9225>. Acesso em set. 2022.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 4 ed., 2008. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf?attach=true. Acesso em: 25 set. 2022.

KILIAN, Josiane; FERNANDES, Ilizandra A.; MENEGOTTO, Anne L. L.; STEFFENS, Clarice; ABIRACHED, Cecilia; STEFFENS, Juliana; VALDUGA, Eunice. Interfacial and emulsifying properties of whey protein concentrate by ultrafiltration. **Food Sci Technol Int**, 2020. DOI 10.1177/1082013220921595. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32326775/>. Acesso em: 04 nov. 2023.

KONICA. Entendendo o Espaço de Cor L*a*b*. 2021. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>. Acesso em: 16 out. 2022.

JESUS, Mayara V. **Uso de membranas de microfiltração e ultrafiltração para recuperação e concentração de amilase produzida em resíduo agroindustrial (manipueira) como substrato.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Sergipe, SE: 2019. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/17105/2/MAYARA_VIEIRA_JESUS.pdf. Acesso em: 01 out. 2023.

LEIDENS, Nataly. **Concentração das proteínas do soro de leite de ovelha por ultrafiltração e determinação das propriedades funcionais dos concentrados proteicos.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, RS: 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96420/000913918.pdf?sequence=1>. Acesso em: 01 nov. 2023.

LEINDECKER, G. C. **Separação das proteínas do soro do leite in natura por ultrafiltração.** 2011. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS: 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/36915>. Acesso em: 15 out. 2023.

LIRA, Hércules L.; SILVA, Maria C. D.; VASCONCELOS, Maria R. S.; LIRA, Helio L.; LOPEZ, Ana M. Q. *Microfiltration: Effect of channel diameter on limiting flux and serum protein removal.* **Food Science and Technology**, v. 29, p. 33-37, 2009. DOI <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000100006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/GZBBZ7Wkpv6zhR3yZHfKDGR/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MANZATTI, Gabriel. **Produção de cerveja a base de malte e permeado de soro de queijo.** 2016. Trabalho de conclusão de graduação (Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos) - Universidade Federal do Paraná, PR: 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15869>. Acesso em: 7 set. 2022.

MORAES, Iracema de O. Biotecnologia industrial. **Biotecnologia na produção de alimentos**, v. 4. Disponível em: Minha Biblioteca, (2nd edição). Editora Blucher, 2021.

MOSSMANN, Juliane. **Tratamento de água para reuso no beneficiamento de soro de leite.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de Passo Fundo – Passo Fundo, RS, 2018. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/1472/2/2018JulianeMossmann.pdf>. Acesso em: 05 out. 2022.

MOSSMANN, Juliane; VIGANÓ, Gabriela S.; BRIÃO, Vandrê. B. Obtenção e purificação de concentrado proteico de soro por ultrafiltração e diafiltração. **Revista CIATEC-UPF**, v. 12, n. 1, 2020. DOI <https://doi.org/10.5335/ciatec.v12i1.10864>. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/10864>. Acesso em: 19 nov. 2023.

MOURA, Andrezza K. B.; LIMA, Renata N.; SILVA, Adryana B. O.; MIRANDA, Maria V. F. G.; ASSIS, Liz C. S. L. G.; SALGADO, Raquel L. Características de carcaça, composição tecidual e análise sensorial da carne de bezerras aleitadas com níveis

crescentes de soro de queijo em pó. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020. DOI <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8187>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/8187/7081>. Acesso em: 29 set. 2022.

OLIVEIRA, Aline. **Resíduos da indústria de alimentos para elaboração de farinhas: uma estratégia para aproveitamento**. 2018. Monografia (Tecnólogo de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15791/1/APO19092019.pdf>. Acesso em: 19 set. 2022.

OLIVEIRA, Débora F.; BRAVO, Claudia E. C.; TONIAL, Ivane B. Soro de leite: um subproduto valioso. **Revista do Instituto de Laticínios Candido Tostes**, v. 67, n. 385, 2012. ISSN: 2238-6416. Disponível em: <https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/215/223#>. Acesso em: 14 set. 2022.

PESCUMA, Micaela; HÉBERT, Elvira M.; MOZZI, Fernanda; VALDEZ, Graciela F. Functional fermented whey-based beverage using lactic acid bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, Volume 141, Issues 1–2, Pages 73-81, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160510002217>. Acesso em set. 2022.

RICCI, Gisele D.; DOMINGUES, Paulo F. O leite de búfala. **Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do Conselho Regional de Medicina Veterinária**, São Paulo, SP, v. 10, n. 1, p. 14-19, 2012. DOI <https://doi.org/10.36440/recmvz.v10i1.255>. Disponível em: <https://www.revistamvez-crmvsp.com.br/index.php/recmvz/article/view/255>. Acesso em: 05 set. 2023.

ROSA e SILVA, Guilherme O.; COLLARES, Marcelo G. V.; LEÃO E SILVA, Alexyuss N. C.; ANDRADE, Laura H. **Avaliação de alumina e carvão ativado conjugados a nanopartículas de prata como pré-tratamentos de nanofiltração visando redução de incrustação**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, Belo Horizonte, MG, | v.27 n.1. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/mrNxQLfZcmPZzGVbqVCxb4s/>. Acesso em: 26 ago. 2022.

SANTOS, Franciele dos. **Processos de nanofiltração e osmose inversa para pós-tratamento de efluente de biorreator à membrana**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, RS, 2015. Disponível em: (<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/160213/TCC%202015-2%20Franciele%20dos%20Santos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>). Acesso em: 22 set. 2022.

SILVA, Franciele M. **Bem-estar animal no transporte e sua influência na qualidade da carne bovina**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Pampa, Dom Pedrito, RS. 2013. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/rii/2891>. Acesso em: 10 ag. 2023.

SILVA, Gislene C. Os bubalinos no Brasil e a produção de leite. **Revista GETEC: Gestão, Tecnologia e Ciências**, v. 10, n. 27, 2021. Disponível em:

<https://www.revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/2379>. Acesso em: 28 set. 2023.

SILVA, Maria S.; NAVES, Maria M. V.; OLIVEIRA, Rosicler B.; LEITE, Oneide S. M. Composição química e valor protéico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. **Food Science and Technology**, Campinas, SP, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/kprRjtX88JH8NpQpv7fKHtC/>. Acesso em: 05 out. 2022.

SILVA, Marina da; SANTOS, Gustavo H. F. dos. **Avaliação do método de secagem por spray dryer do soro de leite**: revisão sistemática. Ln: XI Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica. v. 1, n. 1, 2021. Disponível em <https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/JORNADA/article/view/15869>. Acesso em 25 set. 2022.

SIQUEIRA, Amanda de M. O.; MACHADO, Erilane de C. L.; STAMFORD, Tânia L. M. Bebidas lácteas com soro de queijo e frutas. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, , v.43, n.9, p.1693-1700, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/Q3v438D7PqXTDrCPBKsBx5p/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 set. 2022.

SOLDERA, Bruna C. **Água compensável (AC)**: definição de um novo indicador ambiental. 2017. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Rio Claro, SP, 2017. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNSP_979b20ea0e083bb06a1599c18ae57028. Acesso em: 15 out. 2022.

SOUZA, Priscilla C. A. **Recuperação de proteínas do soro de leite bubalino através da coagulação com quitosana e por processo de separação por membranas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG: 2017; Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/54867>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SPADOTI, Leila; ZACARCHENCO, Patricia; ALVES, Adriana T. S.. **Simpósio Lácteos e Saúde**. Campinas - SP. 2016. Disponível em: <https://www.ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/tl/publicacoes/SimposioLacteosSaude/files/assets/common/downloads/publication.pdf?uni=1ccd032f62f3c07888314bf89b7e89ac>. Acesso em: 02 out. de 2022.

TECNAL. **8 dúvidas clássica sobre a digestão da análise de proteína**. Disponível em: https://tecnal.com.br/pt-BR/blog/335_8_duvidas_classicas_sobre_a_digestao_na_analise_de_proteina. Acesso em: 17 nov. 2023.

TEIXEIRA, L. V; FONSECA, L. M. Perfil físico-químico do soro de queijos mozzarella e minas-padrão produzidos em várias regiões do estado de Minas Gerais. **Zootecnia e Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal**. 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000100033>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/xpZq99s4CzmyR7my5W4s6Qd/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 27 set. 2022.

TIA BRASIL. **Plantas pilotos de filtração tangencial por membrana para laboratório.** Disponível em: <http://plantapiloto.com.br/>. Acesso em set.2022.

TSERMOULA, Paraskevi; KHAKIMOV, Bekzod; NIELSEN, Jacob H.; ENGELSEN, Soren B. WHEY-The waste-stream that became more valuable than the food product. **Trends in Food Science & Technology**, v. 118, p. 230 – 241, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421005124>. Acesso em: 27 ago. 2022.

YADAV, Jay S. S.; YAN, Song; PILLI, Sridhar; KUMAR, Lalit; TYAGI, R. D.; SURAMPALLI, R. Y. *Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides.* **Biotechnology Advances**, v. 33, p. 756 – 774, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073497501530015X?casa_token=9PEMoxk5T6UAAAAA:UuGXHK2DozNHVfJLSK2A5-CVPhK_AjRQILC-uw31Of5mBorDXVVvvcDWWa70GKtyZqPgZFanDWN3. Acesso em: 15 set. 2022.

YEE, Kevin W. K.; WILEY, Dianne E.; BAO, Jie. *Whey protein concentrate production by continuous ultrafiltration: Operability under constant operating conditions.* **Biotechnology Advances**, v. 33, p.756-774, 2006. DOI <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.12.026>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738806008490?casa_token=wA9aMWJtjaUAAAAA:jewaN3dnAdHG-_IGRM4iGn16A-NCtejoOXUHda1bhXEG-pgsZL9EkUtlA75Uhnok0pHQHC4fDs#!. Acesso em: 10 out. 2022.

WEN-QIONG, Wang; YUN-CHAO, Wa; XIAO-FENG, Zhang; RUI-XIA, Gu; MAO-LIN, Lu. *Whey protein membrane processing methods and membrane fouling mechanism analysis.* **Food Chemistry**, v. 289, p. 468-481, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.086>. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814619305631?casa_token=ZaC6xa2qLPYAAAAA:bfd2mekc2Pv8_r8psMjPFA5seTuPL2ECGB4Q-22ca9PckjAmi41mtELDAz26KxHGfbAWE1ULmQk. Acesso em: 12 nov. 2023.

WYATT, Michelle. **Whey proteins: functional properties, production and health benefits.** 1. ed. Nova Science Publishers, 2015



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09