

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANNA LUIZA BERGHEME MARQUEZ

PRODUÇÃO DE BIOFILME A PARTIR DO SORO DE LEITE

FRANCISCO BELTRÃO

2023

ANNA LUIZA BERGHEME MARQUEZ

PRODUÇÃO DE BIOFILME A PARTIR DO SORO DE LEITE

Biofilm production from whey

Proposta para Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Maria Helene Giovanetti Canteri

Coorientador(a): Prof^a. Dra. Priscila Soraia da Conceição e Prof^a. Dra. Edilaine Mauricia Gelinski Grabicoski

FRANCISCO BELTRÃO

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANNA LUIZA BERGHEME MARQUEZ

PRODUÇÃO DE BIOFILME A PARTIR DO SORO DE LEITE

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação/
Especialização apresentado como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23/Junho/2023

Edilaine Mauricia Gelinski Grabicoski
Doutora (Especialização, Mestrado, Doutorado)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Priscila Soraia da Conceição
Doutora (Especialização, Mestrado, Doutorado)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Tania Maria Cassol
Doutora (Especialização, Mestrado, Doutorado)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do curso”

FRANCISCO BELTRÃO

2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família, todo o apoio emocional e encorajamento que recebi de meus pais, Marcos e Claudia, avôs e os demais membros da família que foram essenciais para minha motivação e sucesso acadêmico. Não posso deixar de mencionar aos meus amigos que me apoiaram e encorajaram durante todo esse tempo. Agradecer as minhas orientadoras e banca por todo apoio e orientação, também a equipe do LABANA e da COEXP por todo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Na atual crise ambiental, a preocupação com os impactos dos plásticos devido à velocidade acelerada de produção e consumo tem gerado grande interesse no desenvolvimento de biofilmes como alternativa para os plásticos sintéticos. Visto a grande quantidade substancial de soro de leite descartada anualmente no Brasil, na forma de resíduo industrial, gera um grave problema devido a sua alta carga orgânica quando descartado sem o devido tratamento no meio ambiente. Objetivou-se, com este estudo, produzir filmes biodegradáveis a partir de concentrado proteico de soro de leite e avaliar sua biodegradabilidade e futuro potencial como embalagem. O procedimento utilizado para diminuir o volume de soro de leite foi a crioconcentração com redução de 87% do volume. Com isso foram preparados filmes de soro de leite, pectina, ácido polilático com glicerol como plastificante, por meio da metodologia de *casting*. Os filmes gerados apresentaram coloração esbranquiçada e constatou-se a biodegradabilidade total dos filmes em sete dias. Os ensaios mecânicos demonstraram uma baixa resistência à tração (0,04 a 0,91 kPa). Os biofilmes produzidos demonstraram que há possibilidade de utilizar resíduos de indústrias leiteira para sua produção, contendo características interessantes para o desenvolvimento de possíveis embalagens sustentáveis.

Palavras-chave: biofilme; soro de leite; crioconcentração; ácido polilático.

ABSTRACT

In the current environmental crisis, the concern with the impacts of plastics due to their accelerated speed of production and consumption has generated great interest in the development of biofilms as an alternative to synthetic plastics. Considering the large substantial amount of whey occasionally discarded annually in Brazil as industrial waste, it generates a serious problem due to its high organic load when disposed without proper treatment in the environment. The aim of this study was to produce biodegradable films from whey protein concentrate and to evaluate its biodegradability and future potential as packaging. The procedure used to reduce the discarded volume of the dairy industry by-product was the cryoconcentration, with 87% volume reduction. Films were prepared from whey, pectin, polylactic acid with glycerol as plasticizer using the casting methodology. The films generated presented whitish colors and the total biodegradability of the films was verified in seven days. The mechanical tests showed a low tensile strength (0.04 to 0.91 kPa). It is observed that the biofilms produced demonstrated the possibility of using dairy waste for their production, containing interesting characteristics for the development of possible sustainable

Keywords: biofilm; whey; cryoconcentration; polylactic acid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diferentes formas de isômeros de ácido láctico.....	14
Figura 2 - Sínteses de PLA.....	14
Quadro 1 - Tempos de degradação de alguns polímeros.....	17
Figura 3- Ciclo de vida ideal dos polímeros biodegradáveis provenientes de fontes renováveis.....	17
Figura 4 - Molde com soro de leite.....	21
Figura 5 - Soro de leite congelado quebradiço.....	22
Figura 6 - Centrífuga e Saco Sintético.....	22
Figura 7 - Esquema de produção de biofilme pelo método de casting.....	23
Figura 8 - Refratômetro digital milwaukee.....	25
Figura 9 - Texturômetro Stable Micro System.....	26
Figura 10 - Substrato utilizado no experimento.....	27
Figura 11 - Diagrama do processo de crioconcentração do soro de leite...	29
Figura 12 - Comparação de coloração concentrado congelado e água congelada após o processo.....	30
Figura 13 - Biofilmes selecionados 1 e 3 % pectina HM.....	32
Figura 14 - Biofilmes com zonas quebradiças.....	32
Figura 15 - Biofilmes PLA incorporado o soro de leite.....	33
Figura 16 Corpo de prova do biofilme 3 para análises das propriedades mecânicas.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Diferentes concentrações de soro crioconcentrado, glicerina e pectina LM ou HM.....	23
Tabela 2 - Teor de sólidos solúveis totais do soro de leite e em seus estágios (SC) e gelo (G) de crioconcentração.....	24
Tabela 3 - Valores obtidos na crioconcentração do soro de leite.....	29
Tabela 4 Valores de DQO do soro de leite, crioconcentrado e gelo residual.....	31
Tabela 5 – Médias e desvio padrão dos resultados de cor para os filmes fabricados.....	33
Tabela 6 – Médias e desvio padrão dos resultados das propriedades mecânicas e das espessuras para os filmes produzidos.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
DQO	Demanda Química de Oxigênio
HM	Alta metoxilação; do inglês <i>high methoxyl</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
LM	Baixa metoxilação; do inglês <i>low methoxyl</i>
PLA	Ácido Polilático

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivo Especificos	12
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1	Soro de leite	13
3.2	Ácido Polilático	14
3.3	Pectina	15
3.4	Plastificantes	16
3.5	Biodegradabilidade	16
3.6	Dispersão coloidal	18
3.7	Concentração	18
3.8	Biofilmes	19
4	METODOLOGIA	21
4.1	Material	21
4.2	Métodos	21
4.2.1	Crioconcentração do soro de leite.....	21
4.2.2	Biofilme de soro de leite crioconcentrado e pectina LM.....	22
4.2.3	Biofilme de soro de leite crioconcentrado com PLA comercial.....	24
4.2.4	Análises físico-químicas de amostras de soro de leite concentrado obtido a partir da crioconcentração.....	25
4.2.5	Análises comparativas dos biofilmes.....	25
<u>4.2.5.1</u>	<u>Espessura</u>	<u>26</u>
<u>4.2.5.2</u>	<u>Propriedades Mecânicas</u>	<u>26</u>
<u>4.2.5.3</u>	<u>Cor</u>	<u>27</u>
<u>4.2.5.4</u>	<u>Biodegradabilidade</u>	<u>27</u>
<u>4.2.5.5</u>	<u>Solubilidade</u>	<u>27</u>
5	RESULTADOS	29
5.1	Análises físico-químicas de amostras de soro de leite concentrado obtido a partir da crioconcentração	29
5.2	Biofilmes	31
5.3	Análises comparativas dos biofilmes	33
5.3.1	Aspecto visual.....	34
5.3.2	Espessura e Propriedades Mecânicas.....	34
5.3.3	Biodegradabilidade.....	35
5.3.4	Solubilidade.....	36
6	CONCLUSÃO	37
	REFÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O tema sustentabilidade tem recebido grande interesse pelos consumidores e nas organizações. Diante disso, as pesquisas sobre a relação entre a poluição e as indústrias se intensificaram, na tentativa de tornar os processos mais sustentáveis (FURMAN, 2022). A produção de plástico tem crescido radicalmente, tornando-se um grande tópico de discussão, sendo que os plásticos de ciclo curto de vida (cerca de um ano) representam 35% do total consumido. Esse pouco tempo de utilização e seu alto tempo de durabilidade no ambiente são desafios para as indústrias de plástico, pois a reciclagem não é uma solução efetiva para essa grande quantia produzida (PERTUSSATTI, 2020; ABIPLAST, 2018).

Ademais, o Relatório da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre Poluição Plástica (2021) alerta que é fundamental a substituição do polietileno tereftalato (pet) devido à grande poluição associada a esse componente ser uma ameaça crescente em todos os ecossistemas.

Para a substituição da atual matriz energética por alternativas mais renováveis e sustentáveis, projetos de “plásticos” de fontes renováveis produzidos a partir de polímeros biodegradáveis, em que a degradação é proveniente da ação de microrganismos de ocorrência natural, estão cada vez mais em evidência, com menor impacto ambiental, devido à possibilidade de um ciclo de vida fechado (BRITO et al., 2011).

Os biofilmes são polímeros naturais, de origem animal ou vegetal, como polissacarídeos, lipídios e proteínas (SANTANA; KIECKBUSCH, 2013). Para a elaboração de uma solução filmogênica são necessários constituintes básicos como: polímeros de alta massa molar, solvente (água e etanol), agentes plastificantes (glicerol, sorbitol e triacetina) e agente ajustador de pH. No Brasil, os biofilmes são utilizados em embalagens de alimentos (rígidos e flexíveis), sacolas, filmes para agricultura e produtos de consumo (BRITO et al., 2011).

No Brasil, em 2021, foram utilizados 9,135 bilhões de litros de leite para produção de queijo (ANUARIO DO LEITE, 2022). O soro representa cerca de 85 a 90% do volume total de leite que entra neste processo (DOS SANTOS BARBOSA et al., 2010), indicando uma geração aproximada de 8 bilhões de soro de leite. Segundo

Siqueira e colaboradores (2014), 50% desse subproduto é descartado sem tratamento adequado.

A utilização do soro de leite agrega valor ao um subproduto da indústria leiteira, reduzindo o volume para o seu devido descarte. Segundo o IBGE (2021), o Paraná é o segundo produtor de nacional de leite, sendo que a Bacia Leiteira do Sudoeste (Francisco Beltrão e Pato Branco) é grande produtora de leite em volume do Estado.

Além disso, o desenvolvimento de filme biodegradável como alternativa aos polímeros sintéticos reduz o impacto ambiental. O ácido polilático (PLA) é considerado como o bioplástico com maior potencial (SCHEREN, 2000), sendo por esse motivo testado como componente neste estudo. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo agregar valor ao subproduto da indústria leiteira, produzindo filme biodegradável a partir do soro de leite para a substituição dos plásticos atualmente utilizados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estabelecer um protocolo para utilização do soro de leite, com e sem ácido polilático, para a fabricação de filme biodegradável.

2.2 Objetivos Específicos

- Padronizar o procedimento de crioconcentração do soro de leite para remoção da água livre;
- Obter dispersão coloidal com viscosidade por meio de diferentes concentrações de crioconcentrado de soro de leite;
- Avaliar a demanda química de oxigênio do soro de leite *in natura*, do soro crioconcentrado e do resíduo do processo de crioconcentração;
- Produzir biofilmes com soro de leite crioconcentrado, misturado ou não ao PLA, pelo método de *casting*;
- Avaliar a biodegradabilidade de polímeros produzidos;
- Comparar as características mecânicas e físico-químicas entre os biofilmes produzidos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Soro de leite

O soro de leite constitui o líquido aquoso e fino, com coloração amarela/verde, em consequência da coagulação das proteínas da caseína pela ação da quimosina (coalho) do leite (BALD et al., 2014).

Durante a fabricação do queijo, praticamente apenas a caseína e a gordura do leite são removidas junto com a massa, restando, no soro, as proteínas (β -lactoglobulina, α -lactoalbumina, soroalbumina bovina e imunoglobulina), vitaminas hidrossolúveis (tiamina, riboflavina, ácido pantotênico, vitamina B6 e B12), minerais (cálcio, magnésio, zinco e fósforo), 4,5-5,0% de lactose e 93-94% de água (CRUZ, 2017; CARVALHO et al., 2012).

Segundo Cardoso (2014), sua composição química pode variar dependendo do tipo de leite (bovino, caprino ou ovino), da nutrição dada aos animais, do estágio de lactação e do processamento industrial utilizado para a fabricação de diferentes tipos de queijo. Nas produções de queijo tipo duro, semiduro ou suave, o soro é proveniente de coagulação enzimática, conhecido como soro doce e apresenta pH entre 6,0 e 6,8; para queijos tipo *cottage* e ricota, a coagulação é ácida, denominado como soro ácido com pH abaixo de 6,0 (BRASIL, 2020).

Devido ao alto valor nutricional apresenta grande demanda química de oxigênio (DQO), variando de 50.000-80.000 mg/L a depender do processamento específico utilizado na fabricação de queijos e do conteúdo de lactose, sendo este valor cerca de 100 vezes maior que a carga orgânica do esgoto doméstico (MURARI, 2013).

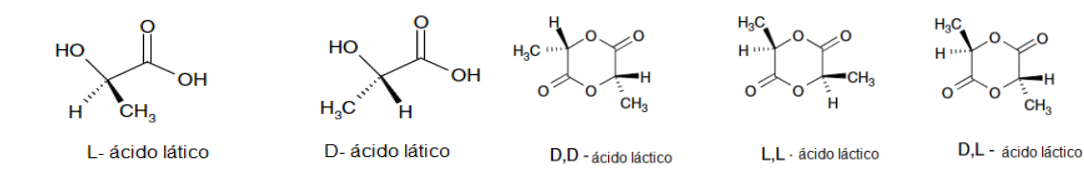
Segundo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMWW) a DQO é a quantidade de um oxidante específico que reage com a amostra sob condições controladas, expressa em equivalente de oxigênio.

No Brasil, apenas 50 % da produção é utilizada em diferentes segmentos da indústria alimentícia como na produção de *whey protein* (STOPASSOLI, 2015; SIQUEIRA; CARDOSO, 2014), bebidas lácteas (GUEDES, 2013), uso na alimentação animal (REGHELIM; RIGHI, 2018) e processos de emulsificação devido a sua alta capacidade de retenção de água (CRUZ, 2017).

3.2 Ácido Polilático

O ácido polilático (PLA) é um biopolímero termoplástico, semicristalino ou totalmente amorfo produzido a partir da fermentação do ácido láctico de diversas fontes (naturais como milho, sintetizado por bactérias, derivados de fonte animal ou mesmo petróleo) (BAJPAI et al., 2014). O PLA pode apresentar diferenças em suas propriedades químicas e físicas como ampla faixa de degradação, massa molar, composição em seus copolímeros, devido à presença de um grupo metil pendente no alfa átomo de carbono, que causa quiralidade em um carbono do ácido láctico apresentados na Figura 1 e, portanto, isômeros, poli (ácido L-lático), poli (ácido D-lático) e poli (DL-ácido lático) (GUPTA; KUMAR, 2007).

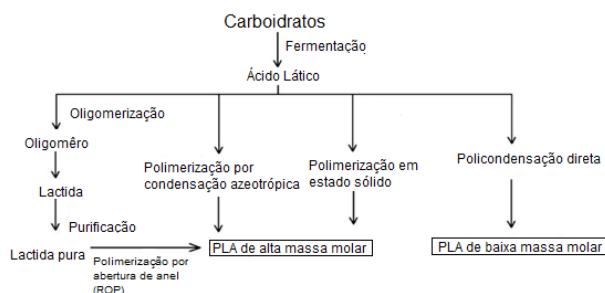
Figura 1 - Diferentes formas de isômeros de ácido láctico



Fonte: Adaptado de Gupta e Kumar (2007)

A síntese de PLA requer controle rigoroso das condições de temperatura, pressão, uso de catalisadores e longos tempos de polimerização (LASPRILLA et al., 2012). De acordo com Gupta e Kumar (2007), são utilizados quatro métodos descritos na Figura 1 para a síntese de PLA:

Figura 2 - Sínteses de PLA



Fonte: Adaptado de Gupta e Kumar (2007)

Na polimerização por policondensação direta, o ácido láctico é polimerizado na presença de um catalisador a pressão reduzida, gerando um polímero de baixa massa molar, restringindo seu uso, devido à dificuldade na remoção total da água no meio reacional. No entanto, pode-se obter um polímero de alta massa molar com o uso de

agentes de acoplamento de corrente, bi/comonômero multifuncional, que aumenta o comprimento da cadeia polimérica (GUPTA; KUMAR, 2007).

O PLA de elevada massa molar pode ser sintetizado com polimerização por condensação azeotrópica, no qual o contratempo na remoção de água é superado pela manipulação do equilíbrio entre um monômero e um polímero em solvente orgânico. É uma técnica que utiliza um catalisador de alta atividade e um solvente orgânico com baixo ponto de ebulição; assim, a água é removida azeotropicamente, enquanto o solvente é seco e reciclado na volta da reação, permitindo que a temperatura de reação seja abaixo do ponto de fusão do polímero, evitando eficientemente a despolimerização e a racemização durante a polimerização (GUPTA; KUMAR, 2007).

No processo por polimerização em estado sólido (SSP), ocorre o aquecimento de um pré polímero sólido semicristalino em pó, *pellet*, cavaco ou fibra, até que atinja uma temperatura abaixo da temperatura de fusão com a remoção simultânea de subprodutos da superfície por volatilização sob condições de pressão (GUPTA; KUMAR, 2007).

A polimerização por abertura de anel (ROP) é o método mais estudado devido à possibilidade de controle químico, ampliando os campos de aplicação. Nesta metodologia, o polilactídeo é formado pela polimerização de seus respectivos dímeros cíclicos s(lactídeo). A lactida é preparada a partir do craqueamento térmico de oligomero PLA de baixa massa molar em alta temperatura e baixa pressão na presença de catalisador. As polimerizações de aberturas de anel podem ser classificadas de acordo com seus mecanismos, sendo as mais utilizadas: polimerização aniônicas, polimerizações catiônicas e mecanismos de inserção de coordenação (GUPTA; KUMAR, 2007).

3.3 Pectina

As pectinas são uma classe de polissacarídeos aniônicos que estruturam a parede celular e os tecidos intercelulares dos vegetais, constituídas por diversos monossacarídeos, os quais se encadeiam para formar diferentes segmentos biopoliméricos (MOREIRA et al., 2012).

Sua classificação pode ser com base no grau de esterificação (DE, do inglês, *degree of esterification*), correspondente à proporção de grupos carboxila presentes

na forma esterificada; pectinas com DE menor que 50% são consideradas de baixo teor de metoxila (LM, do inglês, *low methoxyl*), utilizada na fabricação de compotas e conservantes de frutas com íons divalentes, enquanto superior ou igual a 50% são consideradas com alto teor de metoxila (HM, do inglês, *high methoxyl*), usados na produção de géis com alta concentração de sólidos solúveis e acidez considerável (FU; RAO, 2001; GHIRALDI, 2018).

A pectina tem sido crescentemente usada na área farmacêutica e alimentícia devido seu potencial como gelificante, com foco em suas características como biocompatibilidade e a não-toxicidade, demonstrando enorme potencial como material para embalagem (LIU et al., 2007; MOREIRA et al., 2012).

3.4 Plastificantes

Os agentes plastificantes são utilizados na produção de biofilme pois reduzem as interações entre as moléculas adjacentes, aumentando a flexibilidade do filme. (COUPLAND et al., 2000). O glicerol é um plastificante hidrofílico, que aumenta a mobilidade molecular e, conseqüentemente, a hidrofobicidade e a flexibilidade dos filmes plastificados (MALI et al, 2004; SHIMAZU et al, 2007). A glicerina são produtos comerciais purificados com quantidades maiores que 95% de glicerol. (MALI et al, 2004; SHIMAZU et al, 2007; KNOTHE et al, 2006). Segundo a Resolução da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) de nº386, o uso de glicerol é liberado em produtos alimentícios.

3.5 Biodegradabilidade

Na biodegradação ocorre a despolimerização, na qual acontece a quebra das ligações poliméricas das macromoléculas pelos microrganismos, e também a mineralização, que consiste na absorção de fragmentos oligoméricos, resultando, por meio de reações de transformações, em biomassa, água, sais minerais e gases como metano, nitrogênio, hidrogênio e gás carbônico (FECHINE, 2010; WU, 2021).

Grande parte dos polímeros sintéticos são inertes aos microrganismos, apresentando longos períodos de degradação, tornando-os uma crescente fonte de poluição (OLIVEIRA, 2006). No Quadro 1 estão comparados os tempos de degradação de alguns polímeros.

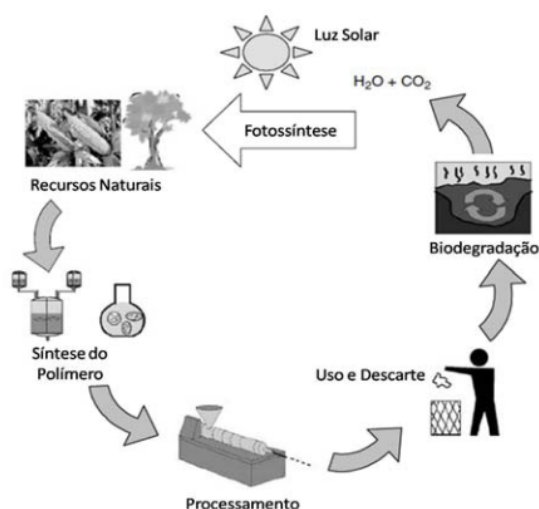
Quadro 2-Tempos de degradação de alguns polímeros

Polímero	Tempo de degradação
Polietileno tereftalato (PET)	400 a milhares de anos
Polietileno (PE)	100 a 400 anos
Polipropileno (PP)	> 1000anos
Ácido Polilático(PLA)	1 semana a 24 meses
Poliestireno (PS)	> 400anos
Polihidroxibutirato (PHB)	1 a 10 anos

Fonte: OLIVEIRA (2006)

Segundo a Norma ASTM D6400-04, os polímeros biodegradáveis possuem menor impacto ambiental devido à possibilidade de um ciclo de vida fechado (BRITO et al., 2011), pois sua degradação depende da ação de microorganismos nativos como ilustrado na Figura 2.

Figura 3 - Ciclo de vida ideal dos polímeros biodegradáveis provenientes de fontes renováveis.



Fonte: Adaptado Mohanty et al., 2005 e Brito et al., 2011

O ácido polilático apresenta importância por oferecer propriedades com características únicas de biodegradabilidade, devido a sua degradação resultar da ação de microrganismos de ocorrência natural como bactérias, fungos e algas, podendo ser consumido em semanas ou meses. Também apresenta biocompatibilidade, processabilidade termoplástica e ecologicamente correta e oferece aplicações potenciais como plásticos de *commodities*, como embalagens, produtos agrícolas, materiais descartáveis e indústria têxtil médica, sendo adequado

para dispositivos de fixação como placas e parafusos reabsorvíveis e suturas (; LORENZ, 2010; CARVALHO et al., 2022).

Existem diferentes organizações com normas de biodegradabilidade, como a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15448–1 e 15448–2 *American Society for Testing and Materials* ASTM D6400 e D883 *International Standards Organization* ISO14855. Apontam alguns testes de biodegradabilidade como: medição de perda de massa; avaliação da produção e consumo de CO₂; Teste de Sturm; observação em placa de petri; método da câmara ambiental; teste de solo; formação de zona livre; teste de compostagem controlada; testes da garrafa fechada; determinação da demanda química de oxigênio (DQO) (BARROS et al., 2011).

No teste de compostagem e de solo, o polímero é enterrado em condições controladas de temperatura, pH, umidade e disponibilidade de oxigênio. Em determinados intervalos de tempo, as amostras são retiradas e analisadas (microscopia, ensaios mecânicos, FTIR, variação massa) (CASARIN et al., 2013).

3.6 Dispersão coloidal

A dispersão coloidal ocorre quando o sólido não é solúvel no líquido, mas está disperso em partículas muito finas ($< 1 \mu\text{m}$), com aspecto visual similar ao de uma dissolução (BRAGANÇA, 2022).

A homogeneização, necessária para produção de uma dispersão coloidal, pode ser baseada na utilização de pressões muito elevadas, permitindo a utilização como método de preservação, na medida em que causa inativação microbiana (DIELS et al., 2004). Tanto a agitação, quanto a homogeneização de ingredientes durante o processamento determinam as características do produto final. O tratamento mecânico é necessário para a hidratação de proteínas em conjunto com o tratamento térmico (CRUZ, 2017).

3.7 Concentração

A crioconcentração é uma técnica de concentração que apresenta a vantagem de manter a qualidade nutricional e os compostos voláteis do produto por não empregar vácuo, nem altas temperaturas. Nesse processo, a solução é congelada sob forma de um gelo quebradiço e durante o descongelamento a solução concentrada é separada da massa de gelo por gravitação forçada. Nessa condição, o bloco de gelo

torna-se uma carcaça pela qual a solução concentrada passa, ficando apenas uma pequena quantidade de soluto retida entre os seus cristais (AIDER et al., 2007).

Na liofilização, a água é primeiramente congelada e em seguida convertida em vapor por sublimação a uma baixa pressão. Apesar de ser eficiente para a maioria dos alimentos, tem custo elevado (FELLOWS, 2019).

3.8 Biofilmes

Um dos processos mais utilizados para produção de filmes é o *casting*, que consiste no espalhamento de uma solução filmogênica (macromoléculas, solvente e plastificante) em um suporte, seguido de desidratação lenta a baixa temperatura (MULLER; YAMASHITA; LAURINDO, 2008; DIAS, 2008; MACHADO, 2021).

Os biofilmes podem ser avaliados por parâmetros descritos a seguir dependendo de sua aplicação:

[1] espessura, que influencia as demais propriedades funcionais, fundamental para análise de repetibilidade e validação de comparações. Ao utilizar a técnica *casting* para formação dos biofilmes, a uniformidade da espessura pode ser obtida pela fixação do volume ou massa de solução vertida sobre as placas de secagem (BIERHALZ; KRAUSE BIERHALZ, 2010);

[2] resistência à tração (RT) no qual a força aplicada ao filme é registrada à medida em que é deformado a uma velocidade constante, revelando uma resistência crescente à solicitação de tração (OLIVEIRA et al., 1996);

[3] permeabilidade ao vapor de água (PVA), define as possíveis aplicações, por meio da taxa de transmissão de vapor de água através do filme (OLIVEIRA et al., 1996);

[4] módulo de elasticidade (E), diz respeito à rigidez do filme (MORAES, 2013);

[5] alongamento na ruptura (ϵ), que informa sobre a capacidade de alongamento do filme (MORAES, 2013);

[6] tensão de ruptura (σ_{rup}), que se refere à tensão máxima suportada pelo filme, sob as condições de ensaio, que depende da velocidade de deformação aplicada (MORAES, 2013);

[7] solubilidade (%) é uma propriedade importante pois algumas aplicações de biofilmes podem exigir insolubilidade com intuito de aumentar a resistência a água (PEREZ-GAGO; KROCHTA, 2001);

[8] aspecto visual, visando selecionar apenas biofilmes uniformes, (avaliação quanto à presença de partículas insolúveis ou bolhas, e coloração uniforme), apresentassem continuidade (sem presença de rupturas ou zonas quebradiças) (AVELINO, 2019).

4.METODOLOGIA

4.1 Material

Soro de leite doce cedido pela empresa Queijaria Vidalat localizada em Francisco Beltrão, Glicerina (ALPHATEC®), filamento de PLA HT natural comercial (3DX Filamentos), Clorofórmio estabilizado com amileno (VETEC®), Acetato de Etila (ALPHATEC®), Emulsificante Emustab (Selecta), pectina Classic CU 201 com grau de esterificação de 70 % (HM), pectina Classic CU 701 com grau de esterificação de 50% (LM) (Herbstreith & Fox KG®), óleo mineral e substrato para jardinagem.

4.2 Métodos

4.2.1 Crioconcentração do soro de leite

O processo de crioconcentração do soro de leite seguiu o protocolo adaptado de Aider e Ounis (2012), em que o soro de leite foi depositado em molde de cubos de gelo, (Figura 4).

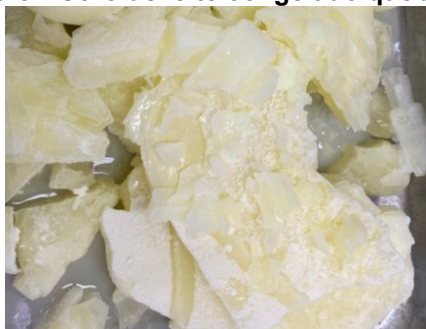
Figura 4 - Molde com soro de leite



Fonte: Autoria Própria (2023)

Posteriormente, as formas foram envoltas com duas placas de isopor, posicionadas em um ultrafreezer (ColdLab), com temperatura média de -80 °C até a formação de um gelo quebradiço (Figura 5).

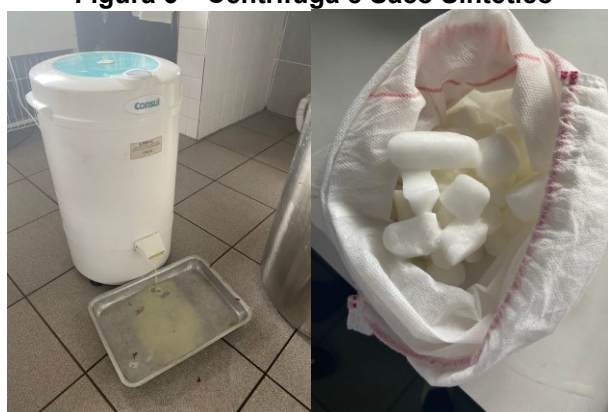
Figura 5 - Soro de leite congelado quebradiço



Fonte: Autoria Própria (2023)

Em seguida, inseriu-se o gelo em uma bolsa de tecido sintético para sua centrifugação em uma centrífuga doméstica (Consul) por 10 minutos a 3000 rpm (Figura 6). Por conseguinte, resultou na separação das frações da água congelada e do soro de leite concentrado por descongelamento gravitacional.

Figura 6 - Centrífuga e Saco Sintético



Fonte: Autoria Própria (2023)

O soro concentrado foi recuperado e submetido à determinação do seu teor de sólidos solúveis (°Brix) e volume (mL) com o auxílio de uma proveta graduada.

4.2.2 Biofilme de soro de leite crioconcentrado e pectina HM e LM

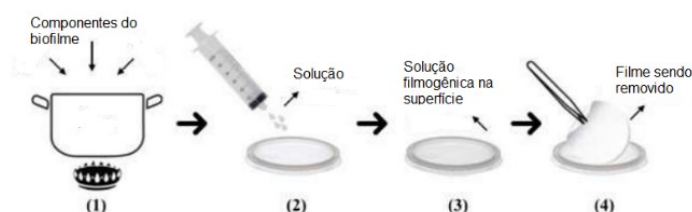
Para a produção do biofilme, o procedimento foi realizado pela técnica de *casting*, resumida a seguir.

(1) foi produzida a formulação do crioconcentrado de soro de leite e pectinas, levado à estufa (SOLAB) por 24 horas até sua dispersão total, sem grumos aparentes. Após a homogeneização, adicionou-se a glicerina como plastificante. Para a remoção de imperfeições as amostras foram filtradas a vácuo e levadas ao banho ultrassônico (Cristófoli) por 480 segundos a 35 °C

- (2) a dispersão filmogênica foi dispersa em placas de Petri descartável
- (3) as placas foram levadas a estufa a 40 °C por aproximadamente 12 horas para sua secagem
- (4) o filme formado foi removido com auxílio de uma espátula.

A Figura 7 apresenta os passos esquemáticos para a produção do biofilme pelo método casting.]

Figura 7 - Esquema de produção de biofilme pelo método de casting



Fonte: Adaptado VESPUCCI et al., 2022

Foram produzidos diferentes filmes (Tabela 1) por meio de testes em triplicata.

Tabela 1 - Diferentes concentrações de soro crioconcentrado, glicerina e pectina HM, alta metoxilação e LM, baixa metoxilação

Pré teste	Soro de leite	Volume (mL)	Tipo de Pectina	Pectina (%)	Glicerina (%)
1	Puro	40	LM	1	1
2	Puro	30	HM	1	1
3	1 Estágio	30	LM	1	1
4	1 Estágio	40	LM	3	3
5	1 Estágio	50	LM	3	3
6	1 Estágio	30	HM	3	3
7	1 Estágio	30	HM	3	1
8	1 Estágio	50	HM	1	1
9	2 Estágio	50	LM	1	1
10	2 Estágio	30	HM	3	3
11	3 Estágio	30	HM	3	3
12	3 Estágio	40	LM	1	1

Fonte: Autoria Própria (2023)

Nos testes, foram diferenciados: a quantidade de ciclos de crioconcentrações do soro de leite (puro, 1°/2°/3° estágios); o volume do soro de leite utilizado (30,40 e 50 mL); o tipo de pectina (LM, do inglês, *low methoxyl* e HM, do inglês, *high methoxyl*);

a quantidade de pectina utilizada (1% e 3% em massa) e o volume de glicerina (1% e 3 % mL).

4.2.3 Biofilme de soro de leite crioconcentrado com PLA comercial

Na produção desse biofilme pelo método *casting*, foram realizados testes em triplicata para solubilização do PLA comercial por diferentes proporções de acetato de metila e clorofórmio estabilizado com amileno (Tabela 2), como base no trabalho de Godoi (2018). E em seguida, as soluções foram colocadas no equipamento Shaker com agitação de 125 rpm, a 55 °C, por 30 minutos.

Tabela 2 Diferentes proporções para a solubilização do PLA

PLA(g)	Acetato de etila (mL)	Clorofórmio (mL)
2	15	-
2	15	5
2	-	15
2	15	15
2	10	15
0,5	2,5	3,75

Fonte: Autoria Própria (2023)

Paralelamente, para a incorporação do soro de leite, a partir dos resultados preliminares do biofilme de soro de leite que apresentou melhores aspectos visuais, utilizou-se 30 mL de soro de leite crioconcentrado (1°Estágio), com 3% de pectina HM dispersa por 24 horas na estufa. Em seguida, sob agitação, adicionou-se 1% em massa de emulsificante e de glicerina. As soluções filmogênicas foram levadas ao ultrassom por aproximadamente 5 minutos e posteriormente filtradas a vácuo através de tecido sintético a fim de uniformizar o filme.

Posteriormente, foi misturada a solução de PLA com o crioconcentrado de soro de leite até a incorporação no polímero, depositado 30 mL na placa petri de vidro, levado a estufa a 40 °C por aproximadamente 12 horas. As placas com os filmes foram introduzidas em um dessecador, acoplado a uma bomba a vácuo para eliminação das bolhas visíveis.

4.2.4 Análises físico-químicas de amostras de soro de leite concentrado obtido a partir da crioconcentração

Para as análises do soro de leite, foram selecionados o soro de leite *in natura*, o soro de leite crioconcentrado até o 3º estágio e o resíduo gerado após a 1ª crioconcentração.

Foram analisadas, a demanda química de oxigênio, segundo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). E os teores de sólidos solúveis totais do soro, por meio do refratômetro digital milwaukee (Figura 8). A leitura foi feita em triplicata e realizada com a instalação de 0,05 mL do soro de leite sobre o prisma do aparelho, estando zerado com água destilada. Os resultados foram expressos em graus (°Brix) (ZAVAREZE, et al, 2012).

Figura 8 Refratômetro digital milwaukee



Fonte: Autoria Própria (2023)

4.2.5 Análises comparativas dos biofilmes

A partir de análises visuais e táteis dos ensaios preliminares foram selecionados somente os filmes homogêneos, com coloração uniforme e sem partículas insolúveis de pectina e flexíveis com (facilidade de manuseio e ausência de rupturas ou zonas quebradiças) (MATTA FAKHOURI,2009).

Os métodos de solubilidade se basearam em Stolle (2018), e por meio do trabalho adaptado de Siqueira (2019), foram realizados os ensaios de biodegradabilidade.

4.2.5.1 Espessura

Análises comparativas dos biofilmes produzidos foram realizadas para a espessura (LIMA,2018), a partir de uma média aritmética dos valores obtidos com um paquímetro digital (ZAAS®).

4.2.5.2 Propriedades Mecânicas

Para análise das seguintes propriedades mecânicas (tração e percentual de alongação na ruptura), segundo Lima (2018), os filmes foram cortados em retângulos com dimensões 5 X 3 cm para inserção no texturômetro (Stable Micro System - Modelo TA.XT2) (Figura 9). Os parâmetros utilizados foram de 30cm para a distância entre garras; pré-teste de 10 mm/s; velocidade pré teste de 1 mm/s e velocidade pós teste de 10 mm/s.

Figura 9 Texturômetro Stable Micro System



Fonte: Autoria Própria (2023)

Utilizou-se a Equação 1 para o cálculo da tensão de ruptura, em que T_r representa a tensão de ruptura (Pascal), F_m a força máxima no rompimento (Newton) e A_s é a área da seção transversal do filme (mm^2) (FREIRE; LIMA, 2019).

$$T_r = \frac{F_m}{A_s} \quad (\text{Equação 1})$$

O percentual de alongação dos filmes foi obtido utilizando-se a Equação 2, no qual A representa o percentual de alongação, D_o e D a distância inicial e final de separação das garras (cm):

$$A (\%) = \frac{D}{D_0} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

4.2.5.3 Cor

A determinação da cor foi obtida por meio dos resultados obtidos no colorímetro Konica Minolta (Modelo CR-400) com três leituras, em posições aleatórias em cada filme, utilizando-se o sistema L*a*b em que L* indica a luminosidade a* * coordenada vermelho / verde (+a indica vermelho e -a indica verde) e b* coordenada amarelo / azul (+b indica amarelo e -b indica azul) (MINOLTA, 2006).

4.2.5.4 Biodegradabilidade

O ensaio de biodegradabilidade foi realizado utilizando a metodologia adaptada de Casarin e colaboradores (2013), seguindo as normas ASTM D6003 e ASTM G160. As amostras foram colocadas em contato com substrato (Humusfértil) com umidade de 24% e pH 6 (Figura 10) e cobertas, que foi umedecida com 100 mL de água por dia durante 7 dias. Para a verificação da perda de massa, em triplicata, os corpos de prova de cada amostra (cerca de 300 mg) foram pesados, antes de serem enterrados no solo e após o término de cada período, para obter a porcentagem de perda de massa das amostras ao longo do tempo de biodegradação.

Figura 10 – Substrato utilizado no experimento



Fonte: Autoria Própria (2023)

4.2.5.5 Solubilidade

Para análise da solubilidade, cerca de 0,1 g dos biofilmes desenvolvidos foram imersos sob agitação e aquecimento no *Shaker* (Logen Scientific) a uma temperatura de 40 °C, entre 15 a 30 minutos, em 50 mL de água destilada. Em seguida, foi feita a filtração em um papel filtro de massa conhecida, e encaminhado o resíduo para uma estufa de circulação de ar (SOLAB), a 105 °C, durante 24 horas, para realizar o processo de secagem. Para finalizar o processo, o papel desidratado foi resfriado em um dessecador, sendo verificada sua massa. Em seguida, utilizando os dados da massa inicial (m_i) e final (m_f) obtidas, foi determinado o percentual de massa seca solubilizada (MS), com o auxílio da Equação 3.

$$MS (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

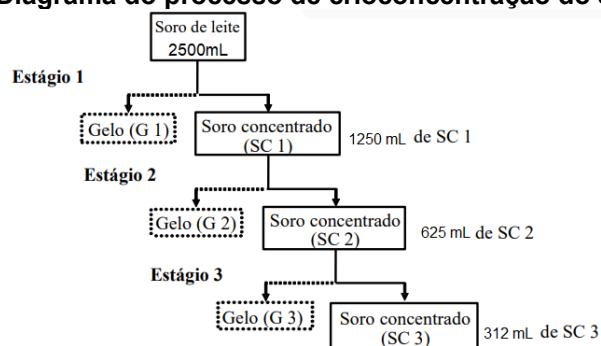
(Equação 3)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises físico-químicas de amostras de soro de leite concentrado obtido a partir da crioconcentração

Cada concentrado de cada ciclo foi usado como solução de alimentação para o próximo ciclo até o 3° estágio, pois segundo Aider e Ounis (2012) para alta eficiência do processo, três ciclos de crioconcentração são suficientes, uma vez que a eficiência do processo diminuiu drasticamente após este ciclo, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11: Diagrama do processo de crioconcentração do soro de leite.



Fonte: Adaptado Munõz (2017)

Na Tabela 3 são apresentados os valores de volume (mL) e teor de sólidos solúveis (°Brix) do soro de leite ao longo dos três processos de crioconcentração.

Tabela 3- Valores obtidos na crioconcentração do soro de leite

Número de ciclos de crioconcentração	Volume (mL)	Teor de sólidos solúveis (° Brix)
Inicial (0)	2500	7,53 ±0,1
1	1243 ± 5,8	10,50 ±0,1
2	615 ± 13,2	15,56±0,15
3	307 ± 6,4	18,50±0,3

Fonte: Autoria Própria (2023)

Pode -se concluir que no processo de crioconcentração em média 12,28 ±0,2 % foi a fração concentrada de soro de leite e 87±0,2 % corresponde à água congelada.

É notória a redução do volume por meio da concentração da matéria sólida contida na fase aquosa pela remoção de parte da água livre na forma de gelo. O uso da centrifugação na crioconcentração por congelamento permite a recuperação acelerada dos solutos por meio da aplicação de força centrífuga e aumenta a eficiência da crioconcentração em bloco (AIDER, 2009).

Por meio do refratômetro foi realizada, em triplicata, para cada estágio de crioconcentração, a determinação do teor de sólidos solúveis totais descritos na Tabela 2. Houve um aumento de sólido solúveis com a realizações de novos estágios de crioconcentração, com valores mais elevados no estágio 3. Moraes (2008) afirma que o teor de sólidos solúveis totais é um indicativo referente à quantidade de açúcares presentes. Os valores encontrados estão próximos aos apresentados por Sanchez e colaboradores (2011) com valores iniciais do soro de leite puro de 9,1°, 10°, 15° e 20 °Brix respectivamente para os estágios iniciais (1°, 2° e 3°) de crioconcentração.

Foi realizada também a determinação do teor de sólidos solúveis do gelo recuperado após o primeiro ciclo de crioconcentração, que resultou em 0,67 °Brix \pm 0,05. Isso indica uma pequena retenção de soro de leite no gelo, similar aos estudos de Canella (2016) com °Brix do gelo em 0,73 \pm 0,01.

Devido à crioconcentração ser um método utilizado para concentrar uma solução com base na separação de seus cristais de gelo contendo o mínimo de sólidos solúveis de uma solução concentrada no congelado (ORELLANA-PALMA et al., 2017; ZIELINSKI et al., 2018; SOUTO, 2022).

Além dos resultados apresentados, notou-se diferença de coloração entre a fração de gelo após o processo (1) e o concentrado antes da centrifugação (2), o que justifica o aumento dos valores de sólidos solúveis e valores baixos para o gelo, confirmando a eficácia do processo de crioconcentração, como apresentado na Figura 12:

Figura 12 - Comparação de coloração concentrado congelado e água congelada após o processo de crioconcentração



Fonte: Autoria própria (2023)

Realizou-se a avaliação dos valores da demanda química de oxigênio do processo, a partir dos métodos *Standard Methods for the Examination of Water and*

Wastewater (SMWW) apresentados na Tabela 4, para o soro de leite puro e o crioconcentrado foram realizadas 200 diluições, já para o gelo foram realizadas 10 diluições.

Tabela 4- Valores de DQO do soro de leite, crioconcentrado e gelo residual

Amostras	DQO (mg O ₂ L ⁻¹)
Soro de leite puro	84200
1° Estágio de crioconcentração	181750
Gelo 1 Estágio	5425

Fonte: Autoria própria (2023)

Em comparação com a literatura, para Leifeld e colaboradores (2014) o soro de leite puro apresenta valores de DQO de aproximadamente 107975 mg O₂ L⁻¹ e Guven e colaboradores (2008) afirmam valores de 5000-7000 mg O₂ L⁻¹.

A título de atendimento da legislação para lançamento de efluentes líquidos industriais, a Resolução CEMA 07/2009, anexo 7, determina padrões de 200 mg. L⁻¹ de DQO para laticínios. A crioconcentração reduziu os valores de DQO do soro de leite puro para o gelo, com eficiência de 93,56%, Andrade e colaboradores (2021) apresentam redução geral de 89,1% para efluentes agroindustriais de laticínios por meio de sistema composto por um biodigestor e lagoas vegetadas.

Isso posto, apesar do método aqui realizado não garantir que o efluente atendesse à normativa paranense vigente para o lançamento de efluentes em corpos d'água quanto à DQO, a crioconcentração apresentou uma elevada eficiência em sua remoção.

5.2 Biofilmes

Os biofilmes de soro de leite demonstraram uma dispersão coloidal satisfatória foram o pré-teste 6 e 7 com soro de leite crioconcentrado 1° estágio; 3% de pectina HM; 1% e 3% de glicerina conforme a Figura 13.

Figura 13 - Biofilmes selecionados 1% e 3 % pectina HM



Fonte: Aatoria própria (2023)

De maneira geral, os biofilmes desenvolvidos obtiveram presença de um pequeno desnível, com certa dificuldade para retirá-los do molde apresentando rachaduras nas bordas. Os demais biofilmes desenvolvidos com outras proporções de ingredientes não apresentaram homogeneidade e eram pouco flexíveis como apresentado na Figura 14:

Figura 14 - Biofilmes com zonas quebradiças



Fonte: Aatoria própria (2023)

Os biofilmes produzidos a partir de PLA não apresentaram aspecto homogêneo, observando-se a presença de muitas bolhas em sua estrutura (Figura 15), possivelmente devido a incorporação do soro de leite e em virtude de sua constituição química e interações. Entretanto, o trabalho de Godói (2018) com metodologia similar apresentou filmes elaborados com PLA mais homogêneos.

Figura 15 - Biofilmes PLA incorporado o soro de leite



Fonte: Autoria própria (2023)

5.3 Análises comparativas dos biofilmes

A partir da seleção visual, foram escolhidos para prosseguimento das análises apenas os filmes que apresentaram uma dispersão coloidal satisfatória, sendo o Biofilme 1 representado por 1% de glicerina, soro de leite 1° crioconcentrado, e pectina HM; Biofilme 2 com 3% de glicerina e Biofilme 3 incorporado PLA e soro de leite.

5.3.1 Aspecto visual

Os biofilmes apresentaram diferença entre as faces dos filmes, por uma ser levemente brilhante e a outra mais opaco. De acordo com Ramos e colaboradores (2013), isso é decorrente no processo de separação de fases que ocorre na solução durante a secagem.

Os resultados referentes à análise de cor realizada encontram-se apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 - Médias e desvio padrão dos resultados de cor para os filmes fabricados

Biofilme	L*	a*	b*
1	83,19±0,94	6,16±0,39	29,19±0,93
2	88,33±0,71	3,23±0,07	17,53±0,42
3	90,04±0,23	4,01±0,67	11,92±2,8

Fonte: Autoria própria (2023)

L* Grau de luminosidade

a* Intensidade da cor verde e vermelha

b* intensidade da cor amarela e azul

Os filmes apresentaram grau de luminosidade na faixa de 80 a 90, indicando amostras claras, o fator a^* com valores positivos indicando tendência para coloração vermelha e o fator b^* com valores positivos indicando a coloração amarela. Em comparação com a literatura, os estudos de Yoshida (2009) indicam para filmes proteicos de soro de leite os seguintes valores respectivos de cor (L^* , a^* , b^*) $84,62 \pm 0,17$; $-0,91 \pm 0,02$; $10,52 \pm 0,50$, com valores próximos apenas para o grau de luminosidade.

5.3.2 Espessura e Propriedades Mecânicas

Os resultados da tensão de ruptura, percentual de alongação e espessura dos biofilmes desenvolvidos, encontram-se apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 – Médias e desvios padrão dos resultados das propriedades mecânicas e das espessuras para os filmes produzidos

Amostras	Tensão de ruptura (kPa)	Percentual de alongação (%)	Espessura (mm)
Biofilme 1	$0,91 \pm 0,24$	$0,44 \pm 0,16$	$0,50 \pm 0,14$
Biofilme 2	$0,04 \pm 0,03$	$0,45 \pm 0,40$	$0,54 \pm 0,10$
Biofilme 3	$0,30 \pm 0,08$	$0,008 \pm 0,0009$	$0,28 \pm 0,06$

Fonte: Autoria própria (2023)

Os filmes à base de proteínas do soro de leite apresentam pouca tendência para alongar, conforme os resultados na Tabela 5. Em comparação com a literatura, estudos de biofilmes com a presença de soro de leite apresentam valores de tração na ruptura (TS) e alongação (E) respectivamente $2,55 \pm 0,198$ e $68,0 \pm 5,23$ (YOSHIDA, 2009),

O Biofilme 2 apresentou aspecto grudento ao realizar os testes no texturômetro, dificultando a análise por ficar preso na garra do equipamento, não ocorrendo a ruptura no meio da amostra como se esperava (Figura 16).

De acordo com Andrade (2014), os filmes compostos de poliésteres (poli-D- β -hidroxibutirato, ácido poliláctico) geralmente são opacos e relativamente inflexíveis, isto se confirma com os baixos resultados obtidos de 0,3 Kpa de tensão de ruptura e percentual de alongação de 0,008%.

Figura 16 - Corpo de prova do biofilme 2 para análises das propriedades mecânicas



Fonte: A autoria própria (2023)

Para a espessura, o Biofilme 2 foi o mais espesso em relação aos demais biofilmes. Provavelmente a variação obtida nos valores da espessura é decorrente do processo *casting*, em que os filmes são secos em suportes (FERNANDES et al., 2015). Para Godói (2018), os valores de espessura variaram de 0,091 mm até 0,119 mm para os filmes elaborados com ácido polilático (PLA) incorporados com diferentes óleos. Esses resultados apresentam ampla faixa variação com os dados definidos neste trabalho. Pode-se explicar essa ocorrência a partir de uma provável falta de homogeneidade das amostras.

Além disso, os trabalhos de Lima (2019) e Ramos (2021) indicam que o aumento da concentração de glicerol eleva a espessura do filme, o que é confirmado por meio da Tabela 5 em que o Biofilme 2, com maior teor de glicerina foi mais espesso.

5.3.3 Biodegradabilidade

Os Biofilmes 1 e 2 apresentaram degradação total em quatro dias. Para Jesus (2020), os primeiros sinais de ataque de microrganismos para o filme a base de proteína de soro de leite ocorreram a partir do dia 4. O Biofilme 3 apresentou degradação em sete dias, sendo possível encontrar apenas pequenos fragmentos menores de 0,5 cm. Verificando-se que ocorreu de forma mais lenta, quando comparada aos outros biofilmes produzidos, o que pode estar relacionado ao PLA que apresenta tempo maior de degradação.

É válido ressaltar que nem todos os biofilmes biodegradáveis são iguais. Alguns podem requerer condições específicas, como temperatura, umidade e presença de microrganismos adequados para se degradarem completamente. Por apresentarem um período de decomposição curto, são funcionais para uma aplicação como embalagem para produtos com curto prazo de validade.

5.3.4 Solubilidade

Ao mergulhar os biofilmes na água destilada, nas condições de aquecimento e agitação, foi constatado que os Biofilmes 1 e 2 solubilizaram em partes, já o Biofilme 3 apresentou partículas insolúveis.

Os Biofilmes 1 e 2 apresentaram valores de 27% e 25% respectivamente de solubilidade, de acordo com os resultados apresentados por Fernandes (2015) que encontrou valores de 29% para biofilme de crioconcentrado de soro de leite. O biofilme 2 apresentou menor solubilidade comparado ao Biofilme 1; isto pode-se ser explicado por Rocha (2009), pois nos filmes biodegradáveis de proteína de soja, observou que existe interação entre a proteína e o glicerol, a qual dificulta a solubilidade, visto que quanto maior o teor de glicerol, menor é a solubilidade da proteína em água.

O Biofilme 3 apresentou solubilidade média de 2,18%. No estudo de Godói (2018), a solubilidade em água dos filmes de PLA com os diversos óleos alimentícios variou de 3,4% (BAB 15%) a 0,71% (CH 15% e ABO 15%)

6 CONCLUSÃO

Observou-se a possibilidade da utilização do soro de leite, um subproduto das indústrias de laticínios, bem como do ácido polilático, para a produção de biofilmes, mesmo que o filme com ácido polilático apresentou algumas bolhas.

Para o processo de crioconcentração obteve-se resultado satisfatório ao apresentar retirada parcial de 87% da água livre, reduzindo o volume a ser descartado de soro e permitindo o descarte de um resíduo com baixos teores de sólidos solúveis e demanda química de oxigênio bastante reduzida em comparação ao crioconcentrado de soro de leite.

Constatou-se a possibilidade de obter dispersão coloidal por meio de diferentes concentrações de crioconcentrado de soro de leite, porém com aspectos frágeis e quebradiços. Com base nos resultados obtidos, as espessuras dos filmes variam conforme a adição de glicerina, que tendem a aumentar de acordo com o aumento da concentração utilizada (1% e 3%). Em relação as propriedades mecânicas, os biofilmes apresentaram uma baixa resistência à tração e alongação e para a cor dos filmes, verificou-se também que estes apresentaram grau de luminosidade clara, com valores para os parâmetros da intensidade vermelha e amarela.

Pode-se verificar que os biofilmes são biodegradáveis, uma vez que houve a degradação total ao ser enterrado por sete dias. Em relação à solubilidade, o PLA é considerado um material hidrofóbico, dessa forma os filmes permaneceram com valores baixos para solubilidade no Biofilme 3. Além disso, a elevação da biodegradabilidade dos filmes está relacionada com a solubilidade em água dos filmes que se desintegram na presença de umidade.

Em resumo, este trabalho apresentou resultados promissores para futuras pesquisas e discussões para o desenvolvimento de um biofilme com soro de leite e ácido polilático. É importante ressaltar algumas limitações em relação às propriedades mecânicas dos biofilmes. No entanto, é necessário a utilização de diferentes agentes plastificante para o aumento da flexibilidade e teste em relação a atividade microbiana para utilização como cobertura comestível.

REFERÊNCIAS

- AIDER, M, HALLEUX, D; MELNIKOVA, I. Skim acidic milk whey cryoconcentration and assessment of its functional properties: Impact of processing conditions. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 10, n. 3, p. 334-341, 2009.
- AIDER, M; HALLEUX, D; AKBACHE, A. Crioconcentração de soro e impacto em sua composição. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 1, p. 92-102, 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, **ASTM D6400-04**: Standard Specification for Compostable Plastics. ASTM, 2012.
- ANDRADE, R. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis à base de resíduos de frutas e hortaliças**. 2014. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Programa de Pós Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- ANDRADE, S. O., DA SILVA, A. R., ROSENDO, T. F., DE OLIVEIRA, A. M. B. M., & DA SILVA, O. S. avaliação de um sac para redução da turbidez, cor e dco em efluentes de agroindústrias de laticínios, 2021.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.20th**. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 1998
- AQUINO, S; SILVA; CHERNICHARO, C. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 295-304, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO.**ABIPLAST**, 2018. Disponível em: http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web_VC.pdf Acesso em: 26 out. 2022.
- AVELINO, K. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis à base de tomate (Lycopersicon esculentum)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia De Alimentos) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/2423>. Acesso em: 30 set. 2022.
- BAJPAI, P K; SINGH, I; MADAAN, J. Development and characterization of PLA-based green composites: A review.**Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 27, n. 1, p. 52-81, 2014.
- BALD, J. Características físico-químicas de soros de queijo e ricota produzidos no Vale do Taquari, RS. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 4, n. 3, 2014.
- BARBOSA, A.D.S., FLORENTINO, E.R., FLORENCIO, I. M., ARAÚJO, A.D.S. Use of serum as a substrate for production of marc: kinetic study of the production of ethanol. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 1, p. 7-25, 2010.

BARROS, Â. **Síntese e caracterização de um polímero biodegradável**. 2011. Dissertação (Mestrado em Química Formação Contínua de Professores) – Faculdade de Química, Universidade do Minho, 2011. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/18454> . Acesso em: 7 ago. 2022.

BIERHALZ, A. C. K. **Confecção e caracterização de biofilmes ativos à base de pectina BTM e pectina BTM/alginato reticulados com cálcio**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2018. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/en/dissertacoes-teses/76402/preparation-and-characterization-of-active-films-based-on-lm>. Acesso em: 14 set. 2022.

BRAGANÇA, S.; CRUZ, R.; PEDRASSANI, J. Propriedades reológicas e coloidais de massas argilosas. **Faianças, grés e porcelanas**, p. 369 - 412, 2022.

BRASIL. Instrução Normativa nº 80, de 13 de agosto de 2020. **Regulamento técnico de identidade e qualidade de soro de leite e soro de leite ácido**. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, [2020]. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-80-de-13-de-agosto-de-2020-272509723>. Acesso em 19 out. 2022.

BRITO, G. F. AGRAWAL, P., ARAÚJO, E. M., MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista eletrônica de materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

BULLERMAN, L.B.; BERRY, E. C. Uso de soro de queijo para vitamina B12 Produção: I. Whey Solids e Níveis de Extrato de Levedura. **Microbiologia aplicada**, v. 14, n. 3, p. 353 - 355, 1966.

CANELLA, M. H. M. 2016. Potencial da crioconcentração do soro de leite e seu emprego na elaboração de uma bebida láctea fermentada simbiótica. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: [Potencial da crioconcentração do soro de leite e seu emprego na elaboração de uma bebida láctea fermentada simbiótica \(ufsc.br\)](https://repositorio.ufsc.br/handle/1872/45444) Acesso em: 14 mar 2023.

CARDOSO, G. D. S. F. **Avaliação físico-química e microbiológica do leite cru refrigerado e soros dos queijos minas frescal e muçarela estocados sob diferentes temperaturas**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência Animal junto à Escola de Veterinária e Zootecnia) — Faculdade de Ciência animal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/4204>. Acesso: 9 nov. 2022.

CARVALHO, C. E. B., OLIVEIRA, L. T., LUZ, R. C., VANONI, E. J. C., GUERREIRO, M. G., CAMARA, L. F. C., LUSTRI, W. R. Aplicação de polímeros biorreabsorvíveis em medicina cardiovascular. **Revista Brasileira Multidisciplinar-ReBram**, v. 25, n. 1, p. 166-181, 2022.

CARVALHO, KASSANDRA DUARTE. **Utilização de soro de leite doce na fabricação de sorvete de massa**. 2012. Dissertação (Mestrado Desenvolvimento Sustentável e Qualidade de Vida.) – Faculdade de Nutrição, UNIFAE, São João da

Boa Vista, 2012. Disponível em: <https://www.fae.br/mestrado/dissertacoes/2012/Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20soro%20de%20leite%20doce%20na%20fabrica%C3%A7%C3%A3o%20de%20sorvete%20de%20massa.pdf>. Acesso em: 25 out. 2022.

CASARIN, S. A., AGNELLI, J. A., MALMONGE, S. M., ROSÁRIO, F. Blendas PHB/copoliésteres biodegradáveis: biodegradação em solo. **Polímeros**, v. 23, p. 115-122, 2013.

COUPLAND, J. N.; SHAW, N. B.; MONAHAN, F. J.; DOLORES O'RIORDAN, E. & O'SULLIVAN, M. - J. Food Eng., 43, p.25, 2000. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00129-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00129-6). Acesso em: 14 jun 2024.

CRUZ, A. G. **Processamento de produtos lácteos-queijos, leites fermentados, bebidas lácteas, sorvete, manteiga, creme de leite, doce de leite, soro em pó e lácteos funcionais** v. 3, p. 82-194, Rio de Janeiro, 2017.

DIAS, A B. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amido e de farinha de arroz**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/92138/250617.pdf;jsessionid=5428F778EA3308317097E7A830DE28D6?sequence=1>. Acesso em: 25 set. 2022.

DIELS, A. M., CALLEWAERT, L., WUYTACK, E. Y., MASSCHALCK, B., & MICHIELS, C. W. Moderate temperatures affect Escherichia coli inactivation by high-pressure homogenization only through fluid viscosity. **Biotechnology progress**, v. 20, n. 5, p. 1512-1517, 2004.

FECHINE, G. J. M. **Polímeros biodegradáveis: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial**. São Paulo: Editora Mackenzie, 2013, 118 p.

FELLOWS, P. **Tecnologia do Processamento de Alimentos-: Princípios e Prática**. Artmed Editora, 2018.

FERNANDES, A. P. S., COSTA, J. B., SOARES, D. S. B., MOURA, C. J. D., & SOUZA, A. R. M. D. Aplicação de filmes biodegradáveis produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 192-199, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4530844> Acesso em: 5 jun. 2023.

FU, J. T.; RAO, M. A. Rheology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: the effect of sucrose. **Food Hydrocolloids**, v. 15, n. 1, p. 93 - 100, 2001.

FURMAN, A. C., VEIT, M., PALÁCIO, S. M., DA CUNHA GONÇALVES, G., & BARBIERI, J. C. Z Sustentabilidade no processo produtivo da indústria cosmética: uma revisão da literatura. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 13, p. e586111335852-e586111335852, 2022.

GHIRALDI, M. **Desenvolvimento de géis polissacarídicos carregados de emulsão incorporando vitaminas D3 e B12**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74132/tde-24102018-105445/publico/ME7695047COR.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2022.

GUEDES, A. F. L. M., MACHADO, E. C. L., FONSECA, M. C., ANDRADE, S. A. C., & STAMFORD, T. L. M. Aproveitamento de soro lácteo na formulação de bebidas com frutas e hortaliças. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, p. 1231 - 1238, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000400040>. Acesso em: 25 abri.2023.

GUPTA, A. P.; KUMAR, V. New emerging trends in synthetic biodegradable polymers—Polylactide: A critique. **European polymer journal**, v. 43, n. 10, p. 4053-4074, 2007. ISSN 2525-3409.

GÜVEN, G PERENDECI, A; TANYOLAC, A. Tratamento eletroquímico de efluentes simulados de fábrica de açúcar de beterraba. **Revista de Engenharia Química**, v. 151, n. 1-3, p. 149-159, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE **Pesquisa da Produção de leite no Brasil**, Brasília: IBGE, 2021 Acesso em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br>. Acesso em: 15 jun de 2023.

JESUS, G. L. D. Obtenção, caracterização e comparação de filmes à base de proteínas do soro de leite. 2020. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/213495>. Acesso em: 16 jun de 2023.

JUNIOR, R. J. O emprego do leite concentrado obtido pelo processo de crioconcentração em blocos e a influência nas propriedades físicas e químicas de queijo tipo minas frescal. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L.P. Manual de Biodiesel. São Paulo: Edgard Blücher Editora, 2006.

KONICA MINOLTA. **Entendendo o Espaço de Cor L*a*b***. Sensing Konica Minolta. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/entendendo-o-espaco-de-cor-lab>. Acesso em 28 out de 2022.

LASPRILLA, A. J., MARTINEZ, G. A., LUNELLI, B. H., JARDINI, A. L., & MACIEL FILHO, R. Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices—A review. **Biotechnology advances**, v. 30, n. 1, p. 321 - 328, 2012.

LEIFELD, V. Tratamentos clássicos de precipitação de proteínas aplicados a soro de leite visando decréscimo do potencial contaminante do efluente. 2014. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) Programa de Pós Graduação em Química Aplicada,

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2119>. Acesso em 1 jun de 2023.

LIMA, R. T. F. M. **Extração da pectina do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) para incorporação em biofilmes**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11548> Acesso em: 10 ago. 2022.

LIU, L., FISHMAN, M.L. & HICKS, K.B. Pectina na entrega controlada de drogas – uma revisão. *Celulose* 14, **15–24** (2007). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-006-9095-7>. Acesso em: 27 fev 2023.

MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, Barking, v.56, p.129-135, 2004.

MATTA FAKHOURI, F; GRANDI C. F. S., QUEIROZ COLLARES, F. P. Influência da proteína de soro de leite nas propriedades de biofilmes compostos de hidroxipropil-metil celulose e de pectina. In: **CBPol 2009: 10º Congresso Brasileiro de Polímeros: Foz do Iguaçu, PR, Brasil: 13 a 17 de outubro de 2009: livro de resumos**. Cubo Multimídia, 2009. p. 1-8.

MELE, G., BLOISE, E., COSENTINO, F., LOMONACO, D., AVELINO, F., MARCIANÒ, T., TERZI, R. Influence of cardanol oil on the properties of poly (lactic acid) films produced by melt extrusion. **ACS Omega**, v. 4, n. 1, p. 718-726, 2019.

MICHAELSON, J. **ACL Reconstruction Medial Porta** :Dispositivo de fixação de toggleoct™ com tecnologia ZipLoop™ e técnica cirúrgica de parafusa de interferência compositTCP™. ZIMMER BIOMET. 2017. Disponível em: <https://www.zimmerbiomet.com/content/dam/zb-corporate/en/education-resources/surgical-techniques/specialties/sports-medicine/compositcp-interference-screws/acl-reconstruction-medial-portal-with-toggleloc-fixation-device-with-ziploop-technology-and-compositcp-interference-screw-surgical-technique1.pdf>. Acesso em: 16 out. 2022.

MOHANTY, A K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. (Ed.). **Natural fibers, biopolymers, and biocomposites**. CRC press,p. 11-14, 2005.

MORAES, J.O. **Produção e caracterização de filmes de amido-glicerol-fibras de celulose elaborados por tape-casting**. 2013.Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/122905> Acesso em: 29 nov. 2022.

MORAIS, A. C. L. Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de poli (ácido láctico) e proteína isolada de soja produzidos via extrusão plana. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 27, 2022.

MOREIRA, F., MARCONCINI, J., & MATTOSO, L. Pectinas termoplásticas: uma nova classe de materiais funcionais para embalagens bioativas. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 6., 2012, Fortaleza, Anais.

São Carlos: Embrapa Instrumentação; Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012. p. 174-176

MOSTAFAVI, F. S., KADKHODAEI, R., EMADZADEH, B., & KOOCHEKI, A., Preparation and characterization of tragacanth–locust bean gum edible blend films. **Carbohydrate polymers**, v. 139, p. 20-27, 2016.

MÜLLER, C.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J. B. Evaluation of effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, p. 82 - 87, 2008.

MURARI, C. S., MORAES, D. C., BUENO, G. F., & DEL BIANCHI, V. L. Avaliação da redução na poluição dos laticínios, a partir da fermentação do soro de leite em etanol pela levedura *Kluyveromyces marxianus* 229. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, n. 393, p. 42-50, 2013.

OLIVEIRA, L. M.; SARANTÓUPOLOS, C. I. G. L.; CUNHA, D. G.; LEMOS, A. B. Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis. Campinas: **Centro de Tecnologia de Embalagem**, 1996

OLIVEIRA, N. S. **Solubilidade de gases em membranas poliméricas**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Química). – Faculdade de Engenharia, Universidade de Aveiro, Portugal, 2006. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/beff5750ecc1200a34a39b0a60f6c0b6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 30 set. 2022.

PEREZ-GAGO, M. B.; KROCHTA, J. M. Denaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. **Journal of food science**, v. 66, n. 5, p. 705 - 710, 2001.

PERTUSSATTI, C. A. **Gestão ambiental de resíduos plásticos no Brasil: subsídios para uma diretriz nacional**. 2020 Trabalho de conclusão de Curso (Especialista em Gestão Pública) – Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2020. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/5134> Acesso em: 14 nov. 2022.

PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Relatório da ONU sobre poluição plástica**. [UNEP], 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/relatorio-da-onu-sobre-poluicao-plastica-alerta-sobre>. Acesso em: 20 set. 2022.

RAMOS, A. C. S. **Elaboração de biofilmes a partir da pectina extraída do mesocarpo da laranja pera**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28806>.

Ramos, O. L., Fernandes, J. C., Silva, S. I., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. Edible films and coatings from whey proteins: a review on formulation, mechanical and bioactive properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.52, n.6, p.533-552, 2012.

REGHELIM, M.; RIGHI, E. **Reaproveitamento de Resíduo: Alternativas para o Soro do Queijo**. Congresso internacional de tecnologias para o meio ambiente, p.1 – 8, 2018.

ROCHA, G. O. Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de misturas de amido de mandioca e extrato proteico de soja. 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

SAMSUNG (Brasil). Diferença entre as temperaturas do Freezer e Refrigerador. Manaus: SAMSUNG (Brasil),2021. Disponível em: <https://www.samsung.com/br/support/home-appliances/is-there-a-difference-between-the-freezer-and-the-refrigerator-temperature/#:~:text=J%C3%A1%20em%20seu%20Freezer%2C%20por,C%20a%20%2D25%C2%B0C>. Acesso: 26 nov. 2022.

SANCHEZ, J.; HERNANDEZ, E.; AULEDA, J. M.; RAVENTOS, M. Freeze concentration of whey in a falling-film based pilot plant: process and characterization. *J Food Eng*, v. 103, p.147–155, 2011a.

SANTANA, A. A.; KIECKBUSCH, T. G. Physical evaluation of biodegradable films of calcium alginate plasticized with polyols. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, p. 835 - 845, 2013.

SCHEREN, M. A., Gomes, S. D., & Cereda, M. P. Determinação do Coeficiente de Biodegradabilidade de Plástico a Base de Amido sob Condição Aeróbia. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 3, p. 149 - 163, 2000.

SHIMAZU, A. A., MALI, S., & GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semana: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2007.

SIQUEIRA, A. D. M. O., MACHADO, E. D. C. L., & STAMFORD, T. L. M. Bebidas lácteas com soro de queijo e frutas. **Ciência Rural**, v. 43, p. 1693 - 1700, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000900025>. Acesso em 12 fev 2023.

SOUTO, V. D., CAMPOS, F. M., & LAZZAROTTO, M. Técnica de crioconcentração e suas aplicações: uma revisão. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1150058>. Acesso em: 31 mai 2023.

STOPASSOLI, A. O uso da proteína do soro de leite como suplemento nutricional por atletas. **FACIDER-Revista Científica**, n. 8, 2016.

TORRES, D. **Gelificação térmica de hidrolisados enzimáticos de proteínas do soro de leite bovino: comportamento de sistemas aquosos mistos péptidos-polissacarídeos**. 2005. Tese (Doutorado em Biotecnologia/Engenharia de Bioprocessos) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2005. Disponível em <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/4234>. Acesso em: 03 nov. 2022.

VESPUCCI, I. L., NUNES, M. P. C., DE CAMPOS, A. J., JÚNIOR, M. S. S., & CALIARI, M. Filmes biodegradáveis à base de amido para aplicação em pequenas produções de frutas Starch-based biodegradable films for application in small fruit production. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 14413-14427, 2022.

WU, M. **Estudo da degradação do canudo de refrigerante (PP) com aditivos degradantes em solo compostado**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25521>. Acesso em: 06 nov. 2022.

YOSHIDA, C. M. P., & ANTUNES, A. J. Aplicação de filmes proteicos à base de soro de leite. **Food Science and Technology**, v. 29, p. 420 - 430, 2009.

ZOCCAL, R. Anuário do Leite 2022: **novos produtos e novas estratégias da cadeia do leite para ganhar competitividade e conquistar os clientes finais**. Anuário Leite, n. 35 art., p- 42 (“Edição Digital em embrapa.br/gado-de-leite”, Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1144110/anuario-leite-2022-pecuaria-leiteira-de-precisao> Acesso em: 19 set 2022.