

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA (CCN)
CAMPUS LAGOA DO SINO

GUILHERME DOMINGUES AMBROSIO

**ÓLEO ESSENCIAL DE LIMÃO: SUA POSSÍVEL APLICAÇÃO EM EMULSÕES PELO
MÉTODO DE COACERVAÇÃO COMPLEXA COM WPC:PEC**

BURI – SP

2023

GUILHERME DOMINGUES AMBROSIO

**ÓLEO ESSENCIAL DE LIMÃO: SUA POSSÍVEL APLICAÇÃO EM EMULSÕES PELO
MÉTODO DE COACERVAÇÃO COMPLEXA COM WPC:PEC**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao departamento Acadêmico da
Universidade Federal de São Carlos,
Campus Lagoa do Sino, para obtenção do
título de Bacharelado em Engenharia de
Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Kivia Mislaine
Albano

BURI – SP

2023


GUILHERME DOMINGUES AMBROSIO

ÓLEO ESSENCIAL DE LIMÃO: SUA POSSÍVEL APLICAÇÃO EM EMULSÕES PELO
MÉTODO DE COACERVAÇÃO COMPLEXA COM WPC:PEC


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Alimentos pela
Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em: 17/03/2023.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 KIVIA MISLAINE ALBANO SCOBOSA
Data: 31/03/2023 09:39:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.a. Dra. Kivia Mislaine Albano (Orientadora)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Documento assinado digitalmente
 ANGELO LUIZ FAZANI CAVALLIERI
Data: 31/03/2023 13:36:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ângelo Luiz Fazani Cavallieri
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Documento assinado digitalmente
 LARISSA CONSOLI
Data: 31/03/2023 11:35:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.a. Dra. Larissa Consoli
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Domingues Ambrosio, Guilherme

Óleo essencial de limão: sua possível aplicação em emulsões pelo método de coacervação complexa com WPC:PEC / Guilherme Domingues Ambrosio -- 2023. 46f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Kivia Mislaine Albano

Banca Examinadora: Ângelo Luiz Fazani Cavalieri,

Larissa Consoli

Bibliografia

1. Biopolímeros . 2. Estabilidade de emulsões . 3. Limão tahiti. I. Domingues Ambrosio, Guilherme. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

AGRADECIMENTOS

Inicio os meus agradecimentos primeiramente a Deus por orientar meu caminho, me mostrando sempre o melhor a escolher.

Ao meu pai, Rivaldo, pelo apoio imensurável em iniciar os meus estudos, sempre me trazendo ensinamentos e aprendizados e à minha mãe, Cristiane, pelo amor incondicional e por sempre estar ao meu lado. Dedico todas as minhas conquistas e este trabalho aos meus pais.

À minha irmã Beatriz por todo apoio e carinho.

À minha avó Maria que hoje se encontra no céu e sempre se mostrou presente em minha vida me auxiliando e aconselhando, apesar da distância.

À minha avó Vera, por todo carinho, apoio, orientação e contribuição pessoal, a qual é uma das responsáveis pela pessoa que hoje eu sou.

Agradeço fielmente a minha orientadora querida, Kivia Albano, que desde 2019 me trouxe luz e inúmeros aprendizados e direcionamentos quanto ao curso de Engenharia de Alimentos, sendo responsável por uma infinidade de incentivos e orientações. Obrigado, por ser uma profissional tão sábia.

Agradeço ainda a oportunidade de poder estudar numa universidade pública de tamanha qualidade, formada por docentes extremamente qualificados.

À todos aqueles que me auxiliaram durante esses anos de graduação.

Aos meus amigos e amigas que traçaram, em conjunto comigo, uma trajetória de sucesso e aprendizado ao longo desses 5 anos.

Em especial à todas amigas da Republica Delas (Laís Saldanha, Maria Júlia Campos, Juliana Meneghel, Isabela Bonanho, Isabela Reis, Ana Beatriz e Pamela Camargo) que fizeram parte da minha história na Lagoa do Sino. Obrigado pela amizade e companheirismo de vocês!

Agradeço também às minhas amigas, Ana Laura, Larissa e Izabella, que me acompanharam ao longo dessa jornada no curso de Engenharia de Alimentos, e sempre estiveram juntas comigo.

“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.”

Martin Luther King Jr.

RESUMO

O acúmulo de resíduos agroindustriais ao longo dos últimos anos serve como disparador na busca do aproveitamento destes. Isto é, além da diminuição dos impactos ambientais, viabiliza o desenvolvimento de novas tecnologias e estratégias para aplicação em novos produtos. As indústrias de sucos cítricos produzem grande quantidade de resíduos, sendo possível obter óleos essenciais de limão e pectinas provenientes das diferentes frações do fruto. O primeiro é potencialmente aplicado e utilizado nas indústrias de cosméticos, alimentos e farmacêutica, uma vez que possui propriedades químicas e sensoriais favoráveis na aplicação do desenvolvimento de novas formulações. A pectina (PEC) possui inúmeras aplicações, como gelificante, sendo a sua capacidade de utilização como estabilizante natural o objeto de estudo, além de possuir o potencial de interação com proteínas. Alinhado com esse contexto, tem-se o soro de leite, o qual é gerado em ampla quantidade, e possui inúmeras propriedades tecnológicas quando utilizado na forma protéica concentrada (WPC) ou isolada (WPI). Tendo isso em vista, tais biopolímeros e óleos oriundos de diversos ramos da indústria de alimentos podem ser estudados e desenvolvidos para estabilizar emulsões alimentícias com o intuito de encapsular e se beneficiar dos compostos bioativos. É de extrema importância garantir a estabilidade da emulsão, sendo eficaz o método de coacervação complexa, dado que com a mistura e a interação de uma determinada proteína com um polissacarídeo específico, em um pH que possuem cargas opostas, resultam em um complexo, formando uma matriz em torno do composto bioativo. Ademais, é de suma importância mensurar o comportamento reológico e as características dos sistemas emulsionados, pois a variação de quaisquer componentes pode afetar as propriedades físicas e consequentemente a estabilidade das emulsões, bem como o produto final. Assim, este levantamento bibliográfico visa aprofundar o conhecimento sobre as matérias-primas e técnicas mencionadas, para avaliar a possível aplicação desses biopolímeros na estabilização de emulsões com óleos essenciais de limão.

Palavras-chave: compostos bioativos, estabilização de emulsões, limão Tahiti, pectina, concentrado proteico de soro

ABSTRACT

The accumulation of agro-industrial residues over the past years serves as a trigger in the search for their utilization. That is, besides the reduction of environmental impacts, it enables the development of new technologies and strategies for application in new products. The citrus juice industries produce a large amount of residues, and it is possible to obtain lemon essential oils and pectins from the different fractions of the fruit. The former is potentially applied and used in the cosmetics, food and pharmaceutical industries, since it has favorable chemical and sensory properties in the application for the development of new formulations. Pectin (PEC) has numerous applications, such as gelling agent, and its ability to be used as a natural stabilizer is the object of study, besides having the potential to interact with proteins. Aligned with this context, there is the whey, which is generated in large quantities, and has numerous technological properties when used in concentrated protein (WPC) or isolated protein (WPI). With this in mind, such biopolymers and oils from various branches of the food industry can be studied and developed to stabilize food emulsions in order to encapsulate and benefit from bioactive compounds. It is of utmost importance to ensure the stability of the emulsion, the method of complex coacervation being effective, since with the mixture and interaction of a particular protein with a specific polysaccharide, at a pH that have opposite charges, result in a complex, forming a matrix around the bioactive compound. Furthermore, it is of utmost importance to measure the rheological behavior and characteristics of emulsion systems, because the variation of any component can affect the physical properties and consequently the stability of emulsions, as well as the final product. Thus, this literature survey aims to deepen the knowledge about the raw materials and techniques mentioned, to evaluate the possible application of these biopolymers in stabilizing emulsions with lemon essential oils.

Keywords: bioactive compounds, emulsion stabilization, tahiti lemon, pectin, whey protein concentrate

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Limão Tahiti.....	17
Figura 2 - Camadas do Limão Tahiti.....	19
Figura 3 - Distribuição de tamanho de gotas.....	29
Figura 4 - Representação esquemática das etapas do processo de microencapsulação por coacervação complexa.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos avaliando a aplicação do Óleo Essencial de Limão.....	23
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

OE: Óleo Essencial

OEL: Óleo Essencial de Limão

A/O: Água em Óleo

O/A: Óleo em Água

WPC: Concentrado Proteico do Soro

ATM: Alto Teor de Metoxilação

BTM: Baixo Teor de Metoxilação

CB: Caseína

BSA: Albumina do soro bovino

SPI: Spirulina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO GERAL	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Limão Tahiti	17
3.2 Óleo Essencial de Limão	20
3.3 Pectina.....	25
3.4 Concentrado proteico do soro de leite (WPC).....	27
3.5 Emulsões: conceitos e comportamento reológico.....	28
3.6 Coacervação Complexa.....	31
4. CONCLUSÕES	34
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

A vasta extensão territorial do Brasil, aliada às condições adequadas do solo e clima, colocam o país em uma posição de destaque no que se refere à produção agroindustrial. O processamento de matérias-primas, quando relacionado à produção alimentícia, é responsável pela geração de toneladas de resíduos, que na maioria das vezes são descartados de maneira inadequada (COSTA FILHO; SILVA; SOUSA, 2017).

Os resíduos oriundos das agroindústrias representam um problema ambiental, de saúde pública e econômico, isso devido à sua gestão inadequada e seu pouco ou nenhum uso. A partir disso, surge a necessidade de buscar alternativas para o uso e recuperação destes subprodutos (NEMPEQUE; CABRERA; MONCAYO, 2021).

O interesse pelo aproveitamento de resíduos agroindustriais tem crescido anualmente, visando evitar a poluição ambiental e o descarte de resíduos que possuem grande utilidade como subprodutos na indústria de alimentos ou áreas afins (ALENCAR, 2020). Dentre os diversos resíduos existentes na agroindústria, se destacam os resíduos de frutas cítricas (LIMA, 2015) e o soro de leite (GASPARINI, 2016; SILVA, 2020) que vem sendo cada vez mais promissores na aplicação e na estabilização de emulsões para o desenvolvimento de novas formulações alimentícias.

O Brasil é classificado como o segundo maior produtor e exportador de frutos e sucos cítricos, sendo o Limão Tahiti o que apresenta maior relevância comercial. Segundo o Instituto de Economia Agrícola (2018), o estado de São Paulo representa 80 % da produção do país, além de no ano de 2016 apresentar 20,6 milhões de caixas de 40,8kg em sua colheita. Dados referentes ao ano de 2021 mostram um crescimento aproximado de 20,89 % na produção de Limão Tahiti (IEA, 2023), sendo possível visualizar o potencial de crescimento a longo prazo.

O Limão Tahiti atualmente é comercializado no varejo, no entanto, a maioria dessa produção é destinada às indústrias de néctar e suco. E um dos maiores problemas a serem solucionados dentro da cadeia produtiva é o volume de resíduos sólidos, ou seja, cascas e sementes, uma vez que estes não são usados integralmente no desenvolvimento dos produtos (ALENCAR, 2020; NEMPEQUE; CABRERA; MONCAYO, 2021).

Nesse mesmo contexto, estes são considerados boa fonte de fibra alimentar, além do que na casca do Limão Tahiti, podem ser extraídos óleos essenciais, pectina, fibras, vitamina C,

flavonóides, limonóides, cumarinas e carotenóides (MORAES, 2018). Os óleos essenciais são líquidos voláteis e aromáticos que podem ser extraídos de algumas plantas e alimentos, sendo insolúveis em água (FAIZA et al., 2018).

É importante ressaltar que o país possui uma posição de destaque no mercado mundial, em relação a produção de óleo essencial. Esse mercado rende lucros de aproximadamente US \$15 milhões/ano e conta com um crescimento em torno de 11 % ao ano. Além disso, o Brasil está entre os principais fornecedores de óleos essenciais cítricos no mercado mundial, estando na quarta posição (SNA, 2017).

É válido ressaltar que o mercado internacional de óleo essencial em 2021 foi estimado em \$10,3 bilhões, com tendência de crescimento constante, tendo como perspectiva alcançar \$16 bilhões e produção de 345 mil toneladas até o ano de 2026 (BIZZO; REZENDE, 2022). Levando em consideração a produção de OE de limão Tahiti anualmente, o Brasil exportou anualmente em média 168 toneladas, considerando valores referentes à última década. Em relação ao ano de 2020, foram totalizados 182,6 toneladas de OE de limão Tahiti (BIZZO; REZENDE, 2022).

Tendo em vista o volume produzido desses subprodutos, estes apresentam um grande potencial para serem utilizados como matéria-prima nas indústrias alimentícias, farmacêuticas, dentre outras. Assim, os resíduos de limão após a extração industrial, possuem uma ampla quantidade de componentes valiosos que possuem inúmeras aplicações, inclusive, como exemplo, pode até servir para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis ou serem introduzidos no desenvolvimento de novas embalagens (SOOFI et al., 2021).

Partindo desse pressuposto, o óleo essencial de limão possui um forte potencial de utilização como matéria-prima de qualidade excepcional nas indústrias, sendo inúmeros os benefícios dos óleos essenciais à saúde, possuindo efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios (BAJPAI; RAHMAN; KANG, 2008), antidiabéticos, antimicrobianos (CALO; GRANDALL; O'BRYAN; RICKE, 2015), sendo uma alternativa à conservação de alimentos (FRATIANNI et al., 2010), além de melhorar o sabor destes.

Na aplicação industrial, são utilizados em função do seu potencial aromático, propriedades funcionais e pelo potencial de uso como conservante natural. Além disso, impacta diretamente as características sensoriais dos alimentos, implicando no aroma principalmente (NAZER et al., 2005).

Os óleos essenciais também são considerados como agentes antimicrobianos de maior importância presentes nas plantas. Ademais, estes compostos bioativos apresentam alto potencial para indústria alimentícia, uma vez que é comumente empregado como aditivo natural nas indústrias de bebidas e de pães (FAIZA et al., 2018).

Além deste componente rico em compostos fenólicos, os resíduos das indústrias cítricas permitem a obtenção da pectina, a qual é um polissacarídeo rico em fibra, e amplamente utilizado nas indústrias alimentícias e farmacêuticas devido suas propriedades espessantes e gelificantes.

A pectina pode ser extraída de frutas cítricas como a laranja (ALEXANDRINO; FARIA; SOUZA; PERALTA, 2007), o maracujá (MATSUURA, 2005) e o limão (MENDONÇA; CONCEIÇÃO; PIEDADE; CARVALHO, 2006), tendo sua funcionalidade, como aditivo alimentar, proporcionalmente ligada à sua distribuição de cargas (ALBANO, CAVALLIERI e TELIS, 2019). Além disso, o parâmetro de referência para aplicação da pectina é o seu grau de metoxilação, este sendo fundamental para garantir a sua classificação. Aquelas que apresentam um teor inferior a 50 % são classificadas como pectinas de baixo teor de esterificação, e as que apresentam um teor superior a 50 %, pectinas de alto teor de esterificação (TURQUOIS; RINAUDO; TARAVEL; HEYRAUD, 1999).

A pectina possui características de textura e potencial de interação com proteínas do concentrado proteico do soro do leite (WPC), sendo alvo de estudos nos últimos anos (ALBANO, CAVALLIERI, NICOLETTI, 2020; ALBANO, NICOLETTI, 2018).

De acordo com XIAO (2020), em busca de modificadores e estabilizantes para proteínas do soro, até o momento dentre os polissacarídeos estudados, a pectina presente nas cascas de frutas cítricas têm sido amplamente utilizada, isso porque possui a capacidade de melhorar as propriedades funcionais das proteínas do soro, como solubilidade, estabilidade térmica e estabilidade das emulsões devido sua capacidade gelificante.

Sabendo que as proteínas de soro se encontram presentes em outro resíduo gerado em grande quantidade pelos laticínios, tal informação mostra o desenvolvimento e empenho da ciência e das indústrias para minimizar o descarte dos resíduos, desenvolvendo produtos e matérias-primas de valor agregado como WPC e WPI. Comportamento semelhante é observado atualmente para o óleo essencial de limão, que tem sido cada vez mais extraído pelas indústrias,

possui alto valor agregado, média de R\$400,00 o litro, e por permitir distintas aplicações distintas.

Esta informação é de grande importância, pois possibilita ampla aplicação e redução de resíduos gerados por diferentes segmentos alimentícios, uma vez que as proteínas de soro se encontram presente em outro resíduo gerado em grande quantidade pelos laticínios, o soro de leite.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Brasil produziu cerca de 2,7 milhões de toneladas de soro de leite em 2017, sendo esta situação favorável para o desenvolvimento de novos produtos e, conseqüentemente, diminuição dos impactos ambientais oriundos da Indústria de laticínios (OLIVEIRA; BRAVO; TONIAL., 2012). O soro pode ser aplicado na sua composição original a fim de produzir bebidas lácteas, isolados (WPI) ou concentrados (WPC), sendo categorizado de acordo com o teor de proteínas (ALVES et al., 2014). Estes, se destacam devido às propriedades funcionais que apresentam aumento do valor nutricional de formulações, formação de espuma, emulsificação e solubilidade (PAGNO et al., 2009), aumento de viscosidade, gelificação, aeração, melhoria da cor, textura e *flavor* (KREŠIĆ et al., 2008).

Segundo Becker et. al (2020), a aplicação das proteínas provenientes do soro de leite em alimentos, mostra condição propícia frente ao cenário de aumento da busca e consumo de alimentos saudáveis e a busca incansável das indústrias alimentícias pela diminuição de custos operacionais. Uma vez que se torna viável a substituição de estabilizantes e emulsificantes sintéticos por componentes naturais. Ademais, reduz o grave impacto ambiental causado pelo descarte incorreto deste na natureza.

Tendo em vista as informações observadas anteriormente, tais materias podem ser combinados pelo método de coacervação complexa (ALBANO, CAVALLIERI, NICOLETTI, 2020; ALBANO, NICOLETTI, 2018) ocasionando interação dentre eles devido suas cargas opostas juntamente com o método de emulsificação que segundo McClements; Decker; Weiss (2007) esta é uma tecnologia fundamental para encapsular, proteger, liberar e potencializar os benefícios dos compostos bioativos. Isso porque a tecnologia de encapsulamento é uma técnica consolidada e se mostra oportuna em inúmeros segmentos industriais, isso porque atua na proteção de um agente ativo (DA SILVA BARBOSA et al., 2021).

Sendo assim, este projeto de conclusão de curso visou desenvolver uma revisão bibliográfica sobre diferentes biopolímeros (pectina e concentrado de soro de leite) e óleo essencial de limão, acompanhado do método de coacervação complexa na estabilização de emulsões. Tal levantamento irá expandir o conhecimento e possibilidades de aplicações destas matérias-primas em pesquisas a serem desenvolvidas futuramente, refletindo em soluções e oportunidades que possibilitem atingir nível industrial.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre biopolímeros de resíduos de indústrias alimentícias, em específico os lácteos (WPC) e os cítricos (pectina e o óleo essencial de limão), e sua possível aplicação na estabilização de emulsões pelo método de coacervação complexa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Limão Tahiti

O Limão Tahiti (*Citrus Latifolia Tanaka*) (Figura 1), é um fruto conhecido mundialmente, chegou à Espanha e ao Norte Africano no começo da Idade Média e ao longo dos anos ganhou destaque em toda região mediterrânea. A comercialização dessa fruta nos países europeus e nos Estados Unidos aumentaram devido ao crescente uso do limão fresco a fim de se preparar alimentos e bebidas (ROMERO-BARRERA et al., 2019). Este é utilizado em diversas formulações na indústria, além de ser comercializado no varejo.

Figura 1: Limão Tahiti



Fonte: Autoria própria, 2021

É considerado uma das espécies cítricas de maior importância comercial (COELHO,1993), uma vez que é considerado um fruto tropical de ampla utilização. No Brasil, existem variedades de limas ácidas pertencentes às plantas *Citrus Latifolia Tanaka*, é ampla a produção, resultando em colheitas contínuas durante o ano. Por apresentar maior amplitude de colheita e atender aos consumidores com frutos frescos é de melhor desempenho econômico para os produtores, motivo ao qual se destaca no comércio (COELHO,1993; BRADDOCK, 1999; ORTIZ, 2002).

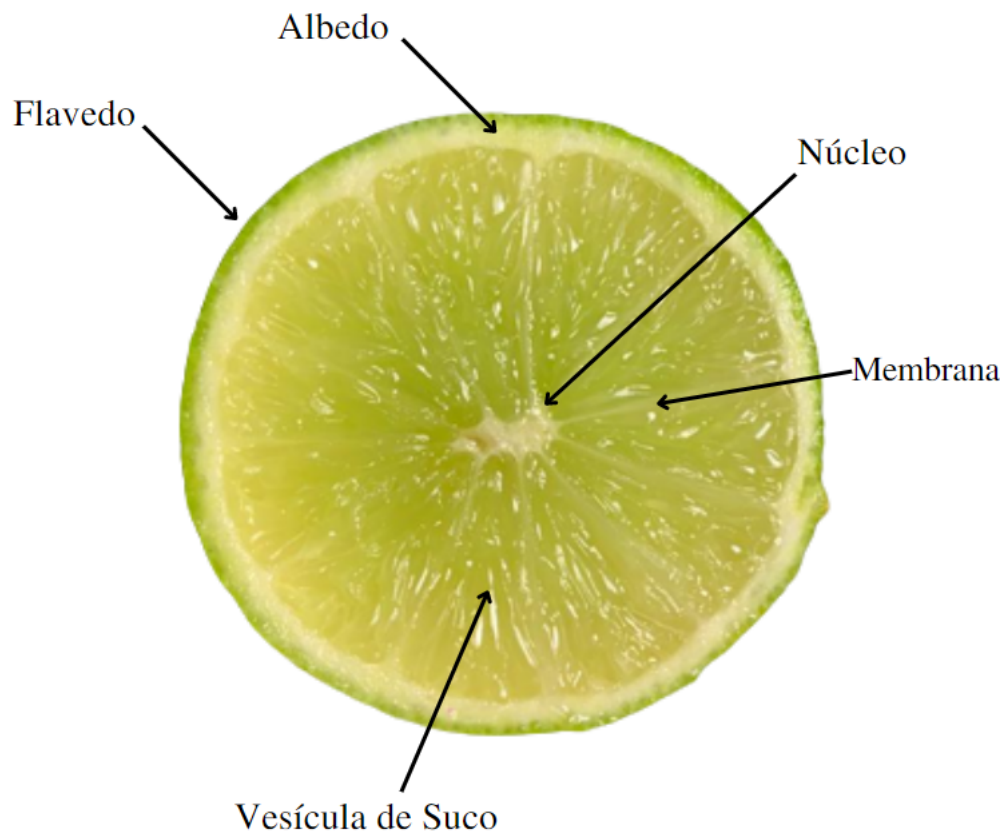
O limoeiro Tahiti é uma planta tropical de rápido crescimento, alcançando de quatro a seis metros de altura, possuindo folhas de tamanho médio e com formato elíptico. É classificado como expansivo, robusto e curvado, além de não possuir espinhos, o que facilita seu manejo (SEBRAE, 2016). A partir do segundo ano de plantio já se inicia a fase produtiva, florescendo e frutificando ao longo do ano, atingindo a produção máxima durante os meses de janeiro e julho, podendo variar de 6 a 21 toneladas/hectare (COELHO, 1993; SEBRAE, 2016). Segundo o SEBRAE (2016), o peso do limão Tahiti é de aproximadamente 170g, e cerca de 45 a 50 % representa o suco do fruto.

O fruto do *Citrus latifolia Tanaka* possui a peculiaridade de ser consumido verde e apresenta três partes morfológicamente diferentes. Possui uma casca fina e uma superfície lisa, e apresenta camadas morfológicamente diferentes (Figura 2). A polpa é espessa e firme envolvida pela casca, denominada como pericarpo. Este é composto pelo flavedo (epicarpo) e o albedo (mesocarpo), onde ambos são facilmente separáveis da polpa (TING; ROUSEFF, 1994). O flavedo é a camada externa da casca, possui em sua composição diversos compostos como celulose, carotenóides, pectina, lignina, hemicelulose, dentre outras substâncias que são responsáveis pela coloração da casca (BRADDOCK, 1999; ORTIZ, 2002). Além disso, é importante ressaltar que é nessa região que contém as glândulas que sintetizam os óleos essenciais (SILVA; FREIRE; FERREIRA, 2015; JARDIM, 2017).

Sob o flavedo encontramos o albedo, que corresponde à porção esponjosa, branca e aderente à casca (SEBRAE, 2016), sendo constituído por lignina, pectina, hemicelulose e celulose (SILVA; FREIRE; FERREIRA, 2015). Além disso, essa parte é uma fonte rica em fibras solúveis, destacando-se a pectina principalmente, uma vez que é comumente utilizada como aditivo espessante em algumas formulações (SILVA; FREIRE; FERREIRA., 2015; GOBATO;

FEDRIGO, 2015). Em relação à polpa do fruto, estão presentes nas vesículas de suco, sendo compostas por hemicelulose e celulose (GOBATO; FEDRIGO, 2015), além de possuir um teor de 20 a 40 mg/100 ml de ácido ascórbico na mesma. Além disso, os frutos não possuem sementes, uma vez que o pólen e as células do óvulo se degeneram durante a multiplicação celular na fecundação, e com isso raramente são encontrados frutos com sementes (SEBRAE, 2016).

Figura 2: Camadas do Limão Tahiti



Fonte: Autoria própria, 2023

O suco do fruto representa um rendimento de 50 % em relação ao peso do fruto, rico em vitamina C, sais minerais e compostos fenólicos, sendo usado de forma abundante na formulação de sorvetes e doces. Além disso, o seu consumo traz benefícios à saúde, reduzindo o risco de doenças cardiovasculares, diabetes, hipertensão arterial e diabetes tipo 2; por atuar

principalmente no aumento da permeabilidade de vasos capilares resultando em maior resistência (GOBATO; FEDRIGO., 2015; HOSSAIN; AL-JABRI, 2016).

3.2 Óleo Essencial de Limão

O óleo essencial, presente nas cascas do *Citrus Latifolia Tanaka*, possui características flavorizantes, sendo ampla as aplicações na indústria farmacêutica e alimentícia, sendo comumente aplicado na formulação de cosméticos, perfumes, detergentes, e usado no controle de insetos e inibição de patógenos, apresentando toxicidade contra alguns fungos (FAIZA et al., 2018; HOSSAIN; AL-JABRI., 2016).

É constituído principalmente de hidrocarbonetos monoterpênicos, os quais são compostos químicos sensíveis a altas temperaturas, luz e a presença de oxigênio, resultando em um desafio para o desenvolvimento e aplicação, uma vez que são degradados durante o processamento de alimentos (HASANI et al., 2018; ROJAS et al., 2020).

São inúmeros os compostos bioativos encontrados no óleo essencial de limão. A quantidade de limoneno, β -pineno e γ -terpineno presente é de 66,57 %, 10,00 % e 9,95 %, respectivamente, sendo possível afirmar que o limoneno é o principal composto bioativo. Além desses, existem outros compostos como sabineno, α -pineno, mirceno e geraniol que estão presentes em uma faixa de 1 a 2 % (GUO, et al., 2018).

Uma vez considerado uma mistura complexa de compostos químicos, ele possui inúmeras propriedades terapêuticas e benefícios para a saúde, e segundo Trucom (2021), o mesmo pode auxiliar na prevenção de hipertensão e diabetes, além de fortalecer o sistema respiratório e digestivo. Podendo, inclusive, ser útil em tratamentos estéticos para o corpo, especialmente para o combate à celulite e para desintoxicar o sistema venoso e linfático. Isso ocorre porque o limoneno, um dos principais componentes do óleo de limão, pode ajudar a quebrar e eliminar gordura do corpo (TRUCOM, 2021).

Além disso, possui propriedades antioxidantes e antivirais, sendo até eficaz no controle de pragas, e caso esteja em emulsão, a sua atividade antimicrobiana é potencializada, levando em consideração a proteção dos compostos bioativos pelo método de emulsificação, além do aumento da área superficial. Sendo satisfatório na conservação e inibição do crescimento de bactérias (AL-JABRI; HOSSAIN., 2018).

De fato, o óleo essencial de limão tem sido objeto de estudos para o desenvolvimento de novas aplicações em inúmeras áreas, inclusive na medicina, devido às suas propriedades antimicrobianas, antifúngicas e antibacterianas (FORNARI et al., 2012). Como exemplo, a aplicação em filmes curativos com propriedades ativas pode proporcionar uma ação efetiva, auxiliando no processo de cicatrização de feridas e prevenindo infecções (PIRES;MOURA, 2017). No entanto, é importante ressaltar que o uso terapêutico do óleo essencial de limão deve ser feito com orientação médica e em doses adequadas para evitar efeitos adversos.

Além disso, como mencionado anteriormente, o óleo essencial de limão demonstra um comportamento positivo quanto à sua atividade antimicrobiana, sendo possível mitigar a deterioração dos alimentos por efeito de bactérias, sendo sugerido como um conservante natural promissor (HUNG et al., 2023). Estudos desenvolvidos por Bazan; Geromel; Fazio (2020), é evidenciado que o OE de limão se mostra eficaz para inibição de *Bacillus cereus*, sendo um dos poucos observados na literatura com essa capacidade, sendo possível sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos.

Segundo Beikzadeh et. al. (2020), foi relatado que os óleos essenciais podem perturbar a fração lipídica das membranas bacterianas e causar alterações na permeabilidade da membrana, resultando no vazamento das macromoléculas biológicas intracelulares. É importante salientar que, o modo de extração empregado pode afetar a quantidade dos principais componentes antimicrobianos presentes (CALO et al., 2015) visto que sua obtenção é possível por meio da prensagem a frio (SAWAMURA et al., 2004; MISHARINA et al., 2010), por fluido supercrítico, por hidrodestilação (ATTI-SANTOS et al., 2005; AL-JABRI et al., 2014; AL-JABRI et al., 2018), dentre outros.

De acordo com estudos desenvolvidos por Moghadam et. al. (2023), a aplicação de nanogéis carregados com óleo essencial de limão, em um filme de goma de semente de manjerição e caseína (CB), trouxe a melhoria das propriedades mecânicas do filme, estabilidade térmica, hidrofobicidade, permeabilidade ao vapor de água e solubilidade em água, além de diminuir ligeiramente a transmissão de luz. É importante considerar que de acordo com os estudos, todos os filmes contendo nanopartículas apresentaram boas propriedades antioxidantes, e tiveram um efeito inibitório contra as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, possuindo potencial para o desenvolvimento de embalagens de alimentos.

Segundo dados referentes ao mercado internacional do consumo de óleo essencial de limão, foram comercializadas aproximadamente 7000 toneladas do produto no ano de 2018, com a aplicação voltada principalmente para indústria de bebidas, e potencialmente incorporada como aromatizante em formulações alimentícias e cosméticas (BIZZO; REZENDE, 2022).

Além disso, é importante considerar que a pandemia da COVID-19 impactou diretamente o mercado internacional, em contrapartida, não trouxe nenhum impacto no mercado de óleo essencial de limão, que por sua vez se manteve, principalmente pela aplicação de inúmeros OE em sanitizantes (BIZZO; REZENDE, 2022). É interessante observar que o óleo essencial de limão apresentou atividade fungitóxica contra alguns fungos fitopatogênicos que afetam a madeira da videira. Isso sugere que o óleo de limão pode ser uma alternativa natural aos fungicidas químicos convencionais (AMMAD et al., 2018). A Tabela 1 apresenta um resumo das publicações envolvendo óleo essencial nos últimos anos.

Tendo em vista as informações ditas anteriormente, para se garantir a aplicação efetiva, se faz necessário o desenvolvimento de tecnologias capazes de garantir a estabilização deste óleo, pois apresenta uso promissor em diversos ramos da indústria (alimentícia, farmacêutica, cosmética, fungicida) (SILVA, 2023).

Nesse mesmo contexto, o microencapsulamento se mostra uma alternativa para a proteção destes compostos bioativos, garantindo que não percam a funcionalidade e se mantenham estáveis durante a aplicação. Além disso, de acordo com Holken et. al. (2015), a eficácia da aplicação depende da estabilidade, bioatividade e biodisponibilidade destes compostos.

Tabela 1: Estudos avaliando a aplicação do óleo essencial de limão em diferentes contextos e pesquisas

Componentes	Métodos Utilizados	Variáveis do Processo	Resultados	Referências
Óleo essencial de limão, Caseína, Goma de semente de manjeriço	Análise Termogravimétrica (TGA); Análise FTIR	Teor de Umidade; Permeabilidade ao vapor de água (WVP); pH; Temperatura	Melhoria das propriedades mecânicas do filme, estabilidade térmica, hidrofobicidade, permeabilidade ao vapor de água e solubilidade em água, e diminuição da transmissão de luz	MOGHADAM et al., (2023)
Mucilagem de Sementes e Óleos essenciais	Método de Difusão em disco	pH; Temperatura; Umidade; Cinzas; Concentração	Podem perturbar a fração lipídica das membranas bacterianas e causar alterações na permeabilidade da membrana, resultando no vazamento das macromoléculas biológicas intracelulares	BEIKZADEH (2020)
Óleo essencial de Laranja e Limão	Método de Difusão em disco	Temperatura; Intervalo de tempo; Concentração	Inibição de <i>Bacillus cereus</i>	BAZAN; GEROMEL; FAZIO (2020)
Óleo essencial de limão, copaíba, melaleuca, Alginato de Sódio	Microscopia Eletrônica de Varredura; Análise WVP	Velocidade de Agitação; Permeabilidade ao vapor de água (WVP); Concentração;	Ação efetiva, auxiliando no processo de cicatrização de feridas e prevenir infecções quando aplicado no desenvolvimento de curativos.	PIRES;MOURA, (2017)

Camarão, Óleo essencial de limão	Contagem de Bactérias em placa	Intervalo de Tempo; Temperatura	Inibição do crescimento de bactérias no armazenamento do camarão	HUNG et al., (2023)
Óleo essencial de limão, Extrato <i>S.mutans</i> , Limoneno, polifenóis de chá	Contagem de Bactérias	pH; Temperatura; Proporção da suspensão de bactéria	Inibição de bactérias ácido tolerantes e formação de biofilmes para prevenção de cáries	SUN et al., 2018.
Óleo essencial de limão, Dextrose de Batata	Cromatografia gasosa e Difusão em Disco	Concentração, Temperatura e Intervalo de tempo	Inibição do crescimento de fungos fitopatogênicos	AMMAD et al., 2018.
Óleo essencial de limão idiano e turco	Cromatografia gasosa e Difusão em Disco	Concentração, Temperatura e Intervalo de tempo	Identificação de 22 componentes bioativos com diferentes porcentagens, sendo o principal no óleo turco o DL-limoneno. Além de mostrar que o OE nem sempre possui atividade antimicrobiana, dependendo da composição química, o óleo pode ser usado em novos sistemas de preservação de alimentos.	ALL-JABRI E HOSSAIN 2014.

Fonte: Autoria própria, 2023

3.3 Pectina

As pectinas podem ser extraídas de subprodutos industriais, vegetais e sementes. Além disso, é possível mencionar a extração a partir de cascas de frutas, como melancia (GUO et al., 2021), abacaxi (RODSAMRAN *et al.*, 2019a), limão (RODSAMRAN *et al.*, 2019b) e maçã.

Ao longo dos últimos anos ocorreu um grande aumento no interesse de pesquisa com a pectina, isso devido à sua aplicação como agente geleificante, estabilizante, ou texturizante em alimentos (McCLEMENTS, 2007; ALBANO e NICOLETTI, 2018). As pectinas são fibras alimentares, sendo um componente importante na parede celular de plantas, podendo ser caracterizadas como polissacarídeos excepcionais (GUEVARA, 2020). Além disso, cerca de 30 % são constituintes da parede celular de plantas dicotiledôneas, no entanto, as pectinas mostram bastante diversidade de acordo com o seu tecido botânico de origem (ZSIVANOVITS et al., 2004).

É importante frisar que estas se destacam por possuírem caráter hidrofílico, e apresentarem a capacidade de formar géis, além de serem facilmente obtidas, uma vez que são extraídas de subprodutos ou produtos de fácil acesso (SABATER et al., 2019).

Além disso, é válido ressaltar que quando se observa os géis de pectina, estes são vistos como sistemas híbridos de duas fases, possuindo alto grau de interface entre o sistema contínuo e a fase aquosa aprisionada (FERNANDES, 2016) . Essas moléculas atuam majoritariamente na formação de gel, sendo fundamental a caracterização do comportamento reológico destas a fim de se garantir uma modelagem do processo favorável (PEREIRA, 2020).

Dentre as propriedades dos polissacarídeos, o comportamento reológico é de extrema importância na avaliação e modelagem do processo, pois indica a relação da estrutura do sistema com os resultados desejados (PEREIRA, 2020). De acordo com Albano; Nicoletti (2017), com o aumento da concentração de pectina e da temperatura observa-se um aumento da pseudoplasticidade, onde a viscosidade diminui com o aumento da tensão de deformação.

Tendo isso em vista, as pectinas apresentam comportamento Newtoniano, em soluções diluídas, no entanto, em concentrações moderadas mostram um comportamento não Newtoniano, géis pseudoplásticos (ALBANO; NICOLETTI, 2017). Diversos fatores influenciam na formação de gel, como o comprimento da cadeia e a natureza química das zonas de conexão (PEREIRA, 2020).

As pectinas se diferem em função do grau de metoxilação, onde as que apresentam teor acima de 50 % (ATM), formam gel após aquecimento em um teor mínimo de solução de açúcar e pH abaixo de 3,5. Já as pectinas de baixo teor de metoxilação, (BTM), abaixo de 50 %, necessitam a presença de íons cálcio, ou seja, um aumento na concentração de cálcio resulta em uma temperatura de gelificação maior e aumento na força do gel, até o ponto onde ocorre uma pré-gelatinização, isto é, a temperatura de gelificação fica perto do ponto de ebulição. (OLIVEIRA, 2019).

A grande visibilidade e interesse de estudos da pectina está atrelado aos seus benefícios e a importância de aplicação em alguns processos. Isto é, evidências aferem que esta reduz níveis plasmáticos de colesterol, regula a glicose sanguínea, lipoproteínas, e ácidos biliares (VILCANQUI-PÉREZ; VÍLCHEZ-PERALES, 2017), além de ser amplamente aplicada na produção de gomas, geleias e produtos lácteos (RODRIGUES, 2015). Ademais, nos últimos anos estudos apontaram a pectina como um biopolímero potencialmente aplicado no desenvolvimento de biofilmes.

Diante do cenário de desenvolvimento de embalagens biosustentáveis, Norcino; Mendes; Natarelli; Manrich; Oliveira; Mattoso. (2020) traz que filmes de pectina, carregados com nanoemulsão com óleo essencial de copaíba, apresentam potencial para aplicação como embalagens ativas em alimentos, reduzindo principalmente os impactos ambientais. Além disso, no estudo em questão, análises microbiológicas foram desenvolvidas, comprovando que os filmes que possuem a adição de nanoemulsão nos filmes de pectina apresentam propriedades antimicrobianas contra *E. coli* e *S. aureus*.

Segundo Pereira (2020), a microencapsulação com a utilização de pectina de alta metoxilação, pelo método de coacervação complexa, permite a formação de uma camada semipermeável nas microcápsulas, resultando em uma retenção eficaz de voláteis na matriz proteína-pectina.

Em contrapartida, dado o cenário da utilização da pectina no processo de nanoencapsulamento, de acordo com resultados obtidos por Ghasemi; Jafari; Assadpour; Khomeini (2018), a pectina de baixa metoxilação aplicada no encapsulamento do D-limoneno, apresentou resultados promissores, com 88 % de eficiência na encapsulação.

3.4 Concentrado proteico do soro de leite (WPC)

O soro de leite é classificado como um produto líquido que contém de 4 a 6 gramas de proteínas por litro (CONCEIÇÃO, 2020), sendo um subproduto de grande notoriedade na indústria. Isso porque apresenta proteínas, gorduras, sais, e açúcares que possuem inúmeras propriedades nutricionais benéficas para o organismo (CONCEIÇÃO, 2020). Através deste, é possível se obter o soro em pó, a lactose, o concentrado proteico (WPC) e o isolado proteico (WPI) (JIANG et al., 2018).

As principais proteínas encontradas no soro de leite, que são as mais importantes para as propriedades funcionais na maioria das aplicações alimentares, são as β -lactoglobulina (50-60 %) e as α -lactoalbumina (15-25 %) (CONCEIÇÃO, 2020), conferindo propriedades de géis e garantindo o transporte e ligação de cálcio, respectivamente (FELIX, 2017).

Além disso, em sua composição encontra-se também albumina do soro bovino (BSA) (6 %), a qual possui propriedades aglutinantes de gordura; lactoferrina (3 %) e imunoglobulinas (10 %), as quais são benéficas no aumento da imunidade (CONCEIÇÃO, 2020). É importante frisar que, segundo Pinheiro; Penna (2008), em condições específicas, as proteínas de soro são capazes de formar géis não reversíveis, estes capazes de aprisionar água e compostos não protéicos, garantindo propriedades funcionais capazes de auxiliar na formulação de produtos com teor reduzido de gordura.

O WPC é classificado como um produto lácteo, o qual apresenta um teor proteico de 35 a 89 %, possuindo alto valor nutricional e propriedades funcionais únicas. Este pode ser obtido através de ultrafiltração, diafiltração e evaporação térmica (spray dryer) principalmente, sendo o segundo um dos métodos aplicados na obtenção de um concentrado mais purificado, e com maior valor agregado (BECKER, 2020). É importante considerar que a diafiltração é um processo de separação e purificação, ocorrendo através da adição de um solvente, de menor peso molecular, com o objetivo de purificar o concentrado, e até aumentar a recuperação do componente (MOSSMANN; VIGANÓ; BARBOSA, 2020).

As proteínas do soro possuem capacidade de emulsificação, uma vez que se demonstraram capazes de produzir espumas estáveis, bem como garantiram a proteção de compostos bioativos sensíveis (SANTANA et al., 2022). Além disso, a estabilidade de emulsões à base de proteína de soro do leite pode ser potencializada pela adição de polissacarídeos ou pelo

aumento da temperatura, uma vez que induz a gelificação das proteínas (ALBANO, 2017; PINHEIRO, PINHEIRO; PENNA, 2008).

A proteína do soro de leite concentrada (WPC) demonstrou comportamento promissor na microencapsulação de pectina contendo probiótico, isso porque, segundo Santana; Machado; Stamford; Montenegro (2022) as multicamadas de WPC se demonstraram eficazes para promover maior proteção e viabilidade à nanoencapsulação. Além disso, traz que a aplicação da proteína do soro se demonstra eficaz no aumento das partículas e diminuição no teor de umidade das partículas.

A aplicação do WPC como ingrediente é visto como uma perspectiva futura, frente às tecnologias observadas no mercado ao longo dos anos, sendo necessário avaliar qual propriedade se deseja obter no produto final, tendo em vista a infinidade de aplicações (LUPK et al., 2019). Como exemplo, em produtos lácteos o concentrado proteico traz inúmeras propriedades funcionais (LUPK et al., 2019), garantindo retenção de água, emulsificação, gelificação e estabilidade térmica.

Albano e Telis (2018) avaliaram a aplicação de WPC e pectina na estabilização de emulsões com óleo de soja e encontraram sistemas estáveis ao longo dos dias com forte tendência ao comportamento newtoniano. Albano (2017) também avaliou essa mesma fonte proteica com alginato de sódio e os resultados foram totalmente distintos, comportamento pseudoplástico, com sistemas instáveis e fases com baixa fase aquosa o que pode propiciar sistemas para microencapsulação. Tais resultados mostram as diferentes possibilidades que o WPC possibilita e suas distintas aplicações

Ainda, Meléndez (2020) examinou o comportamento e a interação do WPC em soluções aquosas de Goma Tara e foi observado o aumento na viscosidade, demonstrando a capacidade de estabilizar soluções com a presença de proteínas do leite. Nesse cenário, sendo indicada para a aplicação do preparo de produtos derivados do leite.

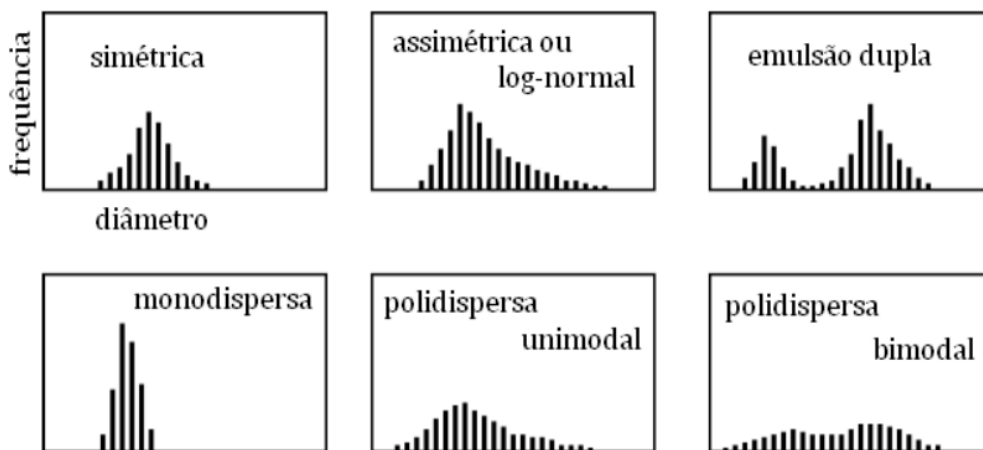
3.5 Emulsões: conceitos e comportamento reológico

Segundo Lima (2022), emulsões são classificadas como sistemas heterogêneos constituídos por dois líquidos imiscíveis, fases dispersa e contínua, completamente difundidas uma na outra, possuindo certo grau de imiscibilidade entre ambas. Outros autores definem emulsão como uma dispersão coloidal de um determinado líquido em outro, apresentando

determinado grau de imiscibilidade entre si na forma de gotículas de diâmetros maiores que 0,1 μm (micrômetro) (MACEDO, 2018). Outros ainda dizem que estes sistemas possuem baixa estabilidade termodinâmica, e configuração polar e apolar, isto é, apresentam uma fase fragmentada dentro de uma fase líquida (McCLEMENTS, 2007; ALBANO; NICOLETTI, 2018).

A fase dispersa possui gotas que apresentam diâmetro geral superior a 0,1 μm , apesar de se encontrar partículas com diâmetros pequenos, perto de 0,01, e grandes próximo à 100 μm (MCCLEMENTS, 1999; MCCLEMENTS, 2007). Dado esse cenário, o tamanho de gotas de uma emulsão é a segunda maior forma de caracterização, e representa um forte impacto em sua estabilidade (MCCLEMENTS, 1999; MCCLEMENTS, 2007; ALMEIDA, 2014). Ainda, segundo McClements (1999), quando olha-se exclusivamente para emulsões em alimentos, o tamanho das gotas de uma emulsão pode impactar no sensorial do produto. Estas, podem ser distribuídas e classificadas seguindo o seu tamanho, utilizando o método de distribuição de tamanho de gotas (DTG), o qual trás a visão estatística da fragmentação da fase dispersa, onde a distribuição de frequência é feita em volume (ALMEIDA, 2014), como mostra a Figura 3.

Figura 3: Distribuição de tamanho de gotas



Fonte: ALMEIDA, 2014

As emulsões estão sendo destaque nos últimos anos, isso porque com os avanços tecnológicos, vêm sendo possível obter-se estabilidade dos sistemas dispersos, garantindo que

novas tecnologias sejam empregadas viabilizando o desenvolvimento de sistemas emulsionados diferenciados (OLIVEIRA, 2017).

Dessa forma, conhecer o comportamento reológico de sistemas emulsionados é de suma importância, pois está diretamente relacionado com a vida de prateleira do produto, formulação, desenvolvimento e projetos de engenharia destes sistemas. É fundamental distinguir a estabilidade termodinâmica da estabilidade cinética de uma emulsão, isto é, a primeira indica se ocorrerá separação de fases na emulsão, já a segunda determina em quanto tempo essa separação irá ocorrer, sendo de extrema importância no desenvolvimento de alimentos que retêm suas propriedades desejáveis por longos períodos sob diferentes condições ambientais (MELÉNDEZ, 2020; COUTO, 2014). É importante salientar que a instabilidade termodinâmica é um fator, devido a forma de obtenção ser contra o princípio de equilíbrio da energia de Gibbs, enquanto a cinética é uma consequência na qual pode-se inferir com diferentes estratégias de estabilização (LIMA, 2022).

Segundo Rezende, Coelho, Costa (2021) é possível considerar que em emulsões que possuem gotículas menores, a vida de prateleira é maior por possuir maior estabilidade cinética, em contrapartida as que possuem gotas maiores acabam possuindo menor perecibilidade, uma vez que possuem área interfacial maior (COUTO, 2014).

De acordo com Albano, Cavallieri, Nicoletti (2020), ao analisar o comportamento reológico de emulsões em diferentes proporções de SPI e pectina com aplicação de ultrassom, observou-se que as emulsões com menor teor proteico demonstraram comportamento reológico newtoniano, se mantendo estáveis durante sete dias. No entanto, o aumento do teor de proteína resultou em um comportamento pseudoplástico e separação das fases.

Para aplicação desses biopolímeros na obtenção de emulsões estáveis, diversos métodos podem ser utilizados como: a gelificação iônica (ARANHA, 2015), emulsões de Pickering (BENETTI; DO PRADO SILVA e NICOLETTI, 2019) e a coacervação complexa (SILVA et al, 2015). Esta última é ocasionada pela interação eletrostática entre biopolímeros de cargas opostas, normalmente uma proteína e um polissacarídeo, em um pH que possuam cargas opostas, gerando a formação de complexos (SILVA et al, 2015; ALBANO, 2017). Muitos estudos são feitos quanto ao impacto da estabilização de uma emulsão por este método, que depende do pH da solução, temperatura, concentração de biopolímeros, dentre outros fatores que influenciam na interação eletrostática (ALBANO, NICOLETTI, 2017) e consequentemente no comportamento

reológico de tais sistemas. Ademais, é válido ressaltar que a interação entre proteínas e polissacarídeos melhora a estabilidade das emulsões através do complexo interfacial entre hidrocolóides e as proteínas (NG *et al.*, 2017)

3.6 Coacervação Complexa

A coacervação complexa é uma técnica de encapsulamento, que ocorre quando biopolímeros eletrostaticamente opostos são submetidos a condições específicas, os quais produzem agregados que se depositam no óleo. Assim, iniciam interações eletrostáticas, atuam forças de Van der Waals e interações de caráter hidrofóbicas, onde se forma um revestimento ao redor das gotículas do agente ativo na solução (BARROSO *et al.*, 2021).

O processo de coacervação complexa é particularmente adequado quando o objetivo é estabilizar emulsões e controlar a liberação do agente ativo, porque esse processo protege completamente o material ativo dentro do material da parede e produz uma cápsula verdadeira quando encapsulado (SANTOS *et al.*, 2015), além de ser um método simples e de baixo custo (SUAVE *et al.*, 2006; BANSODE *et al.*, 2010). Como exemplo, tem-se as proteínas e os polissacarídeos que são aplicados amplamente na indústria de alimentos, vistos como alternativa, já que a maioria desses compostos são provenientes de fontes naturais, sendo seguro sua aplicação em alimentos (BANSODE *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2015).

Este método, comparando com outras técnicas de encapsulamento, é capaz de produzir micropartículas com maior eficiência de microencapsulação, utilizando alta carga de núcleo e baixa concentração de material (MORETTI *et al.*, 2020). Ademais, a coacervação vem ganhando espaço nas indústrias farmacêuticas e alimentícias nos últimos anos, isso devido à praticidade de aplicação desse método (BANSODE *et al.*, 2010).

É classificada como uma técnica usada principalmente na encapsulação de materiais lipídicos e protéicos (ALBANO; NICOLETTI, 2017), formando uma camada de proteção e posteriormente convertidos em pó, permitindo ser facilmente aplicados em escala industrial. A combinação mais aplicada com este método é a interação proteína-polissacarídeos devido ao impacto do controle da estrutura dos alimentos e biomateriais (MIRANDA *et al.*, 2020), porém, é possível desenvolver a coacervação complexa com outros biopolímeros (SANTOS *et al.*, 2015).

Este método já foi testado com algumas proteínas vegetais, como lentilha-goma arábica (ARYEE; NICKERSON, 2012); soja-quitosana (DU et al., 2018) e ervilha-polissacarídeos pécnicos comerciais (WARNAKULASURIYA et al., 2018). Tais estudos apontaram resultados positivos, em contrapartida não foi possível confirmar mudanças na estrutura das proteínas, levando em consideração que o método de extração pode impactar consideravelmente a reação de interação (MIRANDA *et al.*, 2020).

Proteínas são moléculas anfífilas capazes de adsorver na interface óleo-água sendo amplamente utilizadas como emulsionantes. As moléculas de proteína adsorvida são capazes de estabilizar emulsões, impedindo a agregação e coalescência de gotas através de forças de repulsão eletrostática e/ou impedimentos estéricos (McCLEMENTS, 1999a; McCLEMENTS 1999b;). No entanto, elas têm limitações como no seu ponto isoelétrico, sendo um desafio para alimentos ácidos, nas quais as moléculas de proteína têm uma carga líquida zero e, a menos que a espessura da camada adsorvida seja suficientemente grande, a agregação das gotículas ocorrerá (EVANS; RATCLIFFE; WILLIAMS, 2013).

Para evitar a agregação de gotículas ou outros eventos de desestabilização, podem ser adicionados polissacarídeos para estabelecer uma interação associativa com a camada de proteína estabilizadora após a formação da emulsão.

Polissacarídeos são moléculas hidrofílicas, com atividade superficial pouco significativa, e conseqüentemente, com baixa capacidade de emulsificante, no entanto são considerados bons agentes estabilizantes. A alta massa molecular e capacidade gelificante leva a formação de uma barreira macromolecular no meio aquoso entre as gotas dispersas, resultando na estabilização das emulsões através do aumento da viscosidade da fase aquosa, impedindo o movimento das gotas (EVANS; RATCLIFFE; WILLIAMS, 2013; McCLEMENTS, 1999a; McCLEMENTS 1999b;)

De acordo com Marfil (2014), é crucial que a preparação dos coacervados ocorra sob condições apropriadas, visando a faixa ótima da mistura, isto é, abaixo ou acima dessa faixa o rendimento dos coacervados diminui consideravelmente. Ademais, a estrutura dos polissacarídeos possui um efeito crucial na capacidade de gelificação ou até do coacervado formado.

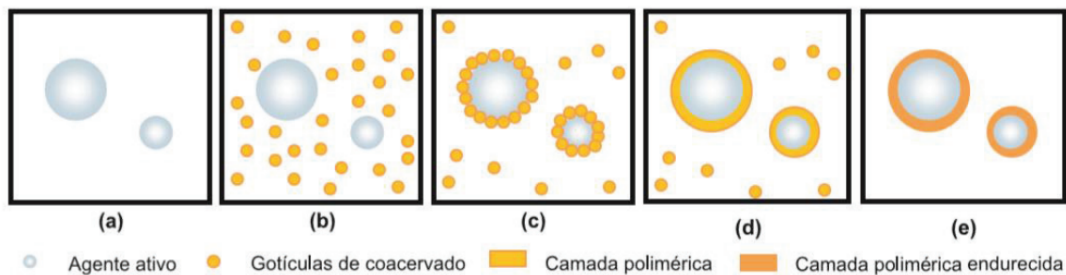
A técnica de coacervação complexa é utilizada para encapsulação de óleos, demonstrando altos rendimentos de encapsulação (acima de 80 %) (MIRANDA *et al.*, 2020), sendo aplicados

pares de biopolímeros de gelatina-pectina (SILVA et al., 2011) e proteína do soro de leite-pectina (GHASEMI et al., 2017), dentre outras combinações de biopolímeros.

De forma resumida, o processo de coacervação complexa segue as seguintes etapas (SILVA et al., 2011) (Figura 3):

- Dispersão do agente ativo que será encapsulado na solução do biopolímero;
- É realizada a indução da coacervação
- Deposição das partículas em torno do núcleo que contém o princípio ativo;
- Coalescência das partículas para formação da camada polimérica;
- Início da difusão do solvente para garantir o endurecimento da camada polimérica, seja por mudança de temperatura ou adição de um agente reticulante

Figura 4: Representação esquemática das etapas do processo de microencapsulação por coacervação complexa



Fonte: SUAVE et al., 2006

4. CONCLUSÕES

Esta revisão bibliográfica constatou que nos últimos anos as indústrias têm aproveitado biopolímeros oriundos de resíduos agroindustriais, no caso, o WPC, a pectina e o óleo essencial de limão, gerando inclusive produtos de valor agregado. É possível considerar que os estudos tem proporcionando diferentes aplicações na indústria, além de mitigar o seu reaproveitamento. Assim, a valorização dos resíduos agroindustriais pode representar uma oportunidade de agregar valor e contribuir para a economia circular, em que os resíduos são reaproveitados em novos produtos e processos.

É válido considerar que o OE de limão possui inúmeros benefícios, contudo, a qualidade do mesmo é um fator crítico para sua aplicação em diferentes indústrias. A composição química pode variar dependendo da região geográfica, das condições climáticas e do método de extração utilizado. Portanto, a qualidade e composição química do óleo essencial de limão são fatores importantes que devem ser considerados em sua aplicação em diferentes indústrias e áreas de pesquisa.

Embora existam vários estudos sobre a interação de WPC e pectina, há muito a se explorar sobre o composto bioativo a ser encapsulado com essa matriz uma vez que características físicas e químicas do composto bioativo também irão afetar a interação desses biopolímeros. Dado esse contexto, a aplicação do método de coacervação complexa no sistema WPC:PEC se mostra altamente promissor para gerar emulsões estáveis com o óleo essencial de limão e o estudo acerca destas substituições é de extrema importância, visando principalmente entender o comportamento de interação entre diversos compostos.

Em um possível cenário a qual as pesquisas e literatura avancem, sugere-se aprofundar e explorar os efeitos e benefícios a longo prazo desse recurso com diferentes matérias-primas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-JABRI, N. N; HOSSAIN, M. A. Chemical composition and antimicrobial potency of locally grown lemon essential oil against selected bacterial strains. **Journal of King Saud University-Science**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 14-20, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364716303032>. Acesso em: 29 fev. 2023.

AL-JABRI, N. N; HOSSAIN, M. A. Chemical composition and antimicrobial potency of locally grown lemon essential oil against selected bacterial strains. **Journal of King Saud University-Science**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 14-20, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364716303032>. Acesso em: 29 jan. 2023.

AL-JABRI, N. N; HOSSAIN, M. A. Comparative chemical composition and antimicrobial activity study of essential oils from two imported lemon fruits samples against pathogenic bacteria. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 247-253, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2314853514000626> . Acesso em: 29 jan. 2023.

ALBANO, K. M. **Sistemas complexos de baixo teor de lipídeos estabilizados pela interação eletrostática entre biopolímeros com aplicação de ultrassom ou alta pressão**. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de São José do Rio Preto, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/151744>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ALBANO, K. M.; CAVALLIERI, A. L. F.; NICOLETTI, V. R. Electrostatic interaction between soy proteins and pectin in o/w emulsions stabilization by ultrasound application. **Food Biophysics**, 2020. NO PRELO

ALBANO, K. M; CAVALLIERI, . L. F; NICOLETTI, V. R. Electrostatic interaction between proteins and polysaccharides: Physicochemical aspects and applications in emulsion stabilization. **Food Reviews International**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 54-89, 2019. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87559129.2018.1467442?casa_token=--AADmb2pF0AAAAA%3A2OZjL2vq-0WBuIrvOU7UupkP15vF8anDU1By3GSIXI4JoNDYnyN537r8vaYdIBgeXXkSC5AQzdSs0w6H. Acesso em: 15 dez. 2022.

ALBANO, K. M; NICOLETTI, V. R. Ultrasound impact on whey protein concentrate-pectin complexes and in the O/W emulsions with low oil soybean content stabilization. **Ultrasonics Sonochemistry**, [s. l.], v. 41, p. 562-571, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417717304893>. Acesso em: 25 mar. 2022.

ALBANO, M. K.; CAVALLIERI, F. L. A; NICOLETTI, R. V. Electrostatic Interaction between soy proteins and pectin in O/W emulsions stabilization by ultrasound application. **Food Biophysics**, v. 15, p. 297-312, 2020.

ALENCAR, V. D. N. S. et al. Resíduos Agroindustriais: Uma Alternativa Promissora e Sustentável na Produção de Enzimas Por Microrganismos Agro-Industrial. In: Ayrton Matheus da Silva NASCIMENTO, M. S; SOUZA, I. B. SANTOS, R. R. (org.). **Ciência, Tecnologia e Inovação: do campo à mesa**, Recife: IIDV, 2020. p. 482-498. (v. 31)

ALEXANDRINO, A. M. et al. Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotus ostreatus* (Jack: Fr). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 27, n. 27(2), p. 364-368, abr.-jun. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/qNtCfR3rNx8h4WCSKsBgJxp/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 30 mar. 2022.

ALMEIDA, L. M. de. **Estabilidade de emulsões de água-em-óleo na presença de campo elétrico externo**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Engenharia Química, Área de concentração: Engenharia Química , Viçosa, 2020. Disponível em: <http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/2014-1/270-estabilidade-de-e-emulsoes-de-agua-em-oleo-na-presenca-de-campo-eletrico-externo/file> Acesso em: 18 jan. 2023.

ALVES, M. P. et al. Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 69, n. 3, p. 212-226, mai/jun, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/2238-6416.v69i3.341>. Acesso em: 12 jan. 2023.

AMMAD, F. et al. The potency of lemon (*Citrus limon* L.) essential oil to control some fungal diseases of grapevine wood. **Comptes rendus biologies**, [s. l.], v. 341, n. 2, p. 97-101, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069118300052>. Acesso em: 14 ago. 2022.

AMMAD, F. et al. The potency of lemon (*Citrus limon* L.) essential oil to control some fungal diseases of grapevine wood. **Comptes rendus biologies**, [S. l.], v. 341, n. 2, p. 97-101, 2018. Disponvel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069118300052>. Acesso em: 04 jun. 2022.

ARANHA, M. P. C. **Microencapsulação por gelificação iônica e interação eletrostática do corante de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.)**. 2015. Dissertação (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Alimentos, Área de concentração: Engenharia de Alimentos , São José do Rio Preto, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/127991/000845515.pdf?sequence=1&isAlloved=y> Acesso em: 18 jan. 2023.

ARYEE, F. N. A; NICKERSON, M. T. Formation of electrostatic complexes involving mixtures of lentil protein isolates and gum Arabic polysaccharides. **Food Research International**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 520-527, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996912001755>. Acesso em: 12 fev. 2022.

ATTI-SANTOS, A. C. et al. Extraction of essential oils from lime (*Citrus latifolia* Tanaka) by hydrodistillation and supercritical carbon dioxide. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s. l.], v. 48, p. 155-160, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/tgCncXFsf3RJbVRwbPV9Bmx/abstract/?lang=en>. Acesso em: 30 jan. 2021.

BAJPAI, V. K; RAHMAN, A; KANG, S. C. Chemical composition and inhibitory parameters of essential oil and extracts of *Nandina domestica* Thunb. to control food-borne pathogenic and spoilage bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 125, n. 2, p. 117-122, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160508001335>. Acesso em: 25 jan. 2021.

BANSODE, S.S et al. Microencapsulation: a review. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, v. 1, p. 38-43, 2010.

BARRETO, P. L. M. **Microencapsulação de vitamina D3 em matriz de proteína isolada de soro de leite**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/169215?show=full>. Acesso em: 18 mar. 2022.

BARROSO, T. L. C. T. et al. Encapsulation technology in the food area: A review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 7, p. 1-27, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16240>. Acesso em: 07 mar. 2022.

BECKER, J. et al. Obtenção e Caracterização de Concentrado Proteico de Soro de Leite Em Pó. **Vivências**, v. 16, n. 31, p. 75-88, 2020. *Revista Vivências*, Erechim, v. 16, n. 31, p. 75-88, jul./dez. 2020. Disponível em: <http://revistas.uri.br/index.php/vivencias/article/view/172>. Acesso em: 04 mar. 2021.

BEIKZADEH, S. et al. Seed mucilages as the functional ingredients for biodegradable films and edible coatings in the food industry. **Advances in colloid and interface science**, [S. l.], v. 280, p. 102164, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868620300749>. Acesso em: 13 jun. 2022.

BENETTI, M. V. J.; DO PRADO SILVA, T. J ; NICOLETTI, R. V.. SPI microgels applied to Pickering stabilization of O/W emulsions by ultrasound and high-pressure homogenization: rheology and spray drying. **Food Research International**, v. 122, p. 383-391, 2019.

BIZZO, H. R; REZENDE, C. M. O Mercado de Óleos Essenciais no Brasil e no Mundo na Última Década. **Química Nova**, [S. l.], v. 45, n. 08, p. 949-958, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/6kPQ6NvhMW65Z4JNrtgYGph/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 jul. 2022.

BRADDOCK, R. J. **Handbook of citrus by-products and processing technology**. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1999.

BRITO, K.D. et al. Estudo experimental do limão Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka): composição físico-química e de minerais da polpa in natura e do resíduo albedo. **Divulgação científica e tecnológica do IFPB**. João Pessoa, v. 1, p.64-70, fev. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321992112_Estudo_experimental_do_limao_Tahiti_Citrus_latifolia_Tanaka_composicao_fisico-quimica_e_de_minerais_da_polpa_in_natura_e_do_residuo_albedo. Acesso em: 15 jun. 2022.

CALO, J. R. et al. Essential oils as antimicrobials in food systems—A review. **Food control**, [s. l.], v. 54, p. 111-119, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713515000456>. Acesso em: 15 jun. 2022.

COELHO, Y. S. Lima ácida “Tahiti” para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1993. (Embrapa-SPI. Publicações Técnicas FrupeX, 1).

CONCEIÇÃO, R. A. **Efeitos do concentrado protéico de soro de leite adicionado de curcumina no controle metabólico, inflamação e estresse oxidativo em ratos Wistar submetidos a exercício exaustivo**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Pós-graduação em Ciências da Nutrição, Área de concentração: Nutrição e Saúde, Viçosa, 2020. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/27780/1/texto%20completo.pdf> Acesso em: 18 jan. 2023.

CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2., 2017. Desenvolvimento do Campo: A Ciência e Tecnologia a Serviço da Sustentabilidade. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos**. Natal: Programa internacional Despertando Vocações Ciências Agrárias, dez. 2017. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2018/02/APROVEITAMENTO-DE-RES%20C%3%8DDUOS-AGROINDUSTRIAIS-NA-ELABORA%20C%3%87%20C%3%83O-DE-SUBPRODUTO-S.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2022.

COUTO, M. I. P. B. **Avaliação estrutural e reológica de emulsões preparadas com óleo de *Dipterix Alata* Vog. (Baru), estabilizadas com goma arábica e quitosana**. 2014. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Goiânia, Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Alimentos, Área de concentração: Engenharia de Alimentos, Goiânia, 2014.

DA COSTA, J. C. M. et al. Desenvolvimento de microcápsulas de óleo de andiroba (*carapa guianensis*) por coacervação complexa em matrizes de goma arábica/gelatina e alginato/gelatina. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 11, p.93372-93382, nov. 2020.

DA SILVA, B. R. F. et al. Characterization of Rosewood and Cinnamon Cassia essential oil polymeric capsules: Stability, loading efficiency, release rate and antimicrobial properties. **Food Control**, [S. l.], v. 121, p. 107605, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713520305211>. Acesso em: 06 jun. 2022.

DEVI, N. et al. Encapsulation of active ingredients in polysaccharide–protein complex coacervates. **Advances in colloid and interface science**, [S. l.], v. 239, p. 136-145, 2017.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868616300446>. Acesso em: 14 jun. 2022.

DU, Y. et al. Effect of high coacervation temperature on the physicochemical properties of resultant microcapsules through induction of Maillard reaction between soybean protein isolate and chitosan. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 234, p. 91-97, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877418301754>. Acesso em: 24 jun. 2022.

EVANS, M.; RATCLIFFE, I.; WILLIAMS, P.A.; Emulsion stabilisation using polysaccharide–protein complexes. **Current Opinion in Colloid & Interface Science** v. 18, p. 272–282, 2013.

FAZIO, M. L. S; BAZAN, J. R; GEROMEL, M. R. Ação de Óleos Essenciais Cítricos Sobre Algumas Bactérias. **Revista InterCiência-IMES Catanduva**, Catanduva, v.1, nº4, julho 2020. Disponível em: <https://www.fafica.br/revista/index.php/interciencia/article/view/126>. Acesso em: 07 mar. 2022.

FELIX, P. H. C. **Microencapsulação de Óleo Essencial de Limão (Citrus Aurantifolia): Emulsões e Estudo das Propriedades Físicoquímicas**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/13314>. Acesso em: 08 jun. 2022.

FORNARI, T. et al. Isolation of essential oil from different plants and herbs by supercritical fluid extraction. **Journal of Chromatography A**, [S. l.], v. 1250, p. 34-48, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967312006437>. Acesso em: 09 jun. 2022.

FRATIANNI, F. et al. Preservation of chicken breast meat treated with thyme and balm essential oils. **Journal of food science**, [S. l.], v. 75, n. 8, p. 528-535, 2010. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1750-3841.2010.01791.x> .Acesso em: 12 jun. 2022.

FREITAS, M. L. F; ALBANO, K. M; TELIS, V. R. N. Characterization of biopolymers and soy protein isolate-high-methoxyl pectin complex. **Polímeros**, [S. l.], v. 27, p. 62-67, 2017. Disponível em <https://www.scielo.br/j/po/a/HBwBWHRQ6LKTVDrgCLXh6Ch/?format=html&lang=en>. Acesso em: 21 mar. 2022.

GHASEMI, S. et al. Nanoencapsulation of d-limonene within nanocarriers produced by pectin-whey protein complexes. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 77, p. 152-162, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X17313966>. Acesso em: 29 mar. 2022.

GIRARDI, N. S. et al. Microencapsulation of Peumus boldus essential oil and its impact on peanut seed quality preservation. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 114, p. 108-114, 2018. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669018300359>. Acesso em: 21 jul. 2022.

GOBATO, R; GOBATO, A; FEDRIGO, D. F. G. Molecular electrostatic potential of the main monoterpenoids compounds found in oil Lemon Tahiti-(Citrus Latifolia Var Tahiti). Parana **Journal of Science and Education**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-10, 2015.

GUEVARA, S. P. **Extração sustentável e caracterização da pectina obtida do mamão formosa**. 2020. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Ponta Grossa, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24357>. Acesso em: 04 mar. 2022.

GUO, J. et al. Comparative analysis of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activity of citrus essential oils from the main cultivated varieties in China. *Lwt – Food Science and Technology*, [S. l.], v. 97, p. 825-839, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818306431>. Acesso em: 23 jan. 2022.

GUO, Z. et al. Active-intelligent film based on pectin from watermelon peel containing beetroot extract to monitor the freshness of packaged chilled beef. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 119, p. 825-839, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818306431>. Acesso em: 11 mar. 2022.

HASANI, S; OJAGH, S. M; GHORBANI, M. Nanoencapsulation of lemon essential oil in Chitosan-Hicap system. Part 1: Study on its physical and structural characteristics. **International journal of biological macromolecules**, [S. l.], v. 115, p. 143-151, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014181301830222>. Acesso em: 12 mar. 2022.

HOLKEM, A. T; CODEVILLA, C. F; MENEZES, C. R. Emulsificação/gelificação iônica interna: Alternativa para microencapsulação de compostos bioativos. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. 37, p. 116-124, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/cienciaenatura/article/view/19739>. Acesso em: 27 mar. 2022.

HUNG, Y. R. et al. Effect of lemon essential oil on the microbial control, physicochemical properties, and aroma profiles of peeled shrimp. *Lwt – Food Science and Technology*, [S. l.], v. 173, p. 114340, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643822012750>. Acesso em: 14 dez. 2022.

IEA. Instituto de Economia Agrícola. **Valor da produção dos principais produtos da agropecuária do Estado de São Paulo**. Base de dados referencial e com resumos. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancodedados/valorproducao>. Acesso em: 14 dez. 2022.

JESUS, R. O. **Caracterização físico-química, identificação e quantificação dos compostos voláteis do picolé com polpa e resíduo de maracujá-amarelo**. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, São Cristóvão, 2022. Disponível em: <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/16637>. Acesso em: 16 dez. 2022.

JIANG, S. et al. Effect of heat treatment on physicochemical and emulsifying properties of polymerized whey protein concentrate and polymerized whey protein isolate. *Lwt – Food Science and Technology*, [S. l.], v. 98, p. 134-140, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643818306819>. Acesso em: 21 dez. 2022.

JIMÉNEZ, N. L. V; GÓMEZ, C. Á. P; COLINA, M. J. Y. Evaluation of Tahiti lemon shell flour (*Citrus latifolia* Tanaka) as a fat mimetic. *Journal of Food Science and Technology*, [S. l.], v. 58, n. 2, p. 720-730, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-020-04588-y>. Acesso em: 13 jan. 2023.

KREŠIĆ, G. et al. Influence of novel food processing technologies on the rheological and thermophysical properties of whey proteins. *Journal of Food Engineering*, [S. l.], v. 87, n. 1, p. 64-73, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407005523>. Acesso em: 21 dez. 2022.

LIMA, J. D. S. S. **Desenvolvimento de revestimento à base de concentrado protéico de soro de leite e óleo essencial de erva doce e sua eficiência na vida pós-colheita de mamão "Golden"**. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/16870>. Acesso em: 23 dez. 2022.

LIMA, M. F. **Avaliação da estabilidade e atividade antioxidante de emulsões cosméticas contendo óleo de copaíba (*Copaifera officinalis* L)**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/49242>. Acesso em: 30 dez. 2022.

LUPKI, F. B. et al. Effects of PH on functional properties of whey protein concentrate. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 23036-23059, nov. 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/4304>. Acesso em: 30 jan. 2023.

MACÊDO, R. C. **Avaliação de um sistema hidrociclone/membrana cerâmica para fins de tratamento de águas oleosas**. 2018. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Pós-graduação em Engenharia Química, Área de concentração: Engenharia Química, Campina Grande, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/7208/CRISTIANE%20RODRIGUES%20MAC%c3%8aDO%20-TESE%20PPGEQ%202018.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 18 jan. 2023.

MARFIL, P. H. M. **Microencapsulação de óleo de palma por coacervação complexa em matrizes de gelatina/goma arábica e gelatina/alginato**. 2014. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. São José do Rio Preto, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/122169?show=full>. Acesso em: 29 jan. 2023.

MATSUURA, F. C. A. U. **Estudo do Albedo de Maracujá e de Seu Aproveitamento em Barra de Cereais**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2005. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/331729>. Acesso em: 30 jan. 2023.

MCCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A.; WEISS, D. J. Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. **Journal of food science**, [S. l.], v. 72, n. 8, p. 109-124, 2007. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1750-3841.2007.00507.x>. Acesso em: 30 jan. 2023.

McCLEMENTS, D.J. **Food emulsions**. Boca Raton: CRC Press; 111–124, 1999b.

McCLEMENTS, D.J. **Food emulsions**. Boca Raton: CRC Press; 226–229, 1999a.

McCLEMENTS, D.J. **Food emulsions: principles, practice, and techniques**. Washington: CRC Press, 2005.

MCKENNA, B.M., LYNG, J.G. Introduction to food rheology and its measurements. In: **Texture in Food, Volume 1: Semi-solid foods**, McKenna, B.M., Ed, CRC Press, Boca Raton, cap. 6, 2003.

MELÉNDEZ, V. J. H. **Comportamento reológico da goma Tara (Caesalpinia spinosa) e formação de géis em combinação com a goma Xantana**. 2020. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. São José do Rio Preto, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/191708>. Acesso em: 29 jan. 2023.

MENDONÇA, L. M. V. L. et al. Caracterização da composição química e do rendimento dos resíduos industriais do limão Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka). **Food Science and Technology**, Campinas, v. 26, p. 870-874, out.-dez, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/X3SdYWY7qPh6MNzBZfk9zjL/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 30 jan. 2023.

MIRANDA, C. G. **Extração e Modificação por Campos Elétricos Moderados da Proteína de Lentilha (*Lens culinaris*) para aplicação em sistemas coacervados**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2020.

MISHARINA, T. A. et al. Autooxidation of a mixture of lemon essential oils, methyl linolenate, and methyl oleinate. **Applied biochemistry and microbiology**, [S. l.], v. 46, p. 551-556, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0003683810050157>. Acesso em: 30 jan. 2023.

MOGHADAM, F. A. M. et al. Preparation and physicochemical evaluation of casein/basil seed gum film integrated with guar gum/gelatin based nanogel containing lemon peel essential oil for active food packaging application. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 224, p. 786-796, 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813022024084>. Acesso em: 13 fev. 2023.

MORAES, M. C. B. **Desenvolvimento e Caracterização de Filme Biodegradável Ativo à Base de Extrato de Resíduos do Processamento Industrial de Laranja**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Viçosa, 2018. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/26538>. Acesso em: 30 jan. 2023.

MOSSMANN, J; VIGANÓ, S. G; BARBOSA, B. V. OBTENÇÃO E PURIFICAÇÃO DE CONCENTRADO PROTEICO DE SORO POR ULTRAFILTRAÇÃO E DIAFILTRAÇÃO. **Revista CIATEC-UPF**, v. 12, n. 1, 2020.

NAZER, A. I. et al. Combinations of food antimicrobials at low levels to inhibit the growth of Salmonella sv. Typhimurium: a synergistic effect?. **Food microbiology**, [S. l.], v. 22, n. 5, p. 391-398, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002004001376>. Acesso em: 30 jan. 2023.

NG, S. et al. Development of a palm olein oil-in-water (o/w) emulsion stabilized by a whey protein isolate nanofibrils-alginate complex. **LWT-Food Science and Technology**, [S. l.], v. 82, p. 311-317, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643817302761>. Acesso em: 30 mar. 2022.

NORCINO, L. B. et al. Pectin films loaded with copaiba oil nanoemulsions for potential use as bio-based active packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 106, p. 105862, 2020.

OLIVEIRA, D. F; BRAVO, C. E. C; TONIAL, I. B. Soro de leite: um subproduto valioso. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Cândido Tostes, v. 67, n. 385, p. 64-71, 2012. Disponível em: <https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/215/223>. Acesso em: 30 mar. 2022.

ORTIZ, J. M. Botany: taxonomy, morphology and physiology of fruits, leaves and flowers. In: **Citrus**. CRC Press, 2002. p. 30-49.

PAGNO, C. H. et al. Obtenção de concentrados protéicos de soro de leite e caracterização de suas propriedades funcionais tecnológicas. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v.20, n.2, p. 231-239, abr./jun. 2009.

PEREIRA, A. R. L. **Microencapsulação por spray drying do óleo essencial de pimenta rosa (Schinus terebinthifolius Raddi): emulsões de camada dupla estabilizadas com SPI/pectina vs. emulsões de camada única estabilizadas com SPI**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/191771>. Acesso em: 13 mar. 2022.

PINHEIRO, M. V. S; PENNA, A. L. B. Substitutos de gordura: tipos e aplicações em produtos lácteos. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v. 15, n. 2, p. 175-186, 2008. Disponível em: https://web.archive.org/web/20160204211758id_/http://serv-bib.fcfar.unesp.br:80/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/72/87. Acesso em: 04 mar. 2023.

PIRES, V. G. A; MOURA, M. R. Preparação de novos filmes poliméricos contendo nanoemulsões do óleo de melaleuca, copaíba e limão para aplicação como biomaterial. **Química Nova**, [S. l.], v. 40, no. 1, 1-5, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20160130>. Acesso em: 04 mar. 2023.

RODRIGUES, Luiza Zancan et al. Microencapsulação de probióticos por gelificação iônica externa utilizando pectina. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 5, p. 30-37, 2015.

RODSAMRAN, P; SOTHORNVIT, R. Lime peel pectin integrated with coconut water and lime peel extract as a new bioactive film sachet to retard soybean oil oxidation. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 97, p. 105173, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X1930757X>. Acesso em: 04 mar. 2023.

RODSAMRAN, P; SOTHORNVIT, R. Preparation and characterization of pectin fraction from pineapple peel as a natural plasticizer and material for biopolymer film. **Food and Bioprocess Processing**, [S. l.], v. 118, p. 198-206, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308519306480>. Acesso em: 01 mar. 2023.

ROJAS, J. et al. Lipidic matrixes containing lemon essential oil increases storage stability: Rheological, thermal, and microstructural studies. **Applied Sciences**, [S. l.], v. 10, n. 11, p. 3909, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/11/3909>. Acesso em: 03 mar. 2023.

SABATER, C. et al. Ultrasound-assisted extraction of pectin from artichoke by-products. An artificial neural network approach to pectin characterisation. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 98, p. 105238, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X1930075X>. Acesso em: 03 mar. 2023.

SANTANA, M. S. et al. Relevância do uso de proteínas na encapsulação de compostos bioativos. In: CORDEIRO, C. A. M; EVANGELISTA-BARRETO, N, S. (org.). **Ciência E Tecnologia de Alimentos: O Avanço da Ciência no Brasil**. Editora Científica Digital. - V. 1, 2022. p. 195-209.

SAWAMURA, M. et al. Compositional changes in commercial lemon essential oil for aromatherapy. **International Journal of Aromatherapy**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 27-36, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0962456204000062>. Acesso em: 05 mar. 2023.

SEBRAE – O Cultivo e o Mercado de Limão. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-limao,9e7a9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 06 mar. 2021.

SILVA, D. F. et al. MICROENCAPSULATION OF LYCOPENE BY GELATIN – PECTIN. **Journal of Food Processing and Preservation** v. 58, p. 391–400, 2011.

SILVA, F. B. FREIRE, M. C. FERREIRA. Análise da secagem de limão tahiti (Citrus Latifolia – Tanaka) em fatias e de suas frações: epicarpo, mesocarpo e endocarpo. In: Congresso brasileiro de sistemas particulados, 2015, São Carlos. Anais [...]. São Carlos: UFSCar, 2015.

SILVA, M. T. et al. Coacervação complexa: uma técnica para a encapsulação de probióticos. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 5, p. 49-55, 2015.

SILVA, T. L. M. **Avaliação Sazonal da Extração e Microencapsulação do Óleo Essencial de Capim Limão (Cymbopogon citratus (D.C.) Stapf.)**. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, Área de concentração: Desenvolvimento e Controle de Fármacos, Medicamentos e Correlatos, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3845>. Acesso em: 08 mar. 2023.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Óleos essenciais: uma fonte de divisas a ser mais explorada no Brasil**. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/oleos-essenciais-uma-fonte-de-divisas-a-ser-mais-explorada-no-brasil-2/>. Acesso em: 13 junho 2021.

SOOFI, M. et al. Preparation of nanobiocomposite film based on lemon waste containing cellulose nanofiber and savory essential oil: A new biodegradable active packaging system. **International Journal of Biological Macromolecules**, [S. l.], v. 169, p. 352-361, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813020352855>. Acesso em: 30 jul. 2022.

SUAVE, J. et al. Microencapsulação: Inovação em diferentes áreas. **Revista Saúde e Ambiente/Health and Environment Journal**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 12-20, 2006.

TING, S. V.; ROUSEFF, R. L. **Citrus fruits and their products: analysis and technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 293p.

TURQUOIS, T. et al. Extraction of highly gelling pectic substances from sugar beet pulp and potato pulp: influence of extrinsic parameters on their gelling properties. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 255-262, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X99000077>. Acesso em: 12 mar. 2022.

VILCANQUI-PÉREZ, F.; VÍLCHEZ-PERALES, C. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. **Revisión. Archivos Latinoamericanos de nutrición**, v. 67, n. 2, p. 146-156, 2017.

WARNAKULASURIYA, S. et al. Effect of the degree of esterification and blockiness on the complex coacervation of pea protein isolate and commercial pectic polysaccharides. [S. l.], **Food chemistry**, v. 264, p. 180-188, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881461830832X>. Acesso em: 15 mar. 2022.

XIAO, Yaqing et al. Heat-induced whey protein isolate gels improved by cellulose nanocrystals: Gelling properties and microstructure. **Carbohydrate polymers**, [S. l.], v. 231, p. 115749, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486171931417>. Acesso em: 30 mar. 2022.

ZSIVANOVITS, G. et al. Material properties of concentrated pectin networks. **Carbohydrate Research**, v. 339, n. 7, p. 1317-1322, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008621504001077>. Acesso em: 30 mar. 2022.