



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”
Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

DISSERTAÇÃO

**Oleogéis bioativos à base de amido de feijão e curcumina como agente
antioxidante e substituto de gordura saturada**

Camila de Oliveira Pacheco
Química de Alimentos

Pelotas, 2023

Camila de Oliveira Pacheco

**Oleogéis bioativos à base de amido de feijão e curcumina como agente
antioxidante e substituto de gordura saturada**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos da Universidade Federal de Pelotas,
como requisito parcial à obtenção do Título de
Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Comitê de Orientação:

Prof^a. Dr^a. Elessandra da Rosa Zavareze
Dr^a. Cristina Jansen Alves
Dr^a. Laura Martins Fonseca

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

P116o Pacheco, Camila de Oliveira

Oleogéis bioativos à base de amido de feijão e curcumina como agente antioxidante e substituto de gordura saturada [recurso eletrônico] / Camila de Oliveira Pacheco ; Elessandra da Rosa Zavareze, orientadora ; Laura Martins Fonseca, Cristina Jansen Alves, coorientadoras. — Pelotas, 2023.
74 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Amido OSA. 2. Agente estruturante. 3. Cera de abelha.
4. Óleo de girassol. 5. Estabilidade. I. Zavareze, Elessandra

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Caroline Dellinghausen Borges (CCQFA/UFPel)

Prof^a. Dr^a. Carla Rosane Barboza Mendonça (CCQFA/UFPel)

Prof^a. Dr^a. Rosana Colussi (CCQFA/UFPel)

Dedicatória

**Dedico meu trabalho à minha mãe
Maria Lisete, minha irmã Raquel, meu
cunhado Luiz e ao meu namorado Sheynã.**

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por sempre guiar meus passos me protegendo e permitindo a realização dos meus sonhos, me concedendo saúde e força nos momentos mais difíceis.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realização do presente trabalho.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento.

À minha orientadora Elessandra da Rosa Zavareze por todo auxílio, apoio e disponibilidade ao longo desse período. Sou muito grata pela tua orientação e tenho grande admiração por ti. Com certeza és inspiração para todos os teus alunos.

À minha coorientadora Cristina Jansen Alves por toda ajuda e apoio prestados.

À Laura Martins Fonseca que além de minha coorientadora é uma amiga incrível. Obrigada por toda tua ajuda e orientação. Te admiro muito.

Aos meus colegas e amigos que compõem o grupo do Laboratório de Biopolímeros e Nanotecnologia de Alimentos por toda ajuda, apoio e amizade. Vocês são incríveis. Sou extremamente grata por ter um grupo de trabalho tão bom. Vocês deram sentido à frase “ninguém faz nada sozinho” e a concretização deste trabalho foi possível com a ajuda de vocês.

À minha mãe Maria Lisete de Oliveira que sempre me apoiou e me incentivou. Obrigada por estar sempre do meu lado, és minha fortaleza.

À minha irmã Raquel Oliveira e meu cunhado Luiz Henrique Pereira que são meus pais. Obrigada por terem sido meu apoio e meu colo. Vocês foram cruciais em muitos momentos, principalmente nos mais difíceis.

Ao meu namorado Sheynã Pires de Brum que acompanhou de perto os momentos mais difíceis desse processo. Obrigada pelo teu apoio, companheirismo, compreensão. Fostes muito importante e com toda certeza tornou tudo mais leve.

A todos os que contribuíram de alguma forma para a execução deste trabalho.

Resumo

PACHECO, Camila de Oliveira. Oleogéis bioativos à base de amido de feijão e curcumina como agente antioxidante e substituto de gordura saturada. 2023. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

As gorduras saturadas desempenham papel importante nos alimentos, atribuindo propriedades sensoriais e tecnológicas. Em contrapartida, o excesso no consumo de alimentos ricos nessas gorduras tem sido associado à incidência de doenças de origem não transmissível. Dessa forma, buscar possibilidades de substituição de tais gorduras sem alterar os aspectos sensoriais e tecnológicos dos alimentos é um desafio. Os oleogéis representam uma alternativa promissora para a substituição total ou parcial de tais gorduras. O objetivo do trabalho foi elaborar oleogéis a partir da emulsão gelificada de óleo de girassol, cera de abelha, amidos de feijão carioca nativo ou modificado com anidrido octenil succínico (OSA), incorporando diferentes concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5 p/p). Os oleogéis foram avaliados quanto a sua estabilidade, capacidade de retenção de óleo, textura, cor, perda de massa e atividade antioxidante. Os resultados obtidos foram promissores. A modificação com OSA reduziu a quebra de viscosidade, assim como a retrogradação do amido de feijão carioca. Os oleogéis nas suas diferentes formulações apresentaram estabilidade de emulsão durante 30 dias de armazenamento. Ainda, apresentaram estabilidade estrutural, com capacidade de retenção de óleo acima de 96% e atividade oxidativa satisfatória, com resultados dentro do estabelecido em legislação. Em relação aos parâmetros de textura, os oleogéis elaborados com o amido modificado apresentaram redução na dureza no primeiro dia de armazenamento. A incorporação de curcumina aos oleogéis reduziu sua atividade oxidativa, evidenciando sua atividade antioxidante. Tendo em vista o abordado pode-se considerar que os oleogéis apresentaram características físico-químicas favoráveis para futura aplicação em alimentos, como produtos cárneos, como substituto de gordura saturada e agente antioxidante, no entanto, mais estudos devem continuar sendo realizados para avaliar o comportamento destes materiais nas matrizes alimentícias.

Palavras-chave: Amido OSA; Agente estruturante; Cera de abelha; Óleo de girassol; Estabilidade.

Abstract

Saturated fats play an important role in food, conferring sensory and technological properties. On the other hand, excess consumption of foods rich in these fats has been associated with the incidence of non-communicable diseases. It is therefore a challenge to find ways of replacing these fats without altering the sensory and technological aspects of food. Oleogels represent a promising alternative for the total or partial replacement of such fats. The aim of this study was to produce oleogels from a gelled emulsion of sunflower oil, beeswax, native carioca bean starch or starch modified with octenyl succinic anhydride (OSA), incorporating different concentrations of curcumin (0; 0.1 and 0.5 w/w). The oleogels were evaluated for their stability, oil retention capacity, texture, color, loss of mass and antioxidant activity. The results obtained were promising. Modification with OSA reduced viscosity breakdown and retrogradation of carioca bean starch. The oleogels in their different formulations showed emulsion stability during 30 days of storage. They also showed structural stability, with an oil retention capacity of over 96% and satisfactory oxidative activity, with results within the legal requirements. In terms of texture parameters, the oleogels made with the modified starch showed a reduction in hardness on the first day of storage. Incorporating curcumin into the oleogels reduced their oxidative activity, demonstrating their antioxidant activity. In view of the above, it can be considered that the oleogels showed favorable physicochemical characteristics for future application in foods, such as meat products, as a substitute for saturated fat and as an antioxidant agent; however, further studies should continue to be carried out to evaluate the behavior of these materials in food matrices.

Keywords: OSA starch; Structuring agent; Beeswax; Sunflower oil; Stability.

Lista de Figuras

Figura 1. Estrutura do grânulo de amido	21
Figura 2. Cuvas de RVA dos amidos nativo e modificado	38
Figura 3. Estabilidade em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amido nativo e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p)	44
Figura 4. Estabilidade em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amido modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p)	45
Figura 5. Difractogramas dos oleogéis à base de amidos nativo (a) e modificado com OSA (b) contendo diferentes concentrações de curcumina (0, 0,1 e 0,5%), bem como dos compostos puros (amido nativo, amido modificado por OSA, curcumina e cera de abelha).....	58

Lista de Tabelas

Tabela 1. Tratamentos e análises dos oleogéis.	33
Tabela 2. Propriedades de pasta dos amidos de feijão nativo e modificado.....	38
Tabela 3. Perfil de ácidos graxos presentes no óleo de girassol em porcentagem.....	41
Tabela 4. Capacidade de retenção de óleo, em diferentes dias de armazenamento, de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).	42
Tabela 5. Atividade hidrolítica em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).....	46
Tabela 6. Índice de peróxidos em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).....	48
Tabela 7. Perfil de textura em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).....	52
Tabela 8. Parâmetro de cor em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).....	53
Tabela 9. Perda de massa em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).....	56
Tabela 10. Cristalinidade relativa dos amidos nativos e modificados por OSA, curcumina, cera de abelha e oleogéis baseados em amidos nativos e modificados por OSA contendo diferentes concentrações de curcumina (0, 0,1 e 0,5%).....	59
Tabela 11. Atividade antioxidante por FRAP em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).....	60

Sumário

1. Introdução	12
2. Objetivos.....	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. Hipóteses	15
4. Revisão bibliográfica	16
4.1 Óleos e gorduras	16
4.2 Oleogel	17
4.3 Óleo de girassol.....	19
4.4 Agentes estruturantes.....	20
4.4.1 Amido.....	21
4.4.1.1 Amido de feijão carioca.....	22
4.4.1.2 Modificação de amido com OSA.....	23
4.4.2 Cera de abelha	24
4.4.3 Curcumina.....	25
4.5 Aplicação de oleogéis em matrizes alimentícias.....	26
5. Material e Métodos.....	28
5.1 Material.....	28
5.2 Metodologia	28
5.2.1 Extração do amido de feijão.....	28
5.2.2 Modificação química do amido.....	28
5.2.3 Determinação do grau de substituição do amido modificado	29
5.2.4 Propriedades de pasta (RVA) dos amidos	30
5.2.5 Teor de amilose dos amidos	30
5.3 Caracterização do óleo de girassol.....	30
5.3.1 Perfil de ácidos graxos.....	30
5.3.2 Índice de peróxidos	31
5.3.3 Índice de acidez	32
5.4 Elaboração de oleogéis a base de amidos de feijão, nativo e modificado, com diferentes concentrações de curcumina	32
5.4.1 Metodologias	33
5.4.1.1 Elaboração de oleogéis.....	33
5.4.1.2 Capacidade de retenção dos oleogéis	33

5.4.1.3	Estabilidade de gel dos oleogéis.....	34
5.4.1.4	Atividade hidrolítica.....	34
5.4.1.5	Perfil de textura.....	34
5.4.1.6	Parâmetros de cor.....	34
5.4.1.7	Perda de peso.....	35
5.4.1.8	Difração Raio X.....	35
5.4.1.9	Atividade antioxidante por FRAP	35
5.4.1.10	Análise estatística	36
6	Resultados e Discussão.....	37
6.1	Caracterização dos amidos	37
6.2	Caracterização do óleo de girassol.....	40
6.3	Capacidade de retenção de óleo dos oleogéis.....	42
6.4	Estabilidade de gel nos oleogéis	44
6.5	Atividade hidrolítica dos oleogéis	45
6.6	Perfil de textura dos oleogéis	49
6.7	Parâmetros de cor dos oleogéis	53
6.8	Perda de peso dos oleogéis	55
6.9	Difração Raio X.....	57
6.10	Atividade antioxidante dos oleogéis	59
7	Conclusão	62
8	Referência Bibliográficas.....	63

1. Introdução

O excesso no consumo de alimentos ricos em gorduras saturada e *trans* tem causado danos à saúde humana. Doenças cardiovasculares, além de outros distúrbios como elevado colesterol, hipertensão, diabetes tipo II e estresse oxidativo têm aumentado nos últimos anos (Gao, Wu, 2019; Giacomozzi; Palla; Carrín, 2021). Os maus hábitos alimentares estão entre os fatores que podem causar doenças crônicas não transmissíveis (Prevedello, Comachio, 2021; Silva *et al.*, 2023), as quais podem ser definidas como doenças decorrentes de diversos fatores de risco, sendo de origem não infecciosa (Prevedello, Comachio, 2021).

Atualmente, as doenças crônicas não transmissíveis representam uma das principais causas de morte a nível mundial (Leijoto *et al.*, 2022; Prevedello, Comachio, 2021; Silva *et al.*, 2023), representando sete das dez principais causas da mortalidade no mundo, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS). Por impactarem na economia e no sistema de saúde, tais doenças afetam, consequentemente, no desenvolvimento dos países (Leijoto *et al.*, 2022). Além disso, gorduras saturadas e *trans* elevam os níveis de colesterol LDL, podendo também reduzir os níveis de colesterol HDL (Brancallion, 2022).

Em contrapartida, a presença de gorduras saturadas nos alimentos é um fator importante tanto do ponto de vista tecnológico e sensorial, quanto nutricional (Dominguez *et al.*, 2021; Manzoor *et al.*, 2021). Buscar alternativas capazes de reduzir total ou parcialmente gorduras saturadas e *trans* em alimentos é um desafio para a indústria alimentícia, visto que é necessário considerar que tal redução não deve afetar as características sensoriais dos alimentos, como a textura e a palatabilidade (Giacomozzi; Palla; Carrín, 2021).

A substituição total ou parcial de gorduras saturadas e *trans* torna-se viável a partir da elaboração de oleogéis, os quais são materiais sólidos ou semissólidos (Gao, Wu, 2019; Giacomozzi *et al.*, 2020) constituídos de óleos vegetais e outras matrizes poliméricas estruturantes. Na formação dos oleogéis ocorre a oleogelação (Demirkesen, Mert, 2020; Domingues, 2022), que é o aprisionamento de óleo de diferentes matrizes (como soja, canola e girassol) por materiais denominados agentes estruturantes (Bascuas *et al.*, 2020). Diferentes agentes estruturantes podem ser utilizados na formulação de um oleogel (Barros *et al.*, 2022).

Dentre os agentes que podem ser utilizados como estruturantes está o amido, um biopolímero atóxico, abundante, de baixo custo, renovável, biocompatível e biodegradável (Fonseca *et al.*, 2021; Pires *et al.*, 2022). O amido é um carboidrato capaz de auxiliar na estabilidade de uma emulsão, sendo comumente utilizado como agente espessante, emulsionante e gelificante, influenciando na textura e consistência da matriz em que está incorporado (Fonseca *et al.*, 2021; Gao e Wu, 2019). Para o aprimoramento das características do amido é possível fazer modificações químicas, físicas e enzimáticas. A modificação química do amido com anidrido octenil succínico (OSA) promove uma esterificação, tornando suas moléculas anfifílicas, assim aprimorando sua capacidade emulsionante (Xu *et al.*, 2023).

Os oleogéis podem ser produzidos utilizando como agente estruturante diversas fontes de amido, como batata (Gao, Wu, 2020) e milho (Gao, Wu, 2019), não sendo encontrado estudos utilizando amido de feijão para este fim. O amido do feijão possui características como elevada temperatura de gelatinização, rápida retrogradação, resistência à deformação e alta sinérese (Figuerola *et al.*, 2015), parâmetros que o torna uma alternativa para estruturar oleogéis.

Os oleogéis também podem ser utilizados como agentes carreadores de componentes funcionais como fitoesteróis, β -caroteno, entre outras substâncias lipofílicas (Gao, Wu, 2019). Outro exemplo de carreamento de compostos pelos oleogéis é a incorporação de curcumina. A curcumina foi incorporada em oleogéis a base de óleo de noz, adicionados de k-carragenina e metilcelulose (Xu *et al.*, 2023). Polifenol isolado do rizoma *Curcuma longa* Linn (Pires *et al.*, 2022; Meng *et al.*, 2021; Tung *et al.*, 2019), a curcumina possui propriedades farmacológicas, antioxidante, antimicrobiana e antitumoral (Pires *et al.*, 2022).

Tendo em vista que oleogéis produzidos a partir de amido podem ser uma alternativa viável e eficaz na substituição de gordura saturada e *trans* em diversos produtos alimentícios e que a curcumina possui propriedades funcionais, o presente trabalho tem como objetivo elaborar oleogéis bioativos à base de amido de feijão nativo e modificado incorporados com curcumina, como agente antioxidante substituto de gordura saturada para potencial aplicação em matriz alimentícia como substituto de gordura saturada.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Desenvolver oleogéis bioativos à base de amido de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*) nativo e modificado, e incorporados com curcumina (*Curcuma longa* Linn) para potencial aplicação em matrizes alimentícias como agente antioxidante e substituto de gordura saturada.

2.2 Objetivos específicos

- Extrair amido de feijão carioca, modificá-lo quimicamente com anidrido octenil succínico (OSA);
- Caracterizar os amidos, nativo e modificado, quanto ao teor de amilose, propriedades de pasta e grau de substituição;
- Caracterizar o óleo de girassol, a partir das análises do perfil de ácidos graxos, índices de peróxidos e acidez;
- Produzir oleogéis à base de amidos de feijão, nativo e modificado, com diferentes concentrações de curcumina;
- Caracterizar os oleogéis quanto a capacidade de retenção de óleo, estabilidade estrutural e oxidativa, perfil de textura, parâmetros de cor, perda de peso e atividade antioxidante.

3. Hipóteses

A partir da sua capacidade emulsificante, a modificação do amido de feijão com OSA aumentará a estabilidade dos oleogéis;

A curcumina incorporada ao oleogel pode proteger e prolongar sua estabilidade oxidativa e ação bioativa;

O oleogel de amido de feijão com curcumina apresenta características favoráveis para futura aplicação em matriz alimentícia como agente antioxidante ou substituto de gordura saturada.

4. Revisão bibliográfica

4.1 Óleos e gorduras

Os óleos podem ser definidos como materiais que apresentam como principais constituintes os glicerídeos de ácidos graxos (ANVISA, 2021). Esses lipídios são diferenciados das gorduras pelos seus estados físicos (Ramalho, Suarez, 2013). De acordo com a RDC nº 481 de 15 de março de 2021, os óleos são produtos em estado líquido à temperatura de 25 °C, enquanto as gorduras se apresentam nas formas sólida ou pastosa em mesma temperatura (ANVISA, 2021).

Os óleos, assim como as gorduras, são formados por cadeias de ácidos graxos, que podem ser encontrados nas formas de mono, di e triacilgliceróis (Martins; Suarez; Melo; Ramalho, 2013). Esses ácidos graxos podem ser classificados de acordo com a sua configuração e o tipo de ligações existentes entre as suas moléculas (Perini *et al.*, 2010; Ramalho, Suarez, 2013; Nasciutti *et al.*, 2015). Ácidos graxos contendo apenas ligações simples são classificados como saturados, já quando apresentam ligações duplas classificam-se como insaturados (Correia *et al.*, 2014; Nasciutti *et al.*, 2015). Além disso, os ácidos graxos insaturados podem ser classificados em monoinsaturados, quando contém apenas uma ligação dupla, e poli-insaturados, quando apresentam duas ou mais ligações duplas (Perini *et al.*, 2010). Em relação a configuração, os ácidos graxos podem ser classificados em *cis* ou *trans* (Perini *et al.*, 2010; Ramalho, Suarez, 2013).

Na composição de óleos e gorduras podem ser encontrados, além de triglicerídeos, ácidos graxos livres, fosfolipídios, entre outros compostos. Os constituintes dessas matrizes, bem como sua estrutura e as interações existentes entre suas moléculas definem suas características físico-químicas (Correia *et al.*, 2014; Ramalho, Suarez, 2013; Silva; Barrera-Arellano; Ribeiro, 2021). As gorduras saturadas, por exemplo, em função do empacotamento de sua estrutura, apresentam uma interação maior entre suas cadeias carbônicas, o que lhes confere pontos de fusão mais elevados quando comparadas triacilgliceróis insaturados (Ramalho, Suarez, 2013).

Os lipídeos são importantes ao organismo humano, uma vez que são responsáveis por diversas funções, tais como transporte de vitaminas, síntese de

hormônios e fornecimento de energia (Perini *et al.*, 2010).

Em contrapartida, o excesso no consumo de alimentos ricos em gorduras saturadas causa danos à saúde (Gao, Wu, 2019; Giacomozzi; Palla; Carrín, 2021). O elevado consumo de produtos que contenham gorduras saturadas está sendo associado às doenças crônicas não transmissíveis (Manzoor *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021), isso porque elas tendem a aumentar o colesterol LDL, levando ao acúmulo de gordura nos vasos sanguíneos (Brancallion, 2022; Siri-Tarino *et al.*, 2010).

A busca por alternativas que substituam a gordura saturada em alimentos não é recente. No início do século XX, foi desenvolvido um método para a substituição de gordura saturada, através da hidrogenação de gorduras líquidas (Brancallion *et al.*, 2022). Nesse processo se adiciona hidrogênio às moléculas dos ácidos graxos insaturados, algumas ligações duplas são desfeitas e há formação das gorduras *trans*. Dessa forma, os ácidos graxos, inicialmente líquidos, passam a ter estado sólido, semelhante às gorduras saturadas (Brancallion *et al.*, 2022; Pinho, Suárez, 2013). Assim, a configuração da molécula se modifica, formando uma rotação no centro de sua estrutura. Essa torção que faz com que as cadeias de hidrocarbonetos, ligadas por ligação dupla, passem do mesmo plano (configuração *cis*), para lados opostos (configuração *trans*) (Brancallion *et al.*, 2022).

Por apresentarem menor teor de gordura saturada, as gorduras *trans* foram consideradas, durante um intervalo de tempo considerável, como mais saudáveis (Brancallion *et al.*, 2022). Com o tempo e o avanço nos estudos, tais gorduras foram associadas ao aumento do colesterol LDL e redução do colesterol HDL (Hissanaga; Proença; Block, 2012; Brancallion *et al.*, 2022), o que corrobora para seu acúmulo nos vasos sanguíneos, já que também apresenta metabolização mais difícil, em função da sua temperatura de cristalização (Ramalho, Suarez, 2013). Com isso, formas de substituição das gorduras saturadas e *trans* vêm sendo estudadas, como a utilização de oleogéis, cujo processamento é simples e de baixo custo.

4.2 Oleogel

A busca por produtos prontos ou pré-prontos, tem aumentado em virtude do ritmo de vida acelerado das pessoas, podendo aumentar o consumo de produtos industrializados. Esses alimentos, geralmente possuem alto teor de gorduras saturadas e *trans* (Pinto *et al.*, 2021). Quando consumidas em excesso, essas

gorduras podem desencadear doenças crônicas não transmissíveis (Gao, Wu, 2019; Giacomozzi *et al.*, 2020). Os malefícios causados pelo consumo excessivo de gorduras saturadas e *trans* são conhecidos. Somado a isso, o mercado consumidor tem mudado nos últimos anos. Há uma preocupação maior com a saúde e por isso a demanda por alimentos saudáveis tem aumentado (Pinto *et al.*, 2021). Estudos recentes demonstram que a busca por alimentação saudável é crescente.

Buscar alternativas capazes de substituir parcial ou totalmente as gorduras saturadas e *trans* em alimentos é um desafio para a indústria alimentícia (Giacomozzi; Palla; Carrín, 2021). Ao procurar possibilidades de substituição dessas gorduras nos alimentos, é importante pensar na preservação de suas características sensoriais, como textura e palatabilidade, por exemplo (Giacomozzi; Palla; Carrín, 2021). Uma alternativa é a substituição dessas gorduras por gorduras insaturadas, líquidas à temperatura ambiente, as quais auxiliam na redução dos níveis de colesterol LDL (Alvarez-Ramirez *et al.*, 2020; Siri-Tarino *et al.*, 2010). Existem pesquisas a respeito que reportam a substituição de gordura saturada pela insaturada (Manzoor, *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021). Sistemas de estruturação de óleos estão sendo estudados (Pagliarini *et al.*, 2022).

Os óleos vegetais têm um potencial elevado para aplicação em alimentos, podendo propiciar a eles um perfil de ácidos graxos mais saudável, em razão de terem menor conteúdo de ácidos graxos saturados e maior de insaturados (Manzoor *et al.*, 2021). A formação de redes de aprisionamento de óleos vegetais, como a emulsão gelificada, representa uma alternativa, não só de substituição de gorduras saturadas e *trans*, mas também de proteção aos lipídios nas matrizes alimentícias (Pagliarini *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2021). A aplicação de forças mecânicas no processo de formação de emulsões é importante para sua estabilidade, uma vez que há redução da tensão superficial e aumento da área de contato. Ademais, as emulsões podem ter sua estabilidade aumentada pela presença de compostos anfifílicos (Silva; Barrera-Arellano; Ribeiro, 2021).

Os oleogéis são materiais capazes de aprisionar óleos e podem se apresentar nas formas sólida ou pastosa. Sua formação acontece a partir da emulsão de seus constituintes, ou seja, o óleo e os oleogeladores, também denominados de agentes estruturantes (Gao, Wu, 2019; Giacomozzi; Palla; Carrín, 2021; Silva *et al.*, 2021). O óleo é retido em uma rede tridimensional, formando uma emulsão gelificada, caracterizando-se como fase contínua (Bascuas *et al.*, 2020; 3 Manzoor *et al.*, 2021;

Silva *et al.*, 2021; Pagliarini *et al.*, 2022).

Tendo em vista que podem apresentar baixo teor de gorduras saturadas, o que varia de acordo com o óleo utilizado, os oleogéis possuem estrutura e propriedades físicas e reológicas satisfatórias, o que os tornam potenciais substitutos de gorduras em alimentos (Giacomozzi *et al.*, 2020). Além disso, esses lipídios possuem funções semelhantes às gorduras sólidas (Manzoor *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021), mantendo as características do óleo utilizado, já que não requer a sua modificação (Giacomozzi *et al.*, 2020; Pagliarini *et al.*, 2022). Estudos têm sido desenvolvidos para a substituição de gorduras saturadas em diferentes matrizes alimentícias. Silva *et al.* (2020) desenvolveram oleogéis a base de óleo de palma, cera de candelila e monoacilgliceróis para aplicação em margarina, substituindo 51% de gordura saturada. Em outro estudo, 46% de gordura saturada foi reduzida em hambúrguer, ao incorporar oleogel a base de cera de abelha em óleo de canola (em substituição de 100% de gordura bovina) havendo melhora no perfil nutricional (Gao *et al.*, 2021). Os oleogéis, ainda, possuem estrutura que pode carrear componentes bioativos como os carotenóides, por exemplo, servindo como mecanismo de entrega de compostos (Gao e Wu, 2019; Pagliarini *et al.*, 2022).

Além da simplicidade no processo de oleogelação, a elaboração de oleogéis torna possível a produção de materiais seguros e com perfil de ácidos graxos mais saudável (Manzoor *et al.*, 2021). A estabilidade desses materiais está relacionada à capacidade de interação com o óleo e também estabilidade oxidativa e térmica, fatores que são influenciados pelas matrizes utilizadas na sua formulação (Silva *et al.*, 2021). Os subtópicos a seguir contemplam os constituintes para elaboração de oleogéis preparados neste trabalho, sendo este óleo de girassol; amido de feijão carioca, nativo e modificado, e cera de abelha.

4.3 Óleo de girassol

Nativo da América do Norte, o girassol, *Helianthus annuus L.*, é um vegetal pertencente à família *Asteraceae* (Correia *et al.*, 2014). O cultivo desse vegetal pode ocorrer durante todo ano, isso se dá em função das suas características desejáveis para o seu plantio, que com pouca influência em seu rendimento, se adapta a distintas condições climáticas, apresentando resistência ao frio, calor e seca (Correia *et al.*, 2014). O óleo de girassol é rico em ácidos graxos poli-insaturados, principalmente em ácido linoleico (ômega 6) que é um ácido graxo essencial, ou seja, não é sintetizado

pelo organismo humano. O ácido linoleico exerce importantes funções no organismo como redução do colesterol LDL, síntese de hormônios e desenvolvimento da pele, por exemplo. Sua deficiência no organismo pode causar problemas à saúde como ressecamento e descamação na pele e redução na capacidade de regeneração dos tecidos. Outro ácido graxo presente no óleo de girassol é o oleico (ômega 9), que por poder auxiliar na redução de doenças cardiovasculares traz benefícios à saúde (Silva *et al.*, 2019).

Sabendo-se que uma das aplicações mais comuns do óleo de girassol é em emulsões e tendo em vista as suas propriedades, utilizá-lo em oleogéis pode ser vantajoso do ponto de vista nutricional. Na literatura é possível encontrar desenvolvimento de oleogéis que estruturam o óleo de girassol. Oh *et al.* (2017) elaboraram oleogéis com ceras naturais e óleo de girassol para substituição de gordura em bolos. Os autores observaram que os oleogéis a base de cera de abelha e óleo de girassol forneceram menor dureza ao produto, além de um aprimoramento no perfil de ácidos graxos, já que reduziram em 44% os ácidos graxos saturados. Em outro estudo, realizado por Silva *et al.* (2019) o óleo de girassol, juntamente com pele de porco e água, foi utilizado no desenvolvimento de oleogéis para aplicação em salsicha, mostrando resultados promissores.

4.4 Agentes estruturantes

A formulação de um oleogel pode conter um ou mais agentes estruturantes, ocorrendo o sinergismo neste último (Silva *et al.*, 2021). Estudos indicam que a maior parte das propriedades reológicas e térmicas dos oleogéis são influenciadas por esses agentes, apresentando, portanto, características significativas no produto final. Existem inúmeras substâncias que podem ser utilizadas como estruturantes dos oleogéis. Para a escolha de uma matriz estruturante devem ser levados em consideração parâmetros como segurança, viabilidade tecnológica, abundância na natureza e baixo custo, para que seja possível sua comercialização (Silva *et al.*; Yilmaz; Uslu; Öz, 2021). Dentre as propriedades do amido está a capacidade gelificante, que é satisfatória para a formação dos oleogéis. Já as ceras são capazes de estabilizar a água nas emulsões, podendo modificar as propriedades físico-químicas dos oleogéis, como a morfologia, propriedades térmicas e cristalinidade (Gao, Wu, 2020; Yilmaz; Uslu; Öz, 2021).

4.4.1 Amido

O amido é um carboidrato formado por duas macromoléculas, a amilose e a amilopectina (Figura 1) (Fellows, 2019; Fonseca *et al.*, 2021; Pires *et al.*, 2022; Vanier, 2012). A primeira é caracterizada por possuir cadeia linear com regiões amorfas, sendo formada por unidades de glicose através de ligações glicosídicas α -1,4. Já a segunda é caracterizada por ter cadeia ramificada que forma cadeias cristalinas. Suas ligações glicosídicas se dão a partir da união de ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6 (Denardin, Silva, 2009; Pires *et al.*, 2022; Vanier, 2012).

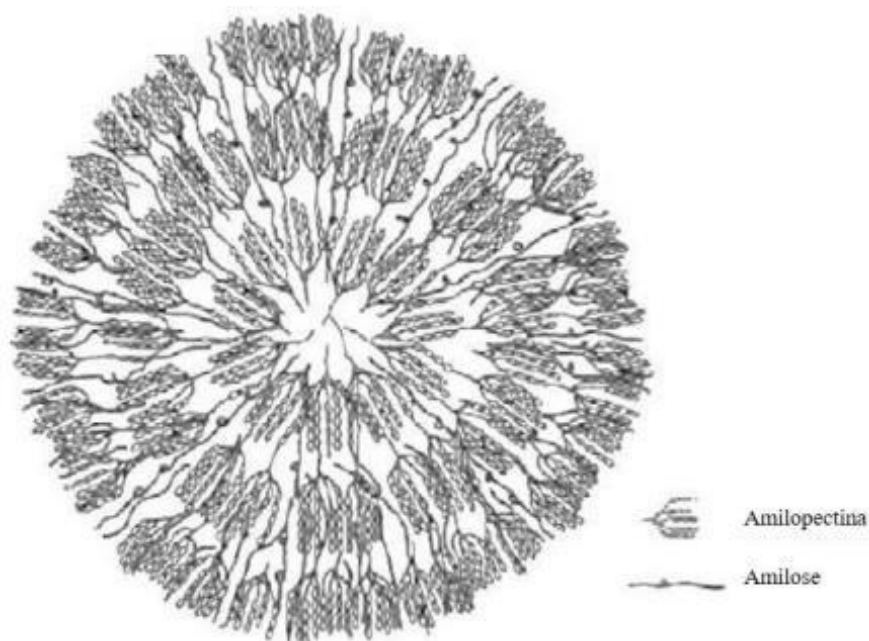


Figura 1. Estrutura do grânulo de amido

Fonte: Almeida (2012).

A proporção de amilose e amilopectina varia de acordo com a matriz de amido, o que gerará diferentes características (Fellows, 2019; Fonseca *et al.*, 2021; Vanier, 2012). Os amidos com elevado teor de amilose apresentam-se estruturalmente mais resistentes, formando barreiras contra oxigênio. Além disso, apresentam baixa temperatura de retrogradação (Pires *et al.*, 2022). O percentual de amilose presente no amido tem influência sobre as propriedades de gelatinização e retrogradação (Denardin, Silva, 2009; Los *et al.*, 2022). A gelatinização do amido é o processo em que, sob elevadas temperaturas e meio aquoso, ocorre o rompimento de suas moléculas, após hidratação, formando ligações de hidrogênio. Com o rompimento, ocorre a entrada de água nas moléculas ocasionando o inchamento do grânulo e consequentemente aumentando a viscosidade do amido. Já a retrogradação, também

denominada recristalização, é caracterizada pela liberação de água das moléculas do amido (denominada sinérese), devido ao inchamento máximo do grânulo. Nesse processo, ocorre a reestruturação das moléculas, retornando a forma semicristalina e diminuindo-se a viscosidade (Vanier, 2012).

A utilização de polissacarídeos nas formulações de oleogéis é uma alternativa favorável (Silva *et al.*, 2021), isso porque esses carboidratos auxiliam na estabilidade de uma emulsão, devido a suas propriedades gelificantes e espessantes (Pagliarini *et al.*, 2022). Gao e Wu (2020) desenvolveram oleogéis à base de amido de batata demonstrando a formação de um produto de baixo custo, baixa dureza, com potencial redutor de gorduras saturadas para aplicação em alimentos.

O amido está presente em raízes e sementes de tubérculos, cereais, leguminosas e frutas, sendo o principal componente desses. Esse polissacarídeo representa a fonte mais importante de carboidratos e pode ser extraído de diversas fontes, como milho, arroz, batata e feijão (Fellows, 2019; Denardin, Silva, 2009; Vanier *et al.*, 2017).

4.4.1.1 Amido de feijão carioca

O feijão carioca, também conhecido como carioquinha, pertencente à espécie *Phaseolus vulgaris* L. (Vanier, 2012), é um alimento amplamente consumido no Brasil (Bento *et al.*, 2023; Figueroa *et al.*, 2015), movimentando a economia do país, já que representa aproximadamente 70% da produção (Bento *et al.*, 2023). Rico em carboidratos, proteínas, fibras e minerais (Bento *et al.*, 2023; Ronko *et al.*, 2021; Vanier, 2012), o feijão carioca representa uma fonte benéfica à saúde de seus consumidores, isso porque dentre seus constituintes estão os taninos, que possuem capacidade antioxidante e vitaminas (Bento *et al.*, 2023; Vanier, 2012). Além disso, esse grão caracteriza-se por ter baixo índice glicêmico e efeito hipocolesterolêmico (Vanier, 2012). O consumo de feijão está associado, ainda, à diminuição de colesterol e açúcar no sangue, em razão da presença de fibras solúveis em seu grão (Ronko *et al.*, 2021).

O amido, juntamente com a proteína, é o principal constituinte do feijão representando um percentual que varia de 22 a 45% (Figueroa *et al.*, 2015; Vanier, 2012). No feijão pode-se encontrar percentuais de amilose variando entre 24 a 65% (Vanier, 2012). O amido de feijão possui elevada temperatura de gelatinização, rápida retrogradação, resistência à deformação e elevada sinérese (Figueroa *et al.*, 2015),

parâmetros favoráveis para a estruturação de oleogéis. Além disso, sua utilização pode contribuir para a utilização de feijões envelhecidos, os quais possuem baixo valor comercial, já que não têm boa aceitação pelos consumidores. Para o aprimoramento das propriedades dos amidos, pode-se promover sua modificação (Fonseca *et al.*, 2021), que também pode fornecer maior estabilidade sob condições ácidas ou elevadas que também pode fornecer maior estabilidade sob condições ácidas ou elevadas temperaturas (Fellows, 2019).

Existem diferentes tipos de modificação, podendo ser por processos físicos, enzimáticos ou químicos (Fonseca *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2016). Um exemplo de modificação química é a utilização de anidrido octenil succínico (OSA), que torna as moléculas do amido anfifílicas, aumentando sua estabilidade em emulsões (Bai, Shi, 2011). Essa estabilidade é gerada, pois o composto que reduz a tensão entre as moléculas, impede a repulsão eletrostática (Liu *et al.*, 2016). As estruturas anfifílicas permitem a estabilização e estruturação de emulsões, ocorrendo a permanência da fase aquosa imobilizada na fase contínua (Silva; Barrera-Arellano; Ribeiro, 2021).

4.4.1.2 Modificação de amido com OSA

O amido pode ser utilizado para diversos processos nas indústrias farmacêutica, biomédica e alimentícia. Dependendo da finalidade, sua utilização pode requerer modificações para o aprimoramento de suas propriedades (Fonseca *et al.*, 2021). A utilização de OSA é uma modificação química realizada em amidos para tornar suas moléculas anfifílicas (Bai, Shi., 2011).

A partir desta modificação são introduzidos anidridos hidrofóbicos na estrutura do amido formando ésteres que apresentam grupos hidrofílicos e hidrofóbicos (Agama-Acevedo, Bello-Perez, 2017), isto é, levando a anfifilicidade das moléculas do amido, resultando na sua capacidade emulsificante (Wang *et al.*, 2022). A anfifilicidade das moléculas, alcançada pela introdução de OSA, reduz a tensão interfacial existente nas partículas dos amidos, estabilizando sua estrutura, tornando favorável a formação de emulsões e géis, por exemplo (Agama-Acevedo, Bello- Perez, 2017; Silva; Barrera-Arellano; Ribeiro, 2021; Wang *et al.*, 2022). A modificação de amidos com OSA tem um limite, estipulado pela Food and Drug Administration (FDA), de até 3% de grupos octenil succínico para utilização em alimentos.

Em seus estudos, Bajaj, Singh e Kaur (2019) modificaram amidos de diferentes origens observando que o grau de substituição variou de acordo com a composição

de amilose. Além disso, observaram um aumento na viscosidade e na capacidade de emulsificação. Em outro trabalho, desenvolvido por Liu *et al.* (2016), a modificação de amidos com OSA forneceu estrutura estável e com capacidade de estabilização de emulsões e oleogéis.

4.4.2 Cera de abelha

As ceras são ácidos graxos de cadeia longa (Silva *et al.*; Yilmaz; Uslu; Öz, 2021), compostas por hidrocarbonetos, ésteres, álcoois, entre outros compostos (Yilmaz; Uslu; Öz, 2021). Devido a sua estrutura, as ceras são caracterizadas por possuir alto ponto de fusão. Essa característica torna possível sua cristalização em óleos. Esses materiais apresentam como vantagem a elevada capacidade de interação com o óleo em baixas concentrações e baixo custo, tornando-os promissores agentes estruturantes (Silva *et al.*, 2021). Os compostos presentes na estrutura das ceras distribuem-se em partículas microcristalinas, formando uma rede tridimensional capaz de reter o óleo (Silva *et al.*; Yilmaz; Uslu; Öz, 2021). Em função da sua cadeia longa, a interface água/óleo torna-se estável a coalescência a altas temperaturas. A sua estabilidade é aumentada devido ao aumento da viscosidade, que ocorre também em função da solidificação da cera, reduzindo dessa forma a difusão (Silva *et al.*, 2021).

Posteriormente a completa fusão, durante o resfriamento, as ceras formam novos cristais, os quais aprisionam o óleo. O processo de cristalização varia de acordo com o tipo de cera, em função da sua estrutura e componentes (Martins *et al.*, 2017; Yilmaz; Uslu; Öz, 2021). Excretada das abelhas, a cera de abelha apresenta em sua composição ácidos graxos livres, hidrocarbonetos e vários ésteres, apresentando uma cadeia longa e uma curta, o que lhe confere mais maciez, quando comparada com outras ceras (Morgan; Townley; Smith, 2002). Estudos desenvolvidos por Martins *et al.* (2017) mostraram que quanto maior a concentração de cera de abelha, maior é o poder de cristalização e a temperatura de fusão, sendo possível observar uma maior interação entre as redes que aprisionam o óleo.

São escassos os trabalhos envolvendo amidos e ceras na elaboração de oleogéis e a influência desses agentes estruturantes nas propriedades físico-químicas do produto final (Gao *et al.*, 2019; Alvarez-Ramirez *et al.*, 2020). Tendo em vista as características relatadas anteriormente, dos agentes estruturantes, é relevante a

elaboração de oleogéis contendo em sua formulação amido de feijão e cera de abelha como agentes estruturantes.

4.4.3 Curcumina

Curcuma longa Linn é uma planta utilizada há muitos anos na cultura indiana devido a popularidade de seus potenciais de cura (Sueth-Santiago *et al.*, 2015; Tung *et al.*, 2019), sendo utilizada para tratar doenças infecciosas, distúrbios gástricos e hepáticos, por exemplo (Tung *et al.*, 2019). A curcumina, também conhecida com cártamo, gengibre amarelo ou açafrão (Pires *et al.*, 2021; Tung *et al.*, 2019) é um polifenol isolado do rizoma *Curcuma longa* (Tung *et al.*, 2019). Por possuir propriedades farmacológicas, seu potencial terapêutico é reconhecido para patologias como Alzheimer e doenças cardiovasculares. Além disso, a curcumina possui atividades antioxidante, anti-inflamatória, antimicrobiana e antitumoral (Pires *et al.*, 2022). Esse composto ainda, facilita a digestibilidade e tem funções como imunizante e antialérgico (Sueth-Santiago *et al.*, 2015).

A curcumina é principalmente consumida na forma de pó, mas também pode ser consumida na sua forma fresca. Seu consumo está associado a atribuição de coloração nos alimentos, além de seus atributos terapêuticos (Sueth-Santiago *et al.*, 2015). Tendo em vista a vasta ação funcional, bem como a biocompatibilidade da curcumina, a sua utilização em matrizes alimentícias é interessante para atribuir bioatividade aos alimentos.

Apesar de suas potentes funcionalidades, esse composto apresenta algumas limitações, como sensibilidade térmica e fotossensibilização. Nesse sentido, é necessário pensar em meios que viabilizem sua proteção e liberação controlada, já que sua aplicação direta pode acarretar na sua degradação. Estudos mostram diferentes meios de carreamento de curcumina podendo-se citar o encapsulamento por nanofibras e nanoemulsões para aplicação em diferentes alimentos como frutas, carnes e cereais (Lan *et al.*, 2023).

Os oleogéis também representam um meio de carreamento de compostos, possuindo estrutura capaz de aprisionar componentes servindo de mecanismo de entrega controlada. Na literatura é possível encontrar trabalhos em que há incorporação de curcumina em oleogéis. Em seus estudos Xu *et al.* (2023) desenvolveram oleogéis com óleo de noz, metilcelulose, alginato de sódio, goma xantana e carragenina incorporados de curcumina obtendo uma taxa de encapsulação

de 38,06% observando que a estrutura do oleogel foi capaz de controlar a liberação do composto. Em outro estudo, Li *et al.* (2019) elaboraram oleogéis a base de β -sitosterol e lecitina com e sem curcumina relatando maior estabilidade oxidativa nos oleogéis incorporados de curcumina, o que demonstra a atividade antioxidante dessa matéria. Além disso, os autores comprovaram um aumento na sua bioacessibilidade, reforçando que oleogéis são materiais promissores para liberar compostos. Assim, além de potencial substituto de gorduras saturadas e *trans*, os oleogéis também apresentam potencial para liberação de compostos bioativos em matrizes alimentícias.

4.5 Aplicação de oleogéis em matrizes alimentícias

A aplicação de oleogéis em matrizes alimentícias representa uma alternativa promissora para agregar um perfil de saudabilidade aos produtos, em razão do conteúdo lipídico (Manzoor *et al.*, 2021), possibilitando a incorporação de óleos, inicialmente líquidos, estado que pode influenciar negativamente nos atributos sensoriais dos alimentos, como palatabilidade oleosa (Alvarez-Ramirez *et al.*, 2020). Dentre as matrizes alimentícias que se podem incorporar os oleogéis, estão os produtos cárneos, como hambúrgueres e salsichas; os lácteos, como os sorvetes e os de panificação, como os biscoitos (Alvarez-Ramirez *et al.*, 2020). Na literatura é possível encontrar diferentes formulações de oleogéis, bem como aplicações em distintos tipos de alimentos.

Franco *et al.* (2020) elaboraram duas formulações de oleogéis, uma contendo óleo de linhaça e cera de abelha e outra com óleo de linhaça e β -sitosterol para substituições parciais de 20 e 40% de gordura em toucinho suíno. Os autores observaram que houve um melhoramento no perfil de ácidos graxos, tornando o produto mais saudável. Porém, os maiores percentuais de oleogéis resultaram em mudanças sensoriais desfavoráveis. Oleogéis contendo óleo de soja, óleo de palma e cera de candelilla foram aplicados em margarinas, sendo possível observar a redução de ácidos graxos saturados e propriedades tecnológicas estáveis, semelhantes ao produto bruto (Silva *et al.*, 2021). Alvarez-Ramirez *et al.* (2020) elaboraram oleogéis à base de cera de candelilla e óleo de canola para substituição de gordura na manteiga para aplicação em pão de ló e observaram que maiores concentrações de oleogel proporcionaram menor dureza e coesividade. Em contrapartida, notaram elevação na capacidade de digestibilidade do amido.

No estudo desenvolvido por Gao *et al.* (2021), apesar de ter sido relatada uma redução de gorduras saturadas, com aumento de insaturadas, houve modificação das características físico-químicas e sensoriais do produto com o tempo de armazenamento, evidenciando a necessidade de aprimoramento na aplicação de oleogéis. Utilizar compostos antioxidantes na elaboração de oleogéis pode ser uma alternativa para a conservação de suas propriedades e estabilidade. Manzoor *et al.* (2022) retrataram um estudo sobre o desenvolvimento de oleogéis contendo óleo de linhaça, óleo de peixe, azeite de oliva, etilcelulose e cera de abelha para aplicação em hambúrguer. A aplicação dos oleogéis à base de cera de abelha no produto cárneo foi satisfatória referente a aceitabilidade sensorial, bem como as propriedades estruturais. Os oleogéis incorporados de curcumina, apesar de reduzir o processo de oxidação dos lipídios, tiveram sensorialmente menor aceitação devido à cor amarelada.

Embora o uso de oleogéis em matrizes alimentícias seja atual, observa-se que existem diversos trabalhos que abordam a necessidade da substituição de gorduras saturadas e *trans* e o uso de oleogéis para este fim. Neste trabalho será abordada a elaboração de oleogéis a partir de constituintes não encontrados na literatura (amido de feijão carioca e cera de abelha como agentes estruturantes e a incorporação de curcumina como agentes bioativos), formando um oleogel bioativo capaz de substituir gorduras e com potencial para estender a vida útil de alimentos.

5. Material e Métodos

5.1 Material

Feijão carioca (*Phaseolus vulgaris*); óleo de girassol (Liza, lote L 09C) e cera de abelha foram obtidos no comércio local de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Anidrido Octenil Succinico (OSA) de grau analítico (utilizado para a modificação do amido).

5.2 Metodologia

5.2.1 Extração do amido de feijão

A extração do amido de feijão carioca foi realizada seguindo a metodologia descrita por Rupollo *et al.* (2011), com modificações. Primeiramente 10.000 g de feijão foram moídas em moinho (Artisan, Perten 3100, Estados Unidos). A farinha obtida do processo de moagem foi submersa em solução de bissulfito de sódio (NaHSO_3) 0,16% durante 24 h a temperatura de 4 °C. Posteriormente, descartou-se o sobrenadante da solução, e adicionada água destilada para homogeneização em liquidificador. O material homogeneizado, foi filtrado em peneira de 200 mesh e deixado em repouso por três 3 h. Na etapa seguinte realizou-se a remoção do sobrenadante e a camada de amido decantada foi ressuspensa em água destilada, sendo, em seguida, centrifugada a 12 000 x g por 10 min. A camada superior foi removida com uma espátula e a camada inferior, composta por amido, foi ressuspensa em água destilada e centrifugada nas mesmas condições anteriores. O amido coletado foi seco em estufa a 40 °C por 12 h, peneirado em peneira de 250 mesh e armazenado em recipiente hermético.

5.2.2 Modificação química do amido

A modificação do amido de feijão com OSA seguiu a metodologia descrita em Bai, Shi (2011), em que 100 g de amido foram dispersos em 150 mL de água destilada sob agitação com agitador magnético (Fisatom, modelo 752A, Brasil). O pH da solução foi mantido próximo a 8,0 a partir da adição de hidróxido de sódio (NaOH) 1 mol.L⁻¹, sendo medido em pHmetro (Kasvi K39-1014B, Brasil).

Após a estabilização do pH, se adicionou lentamente, a partir de bureta, à dispersão de amido 3% de OSA, o qual foi solubilizado previamente em 10 mL de etanol. Após aproximadamente 2 h de reação, adição de OSA à dispersão, a solução foi acidificada em pH 6,0 com ácido clorídrico (HCl) 1 mol.L⁻¹, sendo procedida

posteriormente a filtração a vácuo embomba de vácuo (Solab, modelo SL – 61, Brasil). O amido obtido na filtração foi lavado com 300 mL de água destilada e seco em estufa de circulação de ar (Ethiktechnology, Brasil) a 40 °C por 48 h. Ao final da secagem o amido foi peneirado em peneira de 250 mesh e armazenado em recipiente hermético.

5.2.3 Determinação do grau de substituição do amido modificado

O grau de substituição do amido modificado, equivalente ao número médio de octenilsuccinato derivados por unidade de glicose, foi determinado através do método descrito por Liu *et al.* (2008). Sendo assim, 5 g do amido modificado foram solubilizados em 50 mL de água destilada. Posteriormente adicionou-se 25 mL de NaOH 0,5 mol.L⁻¹. A solução foi mantida sob agitação em agitador magnético (Fisatom, 752A, Brasil) por 24 h. Por fim realizou-se a titulação com HCl 0,5 mol.L⁻¹ sobre a solução de amido, até a mudança de pH indicada por fenolftaleína (pH ~ 8,3). O mesmo processo foi repetido utilizando o amido de feijão nativo para obtenção do branco. Para a determinação do grau de substituição foram utilizadas a Equação 1 e 2.

$$\text{OSA substituição (\%)} = \frac{(V_{\text{branco}} - V_{\text{amostra}}) \times 0,1 \times M \times 100}{P} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

OSA: porcentagem em peso de substituição por anidrido octenil succínico

V_{branco}: volume de HCl necessário para a titulação do branco

V_{amostra}: volume de HCl necessário para a titulação da amostra

M: molaridade da solução de HCl

P: peso da amostra (g)

$$DS = 162 \times \text{OSA substituição (\%)} \frac{162 \times \text{OSA substituição (\%)}}{2100 - 209 \times \text{substituição (\%)}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

OSA: porcentagem em peso de substituição por anidrido octenil succínico

DS: grau de substituição

5.2.4 Propriedades de pasta (RVA) dos amidos

As propriedades de pasta dos amidos foram avaliadas utilizando um analisador rápido de viscosidade (RVA - Rapid Visc Analyser, Newport Scientific, Austrália). A partir dessa análise foram avaliadas a temperatura de pasta, pico de viscosidade, viscosidade mínima, quebra na viscosidade, retrogradação e viscosidade máxima.

5.2.5 Teor de amilose dos amidos

O teor de amilose foi determinado por método colorimétrico com iodo (I) (Mcgrance; Cornell; Rix, 1998). Uma quantidade de 20 mg dos amidos de feijão nativo e modificado, previamente desengordurados por soxhlet foram agitadas com 9 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) 90% (v/v, em água destilada). A mistura foi submetida a temperatura de 85 °C em banho digestor durante 2 h. O conteúdo foi transferido para balão volumétrico de 25 mL, fazendo o ajuste do volume, após arrefecimento. Foi retirada uma alíquota de 1 mL de cada solução, adicionando-se 5 mL da solução de I₂/KI (0,0025 mol.L⁻¹ de I₂ e 0,0065 mol.L⁻¹ de KI), posteriormente sendo avolumado para 50 mL. A solução resultante foi homogeneizada e mantida em repouso no escuro por 15 min. A leitura da absorbância foi realizada a 600 nm em espectrofotômetro (JENWAY 6705 UV/Vis, Espanha). Para a construção da curva padrão de amilose foram utilizadas 20 mg de amilose de batata pura (A0512-250 mg Sigma-Aldrich, Lote: SLCC4528) sendo retiradas alíquotas de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 e 1,0 mL para determinação da absorbância.

5.3 Caracterização do óleo de girassol

5.3.1 Perfil de ácidos graxos

O óleo de girassol foi caracterizado pelo conteúdo de ácidos graxos, segundo o procedimento descrito por Lutz (2008), utilizando-se um cromatógrafo gasoso (Shimadzu, GC-2010, Japão) acoplado a um detector com espectrômetro de massas (Shimadzu, GCMS-QP2020, Japão) e equipado com uma coluna capilar desílca fundida SP 2560 (100 m x 0,25 mm x 0,10 µm). A derivatização dos

ácidos graxos do óleo em ésteres metílicos foi realizada com base no método de Moss *etal.* (1974).

5.3.2 Índice de peróxidos

A determinação do índice de peróxidos do óleo de girassol foi realizada seguindo a metodologia descrita em Lutz (2008). Para tal, 5 g de óleo de girassol, foi dissolvida em 30 mL de solução de ácido acético e clorofórmio (3:2) para posterior homogeneização com 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio (KI) 15%. Por fim, a solução foi titulada com tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,01 mol.L⁻¹, sendo adicionada solução de amido para indicação do fim da titulação, no desaparecimento da coloração azul. Com o volume gasto obtido, o índice de peróxidos foi calculado de acordo com a equação 3.

$$\text{Índice de peróxidos (meq)} = \frac{(A-B) \times N \times f \times 1000}{P} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

A: volume gasto de tiosulfato de sódio na titulação da amostra

B: volume gasto de tiosulfato de sódio na titulação do branco

N: normalidade da solução de tiosulfato de sódio

f: fator de correção da solução de tiosulfato de sódio

P: peso da amostra (g)

5.3.3 Índice de acidez

A atividade hidrolítica do óleo de girassol foi determinada seguindo Lutz (2008). Foi preparada uma solução contendo 2 g de óleo de girassol e éter-álcool (2:1), a qual foi titulada com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol.L⁻¹. A fenolftaleína foi utilizada como indicador do fim da titulação, a partir da qual se obteve o volume gasto e a determinação da acidez se deu pela Equação 4.

$$\text{Atividade hidrolítica em (\%)} = \frac{v \times f \times M \times 28,2}{P} \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

V: volume gasto de hidróxido de sódio na titulação

M: molaridade da solução de hidróxido de sódio

f: fator da solução de hidróxido de potássio

P: peso da amostra (g)

5.4 Elaboração de oleogéis a base de amidos de feijão ativo e modificado, com diferentes concentrações de curcumina

Os oleogéis foram elaborados com diferentes tratamentos. Posteriormente, foram realizadas análises em 1, 15 e 30 dias de armazenamento, de acordo com o descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos e análises dos oleogéis.

Tratamentos	Variáveis independentes			Variáveis dependentes*
	Amido	Curcumina (%)	Tempo (dias)	
1	Nativo	0	1	Capacidade de retenção de óleo
2		0,1		Estabilidade de gel
3		0,5		Estabilidade oxidativa
4	Modificado	0	15	Parâmetros de cor
5		0,1		Perda de peso
6		0,5		Atividade antioxidante

*Atividade antioxidante pelos radical FRAP (FerricReducing Antioxidant Power)

5.4.1 Metodologias

5.4.1.1 Elaboração dos oleogéis

A elaboração dos oleogéis foi baseada na metodologia descrita por Gao e Wu (2020), com algumas modificações. Para a formação das amostras utilizou-se 4,3% de amidos de feijão carioca nativo e, posteriormente, modificado; 2,15% de cera de abelha; 34% de óleo de girassol e 59,55% de água. As matrizes foram homogeneizadas a temperatura de aproximadamente 90 °C em banho termostático com panela (Fisatom - modelo 550, Brasil) com agitador magnéticodigital (IKA RW 20, China), variando de 680 a 1100 rpm. Após a formação do sistema, os oleogéis foram emplacedos em placas de Petri e armazenados sob refrigeração (~4 °C).

5.4.1.2 Capacidade de retenção dos oleogéis

A capacidade de retenção dos oleogéis foi determinada de acordo com Yilmaz e Öğütcü (2014), com algumas modificações. Primeiramente tubos de *ependorf* vazios foram pesados, sendo adicionado aproximadamente 1 g de oleogel. Posteriormente as amostras foram centrifugadas, a 13 000 x g durante 15 min a 16 °C. Por fim, os *ependorf* foram vertidos para a drenagem do óleo e as amostras foram pesadas.

5.4.1.3 Estabilidade de gel dos oleogéis

A análise de estabilidade dos oleogéis foi realizada de acordo com Gao e Wu (2020) com adaptações. Os oleogéis foram colocados em frascos de vidro, que foram dispostos verticalmente para cima e para baixo. As amostras foram armazenadas em temperatura de refrigeração (aproximadamente 4 °C) num período de 30 dias, sendo realizadas avaliações de separação de fases e exsudação de óleo na superfície do oleogel. As amostras foram fotografadas a cada 15 dias.

5.4.1.4 Atividade hidrolítica

A atividade hidrolítica dos oleogéis foi realizada a partir das determinações do índice de peróxidos e acidez conforme descrito nos itens 5.3.2 e 5.3.3, respectivamente. A avaliação foi realizada em 0, 15 e 30 dias de armazenamento.

5.4.1.5 Perfil de textura

O perfil de textura foi avaliado com base na metodologia descrita por Giacomozzi, Palla e Carrín (2021) com modificações. A determinação foi realizada em texturômetro (TA.XTplus, StableMicro Systems, RU) utilizando *probe* cilíndrico de aço inoxidável (P/20, diâmetro de 20 mm), em velocidade de 5,0 m/s e distância de 17,0 mm. Foram avaliados os parâmetros de: dureza (expressa pela força máxima para comprimir a amostra na primeira compressão); flexibilidade (medida pela altura que a amostra recupera durante o tempo que decorre entre o final da primeira compressão e o início da segunda); adesividade (área do pico negativo formado quando o êmbolo é puxado da amostra); coesividade (calculada como a razão entre a área do segundo pico pela área do primeiro pico) e gomosidade (obtida pela multiplicação da dureza pela coesividade).

5.4.1.6 Parâmetros de cor

A determinação dos parâmetros de cor foi realizada a partir do método CIE L*, a* e b*, utilizando um colorímetro (Minolta CR-300, EUA), cujo iluminador é D65, 10°. Na análise foram determinados: L* (escuro (0) a claro (100), a* (verde (-) a vermelho (+) e b* (azul (-) a amarelo (+)).

5.4.1.7 Perda de peso

Para a determinação da perda de peso, aproximadamente 5 g de amostra foram colocadas em placas de Petri (35 x 10 mm), determinando-se as diferenças de pesos nos dias 0, 15 e 30. As amostras foram armazenadas sob refrigeração. A perda de peso foi calculada de acordo com a equação 5.

$$\text{Perda de peso (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que:

A: peso inicial (g)

B: peso final (g)

5.4.1.8 Difração de Raio X (DRX)

Os diagramas de raios X e a cristalinidade relativa (CR) foram obtidos utilizando um difratômetro de raios X (Shimadzu, modelo Lab-X, XRD-6000, Japão). A CR foi calculada conforme descrito por Rabek na Equação 5. Os parâmetros utilizados para a análise foram uma região de varrimento de 10-45°, tensão alvo de 30 kV, corrente de 30 mA e velocidade de varrimento de 2°/min.

$$\text{Rc (\%)} = \frac{A_c}{(A_c + A_a)} \times 100 \quad \text{Eq. (6)}$$

Em que:

A_c: área cristalina

A_a: área amorfa nos difratogramas de raios X

5.4.1.9 Atividade antioxidante por FRAP

A capacidade redutora de ferro (FRAP) foi determinada de acordo com o método descrito por da Silva *et al.* (2013), com algumas modificações. O reagente FRAP (solução complexante de Fe³⁺) foi preparado na proporção 1:1:10 com solução de TPTZ 10 mol.L⁻¹, solução de cloreto férrico (FeCl₃) 20 mol.L⁻¹ e solução tampão de acetato de sódio (C₂H₃NaO₂) 0,25 mol.L⁻¹, pH = 3,5, respectivamente. Foram homogeneizados 100 mg do oleogel em 270 µL de álcool etílico e 2,7 mL do reagente

FRAP. As amostras foram mantidas em banho-maria a 37 °C por 30 min. A redução do complexo de Fe^{3+} para Fe^{2+} foi verificada através da leitura da absorbância no comprimento de onda a 595 nm em espectrofotômetro (JENWAY 6705 UV/Vis, Espanha). A quantificação foi baseada em uma curva de calibração obtida usando o composto Trolox ($y = 0,0017x + 0,2487$, $R_2=0,992$), e os resultados foram expressos como μmol equivalentes de Trolox (TE) por mg de oleogel. A análise antioxidante por FRAP também foi realizada para o óleo de girassol, a cera de abelha e a curcumina, adotando-se o mesmo procedimento.

5.4.1.10 Análise estatística

A análise estatística foi realizada a partir da comparação dos dados obtidos nas análises de capacidade de retenção, estabilidade oxidativa, perfil de textura, parâmetros de cor, perda de água, atividade antioxidante por FRAP pela análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação das médias ($p \leq 0,05$).

6 Resultados e Discussão

6.1 Caracterização dos amidos

Os teores de amilose obtidos para os amidos de feijão carioca, nativo e modificado, foram 41,2% e 26,2%, respectivamente. Esses resultados estão dentro dos valores encontrados na literatura. Figueroa *et al.* (2015) relataram que os percentuais de amilose de amidos podem variar entre 22 e 45%. Em seus estudos, Los *et al.* (2021) encontraram um percentual entre 40,06 e 42,60% de amilose em amido de feijão carioca. No presente estudo, o percentual de amilose do amido modificado reduziu em 36% em relação ao amido nativo, o que pode ser explicado pela redução na capacidade de formação do complexo com o iodo durante a determinação de amilose, devido a um impedimento estérico causado pela utilização de OSA (Xu *et al.*, 2023). Essa redução também pode ser devido a uma possível despolimerização parcial das moléculas de amilose promovida pelo processo de esterificação.

O grau de substituição alcançado neste trabalho, em 2 h de reação, foi de $5,44 \times 10^{-3}$. Bai e Shi (2011) realizaram a modificação com OSA em uma reação com duração de 1 h em amido de milho e obtiveram um grau de substituição de $1,89 \times 10^{-2}$. Em seus estudos, Salgado *et al.* (2023) encontraram um grau de substituição de 4×10^{-2} para amido de pitomba em 4 h de reação com OSA. Além disso, os autores citaram trabalhos com grau de substituição de 6×10^{-3} , resultado próximo ao encontrado no presente trabalho. Xu *et al.* (2023) reportaram um grau de substituição de 8×10^{-3} observando um aumento quando concentrações maiores de OSA (reação de 3 h) foram utilizadas em amido de argila. O grau de substituição pode variar de acordo com o tipo e a estrutura do amido e as condições da reação.

O perfil viscoamilográfico dos amidos nativo e modificado estão apresentados na Figura 3 e tabela 2.

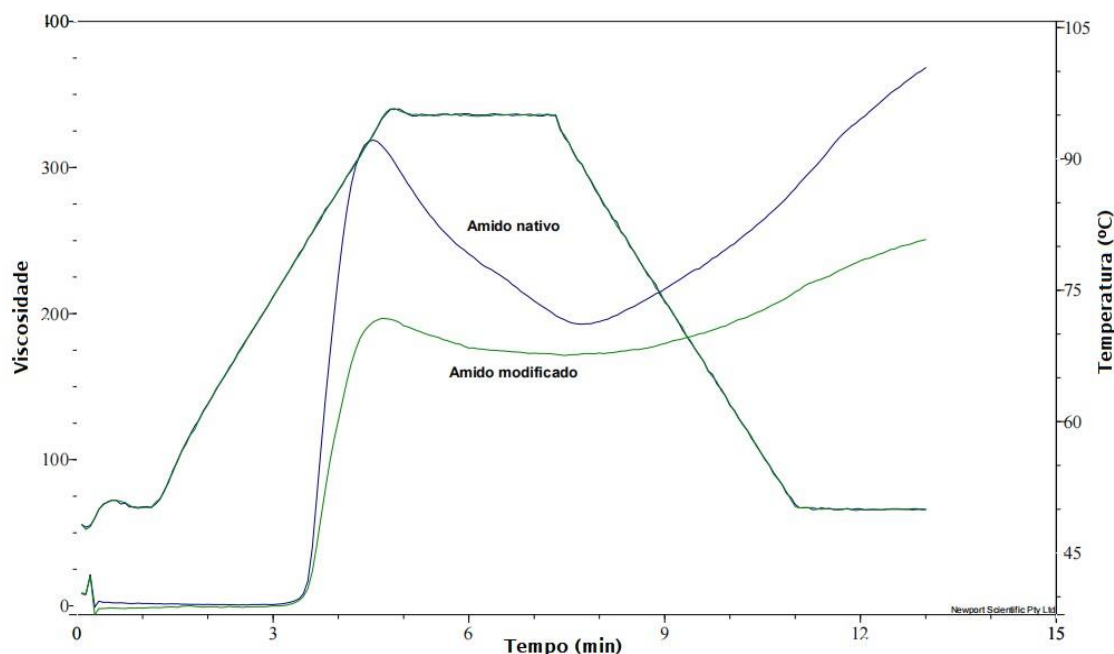


Figura 2. Cuvas de RVA dos amidos nativo e modificado

Na Tabela 2 estão expostos os resultados das propriedades de pasta dos amidos de feijão carioca nativo e modificado.

Tabela 2. Propriedades de pasta dos amidos de feijão nativo e modificado.

Parâmetros	Amido nativo	Amido modificado
Temperatura da pasta (°C)	78,25 ± 0,05 ^A	79,50 ± 0,30 ^A
Viscosidade máxima (RVU)	317,63 ± 1,20 ^A	195,54 ± 1,21 ^B
Quebra na viscosidade (RVU)	130,96 ± 4,96 ^A	28,79 ± 3,46 ^B
Retrogradação (RVU)	180,54 ± 4,96 ^A	82,08 ± 2,75 ^B
Viscosidade final (RVU)	367,21 ± 1,21 ^A	248,84 ± 1,92 ^B

*RVU: Unidade de RVU (*Rapid Visco Unit*)

A temperatura de pasta é um parâmetro que indica o início do aumento de viscosidade de pasta, devido ao processo de gelatinização do amido. A modificação com OSA não alterou este parâmetro do amido. Os resultados

obtidos neste estudo estão próximos aos encontrados no estudo de Los *et al.* (2022) que obtiveram temperaturas de pasta variantes entre 75,18 e 82,60 °C para amido de feijão. A modificação do amido com OSA reduziu a viscosidade máxima, viscosidade finale retrogradação em comparação ao amido nativo. Isso ocorreu em função da esterificação do amido com OSA, a qual pode causar uma perturbação nas interações intermoleculares e uma possível quebra parcial das moléculas. Uma vez sendo inseridas moléculas apolares na estrutura dos amidos, pode ocorrer uma limitação na capacidade de retenção de água, o que justifica a diminuição na viscosidade (Quintero-Cataño *et al.*, 2020).

A esterificação do amido com OSA ocorre por meio da introdução de grupos funcionais do ácido octenilsuccínico que reagem com grupos hidroxila do amido. O efeito da esterificação nas propriedades de pasta do amido dependerá de vários fatores, incluindo o tipo de amido, o grau de esterificação, o tipo de éster formado e as condições de processamento. A esterificação pode alterar a solubilidade do amido em água. Em alguns casos, pode aumentar a solubilidade, tornando o amido mais facilmente dispersível, aumentando a viscosidade da pasta. Em outros casos, pode diminuir a solubilidade, resultando em menor viscosidade, devido a introdução de grupos éster na estrutura do amido que diminuem sua afinidade por água e, conseqüentemente, reduzem as interações hidrofílicas. Isso pode afetar as propriedades de inchamento e solubilidade do amido, resultando em uma diminuição na viscosidade.

A quebra na viscosidade reduziu aproximadamente 4 vezes no amido modificado, o que evidencia a estabilidade do amido modificado frente a temperaturas elevadas e energia mecânica. Além disso, a modificação por OSA reduziu a retrogradação em menos da metade do valor obtido para o amido nativo, o que pode ser explicado pela composição de amilose:amilopectina (cadeia linear e ramificada, respectivamente), interferindo na reassociação estrutural, ou seja, mantendo as cadeias mais distantes.

Resultados semelhantes foram encontrados por Quintero-Cataño *et al.* (2020). No entanto, Wang *et al.* (2022) observaram um aumento na viscosidade e temperatura de pasta de amido de milho modificado. Os autores atribuíram este comportamento a repulsão das moléculas com a mesma carga após a inserção de OSA. Na modificação com diferentes fontes de amido (arroz, aveia, amaranto, quinoa, milho ceroso, trigo e aveia), When *et al.* (2020) reportaram uma redução

na temperatura de pasta. No estudo foi relatado que a modificação com OSA interfere, enfraquecendo as potenciais duplas hélices entre as cadeias de amilopectina pela inserção de cadeias hidrofóbicas. Dessa forma, o inchaço nos grânulos de amido ocorre mais rapidamente.

6.2 Caracterização do óleo de girassol

A determinação de ácidos graxos nos óleos é importante para avaliar sua qualidade e estabilidade. Na Tabela 3, são apresentados os ácidos graxos encontrados no óleo de girassol. Esse óleo é composto principalmente por ácidos graxos insaturados, representando um total de 83,12%. Dentre os ácidos graxos insaturados, destaca-se a alta concentração de ácido linoleico (C18:2), um ácido graxo poli-insaturado, que corresponde a 44,40% do óleo de girassol. Em seguida, temos o ácido oleico (C18:1), um ácido graxo monoinsaturado, presente em uma concentração de 38,72%. Em menores proporções, estão presentes os ácidos graxos saturados mirístico (9,58%), esteárico (6,12%) e behênico (1,18%). Esses resultados fornecem informações importantes sobre a composição do óleo de girassol, destacando sua predominância em ácidos graxos insaturados, o que é relevante para a saúde e para a indústria alimentícia devido a demanda por produtos com um perfil de ácidos graxos mais saudável.

O óleo de girassol, ocupa o quarto lugar entre os óleos mais produzidos no mundo e possui elevada quantidade de ácidos graxos insaturados, principalmente o ácido graxo essencial linoleico (ômega 6). A utilização deste óleo tem aumentado nos últimos anos em razão de ter propriedades sensoriais satisfatórias e estabilidade oxidativa considerável (Ferro *et al.*, 2021).

Tabela 3. Perfil de ácidos graxos presentes no óleo de girassol em porcentagem.

Ácidos graxos	Denominação	Área (%)
C14:0	Ácido mirístico	9,58
C18:0	Ácido esteárico	6,12
C18:1	Ácido oleico (ω 9)	38,72
C18:2	Ácido linoleico (ω 6)	44,40
C22:0	Ácido beénico	1,18
Saturados		16,88
Monoinsaturados		38,72
Poli-insaturados		44,40

O índice de peróxido é uma análise que está relacionada com a oxidação de uma amostra, isto porque os peróxidos são formados na oxidação dos lipídios. Quanto maior o índice de peróxidos maior é o grau de oxidação (Lutz, 2008). O óleo de girassol apresentou um índice de peróxidos de 2,71 mEq.g.O₂/g⁻¹. Resultado próximo ao encontrado nos estudos de Bascuas *et al.* (2020) com um índice de peróxidos para óleo de girassol de 1,88 mEq.g.O₂/g⁻¹. Esses resultados indicam que o óleo está de acordo com o descrito na legislação, uma vez que a Instrução Normativa nº 87, de 15 de março de 2021, estabelece um valor máximo do índice de peróxidos de 10 mEq.g.O₂/g⁻¹. Tendo em vista que o teor de peróxidos está relacionado com o índice de oxidação dos óleos e gorduras. Óleos com baixo teor de peróxidos indicam baixo potencial oxidativo o que é importante para aplicação em alimentos, já que a oxidação afeta a qualidade e as características sensoriais dos produtos.

Já o índice de acidez determina a quantidade de ácidos graxos livres em um produto, os quais são formados pela degradação do conteúdo lipídico dos óleos. Logo, quanto o índice de acidez de uma amostra, maior é o grau de degradação desta (Lutz, 2008). Essa análise é importante para avaliação da estabilidade e qualidade do produto. A acidez calculada para o óleo de girassol

foi de 0,09 mg KOHg⁻¹, valor considerado dentro do limite estipulado em legislação que é de 0,6 mg KOHg⁻¹, o que o torna propício para consumo humano e na elaboração dos oleogéis.

6.3 Capacidade de retenção de óleo dos oleogéis

A capacidade de retenção de óleo (Tabela 4) foi realizada nos oleogéis de óleo de girassol, amido de feijão (nativo ou modificado) e cera de abelha incorporados com curcumina (0; 0,1 e 0,5%), os quais foram armazenados por 30 dias. Essa análise está relacionada com a capacidade de um oleogel em reter um óleo vegetal.

Tabela 4. Capacidade de retenção de óleo, em diferentes dias de armazenamento, de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).

Amido	Curcumina (%)	Capacidade de retenção de óleo (%)		
		Tempo de armazenamento (dias)		
		1	15	30
Nativo	0	99,99 ± 0,00 ^{Aa}	99,93 ± 0,08 ^{Aab}	99,71 ± 0,05 ^{Ba}
	0,1	99,96 ± 0,03 ^{Aa}	99,54 ± 0,72 ^{Aab}	99,48 ± 0,38 ^{Aa}
	0,5	99,99 ± 0,01 ^{Aa}	99,99 ± 0,01 ^{Aa}	99,87 ± 0,01 ^{Aa}
Modificado	0	98,04 ± 0,81 ^{Ab}	98,31 ± 1,29 ^{Ab}	96,71 ± 1,73 ^{Ab}
	0,1	99,31 ± 0,43 ^{Aa}	99,51 ± 0,18 ^{Aab}	99,45 ± 0,21 ^{Aa}
	0,5	99,24 ± 0,02 ^{Ba}	99,71 ± 0,03 ^{Aab}	99,81 ± 0,11 ^{Aa}

A, B, C Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente para os diferentes dias de armazenamento associado ao mesmo tratamento. ^{a,b,c} Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem quanto ao tratamento [diferentes fontes de amidos e concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%, p/p) nos oleogéis] no mesmo dia de armazenamento pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Ao observar o tempo de armazenamento foi possível verificar que a capacidade de retenção de óleo dos oleogéis se manteve acima de 96% durante o período de armazenamento. Esse percentual elevado demonstra que os oleogéis apresentaram estabilidade e capacidade de aprisionamento do óleo de girassol, evidenciando que os agentes estruturantes (amidos e cera) formaram uma rede eficiente que impediu a migração de óleo e assim a separação de fases. Resultados semelhantes foram encontrados em Yilmaz e Öğütcü (2014), que obtiveram uma capacidade de retenção próxima a 98% em oleogéis a base de azeite de oliva, cera de abelha e cera de girassol. O tratamento com amido modificado incorporado de 0,5% de curcumina apresentou uma capacidade de retenção inferior no dia 1 comparado aos 15 e 30 dias de armazenamento. Dados semelhantes foram discutidos em Bascuas *et al.* (2020), que justificaram a diminuição na capacidade de retenção no primeiro dia de avaliação de seus oleogéis com a semicristalização de seus constituintes.

Em relação aos diferentes tratamentos a capacidade de retenção diferiu estatisticamente para amido modificado sem curcumina nos dias 1 e 30 dias. Dessa forma pode-se verificar que amido modificado sem curcumina não teve a mesma capacidade de reter o óleo que modificados com curcumina. Isso pode ser explicado pelo baixo grau de substituição alcançado no processo de modificação. O aumento na capacidade de retenção de oleogéis com amido modificado e curcumina se explica pela hidrofobicidade do composto bioativo que pode se incorporar a fase oleosa auxiliando na estabilidade da estruturação do oleogel.

Os resultados encontrados de capacidade de retenção de óleo dos oleogéis neste estudo foram superiores aos encontrados em Giacomozzi, Palla e Carrín (2021), cujas capacidades de retenção encontradas para os oleogéis de monogliceróis e óleo de girassol (com alto teor de oleico) apresentaram média próxima a 90% em 3 semanas, observando uma redução para aproximadamente 88% em 4 semanas de armazenamento. Segundo os autores, a redução na capacidade de retenção de óleos está associada ao enfraquecimento das ligações existentes entre os agentes estruturantes. A capacidade de retenção de óleos é importante para a estabilidade dos oleogéis. Com a estabilidade da estruturação de óleos vegetais não há perda de óleo e assim evita-se a desfragmentação dos oleogéis e interferência nos atributos sensoriais da matriz alimentícia em que o oleogel for aplicado (Milão *et al.*, 2023).

6.4 Estabilidade de gel nos oleogéis

A estabilidade de gel foi observada ao longo de 30 dias do armazenamento nos oleogéis constituídos de óleo de girassol, amido de feijão (nativo ou modificado) e cera de abelha incorporados de curcumina (0; 0,1% e 0,5%). De acordo com as Figuras 4 e 5, é possível observar que os oleogéis permaneceram estáveis durante os dias de armazenamento avaliados, o que demonstra firmeza dos géis formados. Além disso, pode-se avaliar que não houve separação de fases nesse período, revelando a eficiência de estruturação dos oleogéis com amidos, nativo ou modificado, em diferentes concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%). A utilização dos amidos nativo ou modificado para estruturar oleogéis não alterou suas estabilidades, bem como a incorporação de curcumina em diferentes concentrações. Gao e Wu (2020), relataram diferentes resultados para estabilidade do gel. Os autores observaram a redução da estabilidade em função do aumento de agente estruturante (amido de batata e cera de candelila).



Figura 3. Estabilidade em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amido nativo e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p)

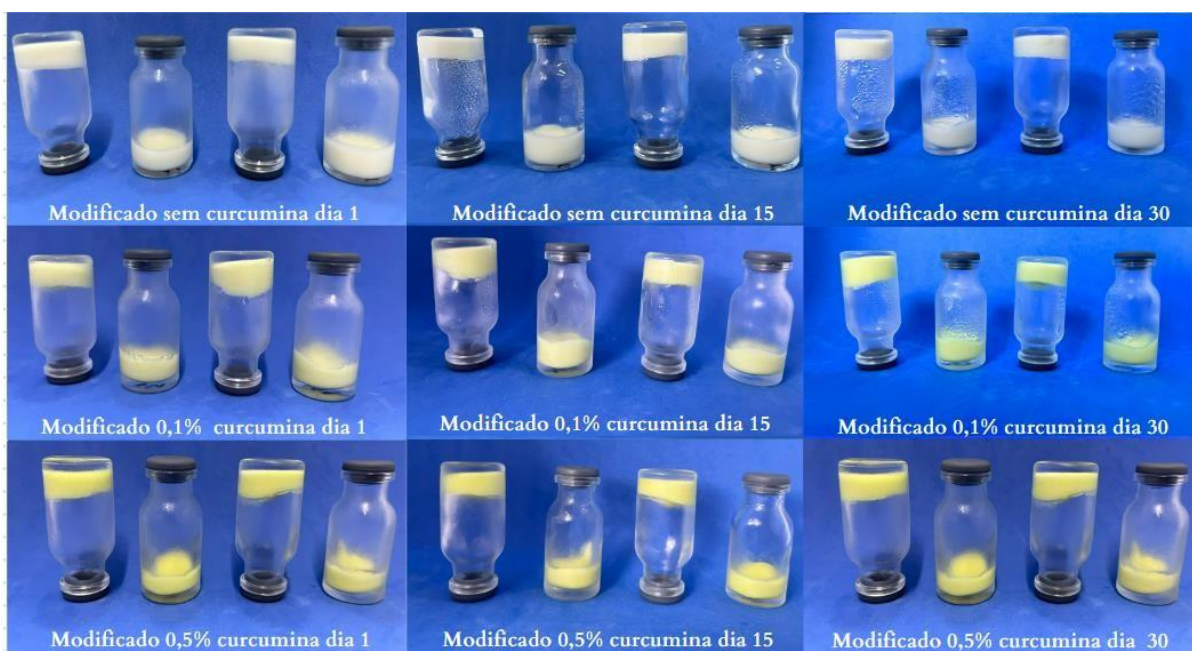


Figura 4. Estabilidade em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amido modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).

Tendo em vista os resultados obtidos nesta avaliação é possível relatar que os oleogéis a base de amidos de feijão carioca nativo ou modificado, com ou sem curcumina, se mantiveram estáveis nos 30 dias de armazenamento, não havendo separação de fases. A estabilidade dos oleogéis é um parâmetro importante para manter as características tecnológicas e sensoriais da matriz alimentícia em que forem aplicados. Tendo em vista os resultados obtidos no presente estudo, considerando a avaliação em 30 dias de armazenamento, é possível verificar que os oleogéis elaborados aqui representam alternativas viáveis para aplicação em alimentos, como produtos cárneos e de panificação.

6.5 Atividade hidrolítica dos oleogéis

A atividade oxidativa dos oleogéis de óleo de girassol, amido de feijão (nativo ou modificado) e cera de abelha incorporados com diferentes concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%) foi determinada a partir da análise dos índices de acidez (atividade hidrolítica) (Tabela 5) e peróxidos (Tabela 6), as quais foram avaliadas em 1, 15 e 30 dias de armazenamento. Em relação aos diferentes dias de armazenamento, o índice de acidez (Tabela 5) teve uma diminuição nos 30 dias de armazenamento para os oleogéis de amido modificado.

Já para o amido nativo foi observado um aumento no dia 15 e entre os dias 1 e 30 nenhuma diferença estatística.

Ao observar os diferentes tratamentos, nota-se que no dia 1 as amostras de amido modificado (com e sem curcumina) apresentaram um índice de acidez maior em relação ao amido nativo (com e sem curcumina). Nos dias 15 e 30 os oleogéis com amidos nativo e modificado sem curcumina apresentaram acidez maior quando comparados com os amidos nativo e modificado incorporados de curcumina (0,1 e 0,5%).

Tabela 5. Atividade hidrolítica em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).

Amido	Curcumina (%)	atividade hidrolítica mg KOH/g		
		Tempo de armazenamento (dias)		
		1	15	30
Nativo	0	0,14 ± 0,04 ^{Bb}	0,50 ± 0,02 ^{Aa}	0,15 ± 0,02 ^{Bab}
	0,1	0,08 ± 0,02 ^{Bb}	0,39 ± 0,04 ^{Ab}	0,12 ± 0,02 ^{Bbc}
	0,5	0,12 ± 0,02 ^{Bb}	0,40 ± 0,04 ^{Ab}	0,11 ± 0,02 ^{Bc}
Modificado	0	0,46 ± 0,04 ^{Ba}	0,53 ± 0,00 ^{Aa}	0,18 ± 0,00 ^{Ca}
	0,1	0,41 ± 0,02 ^{Aa}	0,43 ± 0,02 ^{Ab}	0,14 ± 0,00 ^{Babc}
	0,5	0,43 ± 0,02 ^{Aa}	0,41 ± 0,02 ^{Ab}	0,15 ± 0,02 ^{Bab}

A, B, C Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente para os diferentes dias de armazenamento associado ao mesmo tratamento. a,b,c Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem quanto ao tratamento [diferentes amidos e concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%, p/p) nos oleogéis] no mesmo dia de armazenamento pelo teste de Tukey (p < 0,05).

O índice de acidez para todos os oleogéis avaliados estão dentro do estabelecido em legislação (0,6 mg KOH/g), comprovando que os oleogéis podem ser adicionados às matrizes alimentícias já que apresentaram atividade hidrolítica aceitável,

fornecendo, assim, segurança, qualidade e aspectos sensoriais satisfatórios durante o armazenamento dos produtos.

O índice de peróxidos foi avaliado para os oleogéis durante os 30 dias de armazenamento (Tabela 6). Ao avaliar os diferentes dias de armazenamento é possível observar que o oleogel de amido nativo sem curcumina não variou o índice de peróxido nos diferentes dias de armazenamento. Já o oleogel de amido modificado sem curcumina apresentou um aumento no índice de peróxidos sucessivo ao longo dos dias 1 para 15. Comportamento diferente pode ser observado pelas amostras de nativo e modificado incorporados com curcumina (0,1 e 0,5%) que apresentaram índice de peróxidos aumentado no dia 15 e posteriormente reduzidos, no dia 30. Manzoor *et al.* (2022) relataram que a incorporação de curcumina em oleogéis a base de cera de abelha aumentou a sua estabilidade oxidativa. Isso explica os menores teores de peróxidos em tratamentos com curcumina, evidenciando seu potencial antioxidante.

Ao avaliar os diferentes tratamentos, nota-se que no dia 1, os menores índices de peróxidos foram para oleogéis com amido modificado incorporados de curcumina (0,1 e 0,5%), enquanto os outros tratamentos apresentaram índices maiores. No dia 15 as amostras com amido nativo sem curcumina e amido modificado com 0,5% de curcumina apresentaram os menores índices de peróxidos. O maior índice de peróxidos obtido foi para a amostra de amido modificado com 0,1%. O restante dos tratamentos apresentou resultados intermediários e semelhantes entre si.

Tabela 6. Índice de peróxidos em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).

Amido	Curcumina (%)	Índice de peróxidos (mEq.g.O ₂ .g ⁻¹)		
		Tempo de armazenamento (dias)		
		1	15	30
Nativo	0	5,80 ± 1,14 ^{Aab}	4,59 ± 1,07 ^{Acđ}	5,53 ± 0,23 ^{Ab}
	0,1	4,99 ± 1,14 ^{Babc}	7,14 ± 0,62 ^{Abc}	3,38 ± 0,00 ^{Bc}
	0,5	6,74 ± 0,23 ^{Aa}	7,41 ± 1,07 ^{Ab}	2,71 ± 0,62 ^{Bc}
Modificado	0	4,19 ± 0,70 ^{Ba}	8,49 ± 1,41 ^{Aab}	9,02 ± 1,07 ^{Aa}
	0,1	2,71 ± 0,23 ^{Bđ}	10,90 ± 0,23 ^{Aa}	3,25 ± 0,62 ^{Bc}
	0,5	3,65 ± 0,23 ^{Acđ}	4,04 ± 1,01 ^{Ad}	4,05 ± 1,01 ^{Abc}

A, B, C Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente para os diferentes dias de armazenamento associado ao mesmo tratamento. a,b,c Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem quanto ao tratamento [diferentes amidos e concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%, p/p) nos oleogéis] no mesmo dia de armazenamento pelo teste de Tukey (p <0,05).

Os resultados obtidos no presente trabalho são satisfatórios, tendo em vista que, com exceção do tratamento de amido modificado com 0,1% de curcumina no dia 15, foi possível observar que todos os resultados obtidos estão de acordo com o estipulado na IN 87 (que tem um limite de aceitação de peróxidos em óleos e gorduras de 10 meq/1000 g) (ANVISA, 2021). Além disso, os oleogéis desenvolvidos aqui apresentam estabilidade oxidativa superior ao encontrado na literatura como os oleogéis desenvolvidos por Bascuas *et al.* (2020) com óleo de girassol, hidroxipropilmetilcelulose e goma xantana, os quais apresentaram aumento no nível de peróxidos durante 35 dias de armazenamento.

A determinação do índice de peróxidos é importante para avaliar o teor de oxidação de óleos e gorduras e assim avaliar a estabilidade, qualidade e propriedades sensoriais de um produto. Baixos índices de peróxidos em oleogéis

evidenciam a eficiência de estruturação de óleos vegetais, já que os agentes estruturantes servem de barreira ao O₂ (Giacomozzi; Palla; Carrín, 2021). Considerando que quanto menor o índice de peróxidos na amostra menos suscetível a oxidação ela é, pode-se considerar que o tratamento com amido nativo em concentração de 0,5% de curcumina obteve o melhor resultado, já que não diferiu estatisticamente ao longo de 30 dias. Além disso, esse tratamento apresentou, ao final dos 30 dias de armazenamento, valores de índice peróxidos iguais aos do óleo de girassol, o que mostra capacidade de proteção contra oxidação da estrutura deste oleogel. Resultado semelhante foi encontrado em Milão *et al.* (2023), que atribuíram os resultados semelhantes encontrados entre o óleo e os oleogéis ao importante papel das redes de gel na inibição da oxidação do óleo.

O oleogel com amido nativo e 0,5% de curcumina, ainda, apresentou menor atividade hidrolítica. Dessa forma, apresentam estabilidade oxidativa e, portanto, seriam capazes de fornecer estabilidade nas propriedades sensoriais e extensão de vida útil para a matriz alimentícia que for aplicado.

6.6 Perfil de textura dos oleogéis

O perfil de textura foi avaliado quanto a dureza, coesividade e gomosidade (Tabela 7) dos oleogéis de óleo de girassol, amido de feijão (nativo ou modificado) e cera de abelha incorporados com curcumina (0; 0,1 e 0,5%) em 1, 15 e 30 dias de armazenamento. De acordo com o período de armazenamento, a dureza aumentou progressivamente para todas as amostras, com exceção dos oleogéis elaborados com amido nativo e curcumina (0,1 e 0,5%), os quais apresentaram redução (dia 15) e posterior aumento na dureza (dia 30). Em relação aos diferentes tratamentos, os menores valores de dureza (dia 1) foram obtidos para os oleogéis de amido modificado e com curcumina (0,1 e 0,5%). Para o dia 15 os oleogéis de amidos nativo e modificado com 0,5% de curcumina apresentaram os menores valores de dureza e no dia 30, o menor valor foi obtido para o oleogel de amido modificado com 0,5% de curcumina.

Dureza é a resistência ao material se deformar quando aplicada uma força mecânica (Storck *et al.*, 2021). Logo, materiais com maior dureza apresentam maior resistência, isto é, mais estabilidade em relação a estruturação dos

oleogéis, neste caso. Sabe-se que a estabilidade estrutural é influenciada pelas interações intermoleculares, e, portanto, é possível observar que a curcumina pode ter interferido nas ligações covalentes presentes entre as estruturas cristalinas. Comportamento diferente foi avaliado em Giacomozzi, Palla e Carrín, (2021) em que observaram a redução da dureza de seus oleogéis (elaborados com monoglicerídeos e óleo de girassol alto oleico) após 3 semanas de armazenamento.

A coesividade é uma determinação que se refere a força das ligações intramoleculares existentes, possibilitando avaliar a integridade de um produto (Storck *et al.*, 2021). Para os diferentes dias de armazenamento, o oleogel de amido nativo sem curcumina apresentou um aumento de coesividade no dia 15 e uma redução no dia 30 de armazenamento. Os oleogéis com amido nativo incorporados de curcumina (0,1 e 0,5%) e amido modificado sem curcumina tiveram uma diminuição progressiva na coesividade ao longo dos 30 dias de armazenamento, o contrário foi observado para oleogel de amido modificado com 0,1% de curcumina que apresentou aumento progressivo na coesividade.

Ao avaliar os diferentes tratamentos é possível observar que no dia 1 os oleogéis de amido nativo com 0,1 e 0,5% de curcumina apresentaram maiores valores de coesividade em relação a todos os outros tratamentos. No dia 15 os maiores valores de coesividade foram encontrados para amostras com amido nativo sem curcumina e com 0,5% de curcumina. No dia 30 o oleogel de amido modificado, incorporadas com 0,1%, apresentou maior coesividade. No estudo de Alvarez-Ramirez *et al.* (2020) foram elaborados oleogéis a base de óleo de canola e cera de candelila para substituição de gordura em margarina, utilizada na formulação de bolo. Neste estudo os autores demonstraram que o aumento da coesividade conferiu um produto final com resistência ao esfarelamento. Embora os resultados de coesividade para oleogéis de amido modificado com 0,1% de curcumina terem sido inferiores aos oleogéis com amido nativo (com e sem curcumina) no dia 1, esse tratamento apresentou maior coesividade no dia 30, evidenciando um aumento na resistência das interações entre os compostos destes oleogéis. Resultado semelhante foi observado nos oleogéis de Giacomozzi, Palla e Carrín (2021) que tiveram sua coesividade aumentada em 8 semanas de armazenamento.

A gomosidade é um parâmetro relacionado com a mastigabilidade de um

produto (Storck *et al.*, 2021). É possível verificar que houve uma diminuição na gomosidade no dia 15 e aumento no dia 30 para os oleogéis de amido nativo com (0,1 e 0,5%) e sem curcumina e amido modificado 0,5%. Efeito contrário foi observado nos oleogéis de amido modificado com 0,1% sendo observado um aumento neste parâmetro no dia 15 e diminuição no dia 30. Oleogéis de amido modificado sem curcumina apresentaram um aumento progressivo da gomosidade em 30 dias de armazenamento. Em relação aos diferentes tratamentos, observa-se que nos dias 1 e 30 os maiores valores de gomosidade foram verificados para os oleogéis com amido nativo (com e sem curcumina). Já no dia 15 os oleogéis de amido nativo sem curcumina, nativo com 0,1% de curcumina e modificado incorporado de 0,1% curcumina apresentaram maior gomosidade em relação aos outros tratamentos.

A avaliação da gomosidade está relacionada com a maciez e elasticidade na textura. Em contrapartida, baixos valores de gomosidade refletem em produtos mais duros ou quebradiços. Portanto, a escolha do melhor tratamento depende da matriz alimentícia que se deseja utilizar. Se a aplicação for em hambúrguer, por exemplo, a maciez é um parâmetro requerido, mas se a aplicação for em biscoitos maior dureza e quebra são parâmetros importantes.

Milão *et al.* (2023), relataram em seus estudos que o perfil de textura de oleogéis pode variar de acordo com a viscosidade dos constituintes e o perfil de ácidos graxos do óleo. Por meio da determinação dos parâmetros de dureza, coesividade e gomosidade é possível avaliar a estabilidade e os atributos sensoriais dos oleogéis, viabilizando, assim, a sua aplicação em alimentos preservando as propriedades tecnológicas e sensoriais.

Tabela 7. Perfil de textura em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).

Amido	Curcumina (%)	Tempo de armazenamento (dias)								
		1			15			30		
		Dureza (g)	Coesividade	Gomosidade	Dureza (g)	Coesividade	Gomosidade	Dureza (g)	Coesividade	Gomosidade
Nativo	0	840,53 ± 21,10 ^{Bb}	0,29 ± 0,02 ^{Abb}	342,77 ± 25,54 ^{Ac}	888,98 ± 64,26 ^{Bab}	0,33 ± 0,02 ^{Aa}	232,05 ± 12,14 ^{Bbc}	1247,85 ± 19,27 ^{Aa}	0,25 ± 0,02 ^{Bb}	295,74 ± 26,96 ^{Aa}
	0,1	981,99 ± 47,83 ^{Ba}	0,47 ± 0,01 ^{Aa}	458,29 ± 15,94 ^{Aa}	955,08 ± 40,44 ^{Ba}	0,27 ± 0,01 ^{Bbc}	259,04 ± 3,69 ^{Bab}	1340,18 ± 115,48 ^{Aa}	0,25 ± 0,02 ^{Cb}	269,18 ± 12,92 ^{Ba}
	0,5	816,71 ± 6,73 ^{Bb}	0,47 ± 0,01 ^{Aa}	386,64 ± 9,24 ^{Ab}	731,47 ± 60,52 ^{Bcd}	0,30 ± 0,01 ^{Bab}	219,68 ± 14,76 ^{Ccd}	989,13 ± 65,48 ^{Ab}	0,28 ± 0,04 ^{Bb}	268,70 ± 10,92 ^{Ba}
Modificado	0	662,72 ± 25,91 ^{Cc}	0,28 ± 0,02 ^{Ab}	185,67 ± 13,18 ^{Ad}	766,23 ± 30,86 ^{Bc}	0,26 ± 0,02 ^{ABc}	199,66 ± 6,39 ^{Ad}	887,86 ± 26,37 ^{Ab}	0,23 ± 0,02 ^{Bb}	208,72 ± 18,79 ^{Ab}
	0,1	652,93 ± 40,96 ^{Bc}	0,25 ± 0,02 ^{Bb}	175,02 ± 17,33 ^{Cde}	825,00 ± 46,10 ^{Abc}	0,26 ± 0,03 ^{Bbc}	282,55 ± 14,42 ^{Aa}	890,16 ± 73,20 ^{Ab}	0,36 ± 0,04 ^{Aa}	216,46 ± 10,29 ^{Bb}
	0,5	591,96 ± 54,89 ^{Bc}	0,26 ± 0,01 ^{Abb}	147,79 ± 7,56 ^{Be}	628,80 ± 16,52 ^{Bd}	0,24 ± 0,025 ^{Bc}	154,01 ± 12,96 ^{Be}	855,88 ± 71,49 ^{Ab}	0,27 ± 0,01 ^{Ab}	202,43 ± 12,51 ^{Ab}

A, B, C Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente para cada variável (dureza, coesividade e gosmosidade) associado ao mesmo tratamento. a,b,c,d,e Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem quanto ao tratamento [diferentes amidos e concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%, p/p) nos oleogéis] pelo teste de Tukey (p <0,05).

6.7 Parâmetros de cor dos oleogéis

A determinação de cor (Tabela 8) foi realizada nos oleogéis de óleo de girassol, amido de feijão (nativo ou modificado) e cera de abelha incorporados com curcumina (0; 0,1 e 0,5%) durante 1, 15 e 30 dias de armazenamento.

Tabela 8. Parâmetro de cor em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).

Amido	Curcumina (%)	Tempo de armazenamento (dias)								
		1			15			30		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Nativo	0	65,86 ± 1,95 ^{Bc}	-5,10 ± 0,10 ^{Bc}	8,14 ± 0,53 ^{Be}	68,54 ± 3,18 ^{Bc}	-5,53 ± 0,21 ^{Bd}	9,24 ± 0,49 ^{Be}	73,16 ± 1,49 ^{Aab}	-12,38 ± 1,07 ^{Aa}	25,39 ± 2,34 ^{Ac}
	0,1	68,00 ± 2,41 ^{Bc}	-10,72 ± 0,95 ^{Ab}	22,49 ± 2,90 ^{Ac}	73,48 ± 2,01 ^{Ab}	-11,79 ± 0,98 ^{Abc}	24,32 ± 2,57 ^{Ac}	68,94 ± 1,54 ^{Bb}	-5,59 ± 0,12 ^{Bc}	9,31 ± 0,5 ^{Be}
	0,5	71,53 ± 1,81 ^{Bb}	-11,00 ± 0,72 ^{Bb}	25,79 ± 2,10 ^{Bb}	75,8 ± 0,79 ^{Ab}	-12,13 ± 0,73 ^{Ab}	30,00 ± 2,62 ^{Ab}	75,62 ± 1,73 ^{Aa}	-12,05 ± 0,25 ^{Aa}	29,60 ± 1,55 ^{Ab}
Modificado	0	85,77 ± 1,72 ^{Aa}	-4,79 ± 0,05 ^{Ac}	14,29 ± 0,47 ^{Bd}	86,3 ± 1,07 ^{Aa}	-4,94 ± 0,09 ^{Ad}	14,99 ± 0,42 ^{Ad}	72,63 ± 3,58 ^{Bab}	-4,23 ± 0,26 ^{Bd}	13,28 ± 0,49 ^{Cd}
	0,1	85,90 ± 2,11 ^{Aa}	-10,15 ± 0,97 ^{Ab}	27,60 ± 2,61 ^{Ab}	85,62 ± 1,31 ^{Aa}	-10,66 ± 0,97 ^{Ac}	28,64 ± 2,70 ^{Ab}	71,77 ± 3,34 ^{Bab}	-9,28 ± 0,74 ^{Bc}	25,63 ± 2,03 ^{Ac}
	0,5	84,04 ± 0,78 ^{Aa}	-13,82 ± 0,29 ^{Aa}	40,48 ± 1,55 ^{Aa}	83,40 ± 1,78 ^{Aa}	-13,98 ± 0,35 ^{Aa}	41,49 ± 1,24 ^{Aa}	73,54 ± 2,03 ^{Ba}	-12,24 ± 0,33 ^{Ba}	37,04 ± 1,14 ^{Ba}

A, B, C Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente para cada variável (L*, a* e b*) associado ao mesmo tratamento. a,b,c,d,e Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem quanto ao tratamento [diferentes amidos e concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%, p/p) nos oleogéis pelo teste de Tukey (p <0,05). L* é parâmetro de luminosidade, a* é a variação de cor do verde ao vermelho e b* é a variação de cor do azul ao amarelo.

A cor de um produto é um parâmetro crítico já que representa um atributo sensorial extremamente importante para a qualidade e aceitação do alimento pelo consumidor. A coordenada L^* na determinação de cor de um produto está relacionada com a luminosidade, sendo que quanto mais próxima de 100 a amostra estiver, mais branca ela é (Giacomozzi; Palla; Carrín, 2021). Durante os 30 dias de armazenamento é possível observar um aumento de L^* nos oleogéis de amido nativo com 0,1 e 0,5% de curcumina e modificado sem curcumina no dia 15, com posterior diminuição (no dia 30). Os oleogéis de amido nativo sem curcumina apresentaram aumento progressivo ao longo dos 30 dias de armazenamento. Por outro lado, oleogéis de amido modificado com curcumina (0,1 e 0,5%) apresentaram uma diminuição progressiva em 30 dias armazenados. Isso pode ser explicado pela opacidade dos géis formados com amido OSA, relacionando-se com a menor capacidade de retrogradar.

Em relação aos diferentes tratamentos, nos dias 1 e 15 os maiores valores da coordenada L^* foram observados para os oleogéis de amido modificado (com e sem curcumina). No dia 30 os oleogéis com maiores valores alcançados para L^* foram para amido nativo sem curcumina, amido nativo com 0,5% de curcumina e modificado com 0,5% de curcumina.

O parâmetro a^* representa variações de cor do verde (indicado por valores negativos) ao vermelho (representado por valores positivos). A partir da Tabela 8 é possível observar que, com exceção do oleogel de amido nativo sem curcumina (o qual apresentou uma diminuição nos valores de a^* progressiva durante os 30 dias de armazenamento) todas as amostras apresentaram uma diminuição no parâmetro a^* no dia 15 com posterior aumento no dia 30. Apesar do observado, de acordo com os resultados negativos obtidos para essa coordenada evidenciam a prevalência na cor verde.

Já a coordenada b^* compreende a faixa de cores com variação do azul ao amarelo, representando resultados negativos e positivos, respectivamente. Ao avaliar a coordenada b^* para os diferentes dias de armazenamento, foi possível observar que os oleogéis de amidos nativo e modificado com curcumina (0,1 e 0,5%) apresentaram valores crescentes no dia 15 que diminuíram no dia 30, com exceção dos oleogéis de amido nativo e modificado sem curcumina, os quais apresentaram valores de b^* crescentes. Avaliando os diferentes tratamentos verifica-se que o parâmetro b^* foi

maior em todos os tempos (1, 15 e 30 dias) para o oleogel de amido modificado com 0,5% de curcumina.

De acordo com Giacomozzi, Palla e Carrín (2021) a cor em oleogéis pode variar de acordo com o tipo de óleo utilizado e também com a formação de peróxidos, que indica oxidação lipídica. Apesar dos diferentes comportamentos dos tratamentos em 30 dias de armazenamento, de forma geral é possível concluir que os oleogéis mantiveram-se com cores claras, isto é, luminosidade próxima ao branco e colorações perto de verde e amarelo. Outro fator que influencia na cor é a degradação curcumina. Com isso, a escolha de uma aplicação em matriz alimentícia baseada na cor dos oleogéis deve ser realizada levando em consideração possíveis alterações dependendo do tratamento utilizado.

6.8 Perda de peso dos oleogéis

A avaliação da perda de peso (Tabela 9) foi realizada para os oleogéis contendo óleo de girassol, amido de feijão carioca (nativo e modificado) incorporados com diferentes concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%) em 1, 15 e 30 dias de armazenamento.

Tabela 9. Perda de peso em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).

Amido	Curcumina (%)	Peso (g) Dia 1	Peso (g) Dia 15	Peso (g) Dia 30	Perda de peso (%) Dia 1 para 15	Perda de peso (%) Dia 1 para 30	Perda de peso (%) Dia 15 para 30
Nativo	0	6.95 ± 0.04 ^{Aa}	5.80 ± 0.02 ^{Bab}	5.73 ± 0.04 ^{Ba}	16.55	17.56	1.22
	0.1	6.95 ± 0.01 ^{Aa}	5.32 ± 0.11 ^{Bc}	5.27 ± 0.09 ^{Bc}	23.47	24.23	0.99
	0.5	6.17 ± 0.11 ^{Ab}	5.94 ± 0.11 ^{Aba}	5.78 ± 0.04 ^{Ba}	3.62	6.18	2.66
Modificado	0	5.93 ± 0.01 ^{Ac}	5.25 ± 0.01 ^{Bc}	5.10 ± 0.00 ^{Cd}	11.56	14.00	2.75
	0.1	6.06 ± 0.01 ^{Abc}	5.75 ± 0.00 ^{Bb}	5.54 ± 0.03 ^{Cb}	5.19	8.68	3.67
	0.5	6.05 ± 0.04 ^{Abc}	5.69 ± 0.01 ^{Bb}	5.50 ± 0.07 ^{Cb}	5.95	9.13	3.37

A, B, C Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente para os diferentes dias de armazenamento associado ao mesmo tratamento. ^{a,b,c} Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem quanto ao tratamento [diferentes amidos e concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%, p/p) nos oleogéis] no mesmo dia de armazenamento pelo teste de Tukey (p < 0,05).

A determinação da perda de peso durante o armazenamento de um produto é importante para avaliar sua estabilidade, segurança, propriedades sensoriais e qualidade. Ao avaliar cada tratamento em diferentes dias de armazenamento (Tabela 9) é possível verificar que houve perda de peso gradual durante os 30 dias de armazenamento para todos os oleogéis. Os oleogéis com amido nativo apresentaram maior perda de peso quando comparados com os oleogéis com amido OSA, demonstrando assim uma maior estabilidade estrutural após a modificação. A perda de peso dos oleogéis pode estar associada à liberação de água durante o armazenamento. A menor perda de peso dos oleogéis com amido OSA pode estar associada à sua menor retrogradação em comparação com o amido nativo. Por conseguinte, os grupos hidrofóbicos do amido OSA são capazes de aderir à fase oleosa, enquanto os seus componentes hidrofílicos podem aderir à fase aquosa. Esta dupla afinidade leva a uma redução interfacial, resultando na estabilização da emulsão e numa menor perda de peso dos oleogéis.

A adição de 0,5% de curcumina aos oleogéis reduziu a suas perdas de peso, tanto para os oleogéis nativos como para os oleogéis à base de amido modificado. Na concentração mais baixa de curcumina (0,1%), apenas o oleogel à base de amido de OSA apresentou uma perda de peso inferior à dos oleogéis sem curcumina. A curcumina pode dispersar-se na fase oleosa da emulsão, devido à sua natureza hidrofóbica, e interagir com as moléculas de gordura, ajudando a estabilizar a emulsão. De acordo com Li et al. (2021), a curcumina está localizada principalmente na camada de interface da emulsão devido à sua polaridade. Assim, a curcumina é capaz de formar uma camada protetora em torno das gotículas de óleo, o que impede a sua coalescência e separação.

6.9 Difração de Raio X

As características estruturais dos oleogéis foram avaliadas pelo seu padrão cristalino utilizando amido nativo, amido modificado, cera de abelha e curcumina como controle (Figura 5). O espectro de raios X da curcumina mostrou picos a 12,16°, 14,54°, 17,36°, 18,20°, 19,50°, 21,22°, 23,44°, 24,64°, 25,58°, 27,40°, 29,00° e 34,86° (Figura 5). A curcumina apresentou uma elevada cristalinidade relativa de 62% (Tabela 10). De acordo com El-Rahman, Al-Jameel, (2014) os picos característicos da curcumina apareceram num ângulo de difração de 2θ (14,20°, 17,53°, 18,44°, 22,55°, 24,54°, 25,86° e 27,01°), com uma estrutura altamente cristalina. A cera de abelha apresentou picos em 19,08°, 21,36°, 23,78°, 29,9°, 35,84°, 40,46° e 43,08° (Figura 5), e cristalinidade relativa de 67%. Ambrosi et al., (2023) relataram que os principais componentes da cera de abelha, hidrocarbonetos e monoésteres, cristalizam de acordo com um arranjo ortorrômbico, enquanto os ácidos gordos livres e diésteres têm uma estrutura monoclinica. Esses autores também relataram que as reflexões de forte intensidade em $2\theta = 21,5^\circ$ e 24° e as fracas em 30° e $36,2^\circ$ indicam um arranjo ortorrômbico das moléculas de hidrocarbonetos e monoésteres.

Os amidos de feijão apresentam um padrão de difração do tipo "C" característico dos amidos de leguminosas. A modificação OSA não alterou o padrão de difração do amido, mas reduziu ligeiramente a cristalinidade relativa (Tabela 10). A hidrofobicidade dos grupos octenil succínicos está ligada aos grupos hidroxil do amido OSA, reduzindo a interação com as moléculas de água e, por conseguinte, reduzindo a sua cristalinidade. No processo de produção do oleogel, o amido é gelatinizado devido ao tratamento hidrotérmico. No entanto, durante o arrefecimento, ocorre a retrogradação do amido, o que pode contribuir para a estrutura cristalina dos oleogéis. Além disso, a estrutura altamente cristalina da cera de abelha e da curcumina também é responsável pela cristalinidade dos oleogéis. O pico de maior intensidade da cera de

abelha a $21,36^\circ$ está presente em baixa intensidade nos oleogéis devido ao seu baixo teor adicionado na formulação. Devido à baixa concentração adicionada e à sua distribuição uniforme, os picos de alta intensidade da curcumina também não são visíveis nos difratogramas do oleogel. No entanto, estes compostos podem contribuir para a elevada cristalinidade dos oleogéis, o que pode ser responsável pela sua elevada estabilidade estrutural.

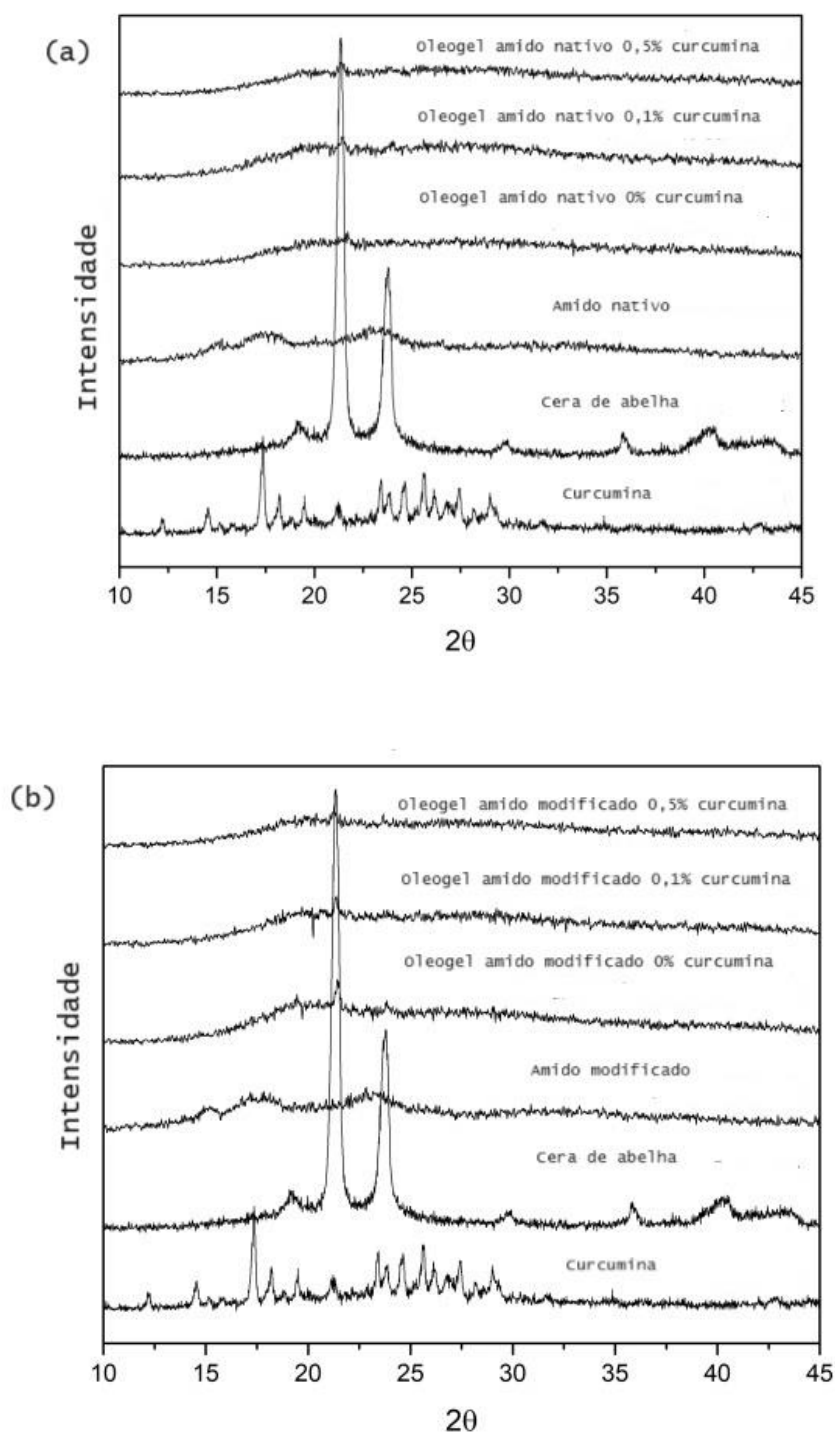


Figura 5. Difratogramas dos oleogéis à base de amidos nativo (a) e modificado com OSA (b) contendo diferentes concentrações de curcumina (0, 0,1 e 0,5%), bem como dos compostos puros (amido nativo,

amido modificado por OSA, curcumina e cera de abelha).

Tabela 10. Cristalinidade relativa dos amidos nativos e modificados por OSA, curcumina, cera de abelha e oleogéis baseados em amidos nativos e modificados por OSA contendo diferentes concentrações de curcumina (0, 0,1 e 0,5%).

Compostos puros		Cristalinidade relativa (%)
Amido nativo		35
Amido modificado		33
Curcumina		62
Cera de Abelha		67
Oleogels	Curcumin (%)	
Amido nativo	0	27
	0.1	28
	0.5	31
Amido modificado	0	27
	0.1	27
	0.5	28

6.10 Atividade antioxidante dos oleogéis

A atividade antioxidante frente ao radical FRAP dos oleogéis de óleo de girassol, amido de feijão (nativo ou modificado) e cera de abelha incorporados com curcumina (0; 0,1 e 0,5%) em 1, 15 e 30 dias de armazenamento é demonstrada na Tabela 11. O ensaio FRAP mede a capacidade redutora férrica da amostra em pH baixo quando um complexo férrico-tripiridiltriazina é reduzido à sua forma ferrosa, desenvolvendo uma intensa cor azul. Nesse sentido, os ensaios antioxidantes aplicados podem avaliar diferentes frações de espécies antioxidantes que podem se sobrepor parcialmente (Solaberrieta *et al.*, 2020).

Ao avaliar os diferentes dias de armazenamento, com exceção do oleogel de amido modificado com 0,1% curcumina (o qual apresentou redução na atividade no dia 30), todos os tratamentos mostraram uma atividade antioxidante crescente durante o período de armazenamento avaliado. Além disso, pode-se verificar, observando todos os tratamentos, que os oleogéis com amido modificado apresentaram maior potencial antioxidante em

comparação aos tratamentos utilizando amido nativo. De acordo com os dados obtidos, foi possível observar que não houve influência direta em relação ao aumento da concentração de curcumina (0,1 e 0,5%) e o aumento na atividade antioxidante. Por outro lado, a incorporação de curcumina (com exceção dos tratamentos com amido modificado no dia 30) aumentou a atividade antioxidante em relação aos oleogéis sem curcumina, sendo possível constatar que a presença de curcumina nos oleogéis induziu um aumento na atividade antioxidante, em comparação àqueles sem curcumina ($p \leq 0,05$).

Chen, Shi e Meng (2023) desenvolveram oleogéis à base de óleo de soja e monoestearato de glicerila com e sem agente curcumina, observando que num mesmo intervalo de tempo os tratamentos contendo antioxidante apresentaram uma oxidação mais lenta e, portanto, maior estabilidade oxidativa, em comparação àqueles sem antioxidantes.

Tabela 11. Atividade antioxidante por ABTS e FRAP em diferentes dias de armazenamento de oleogéis produzidos com óleo de girassol, amidos nativo ou modificado e cera de abelha, incorporados com curcumina em diferentes concentrações (0; 0,1 e 0,5%, p/p).

Amido	Curcumina (%)	Atividade antioxidante (inibição dos radicais livres)		
		(µm/mg trolox)		
		Tempo de armazenamento (dias)		
		1	15	30
Nativo	0	3,82 ± 0,33 ^{Bb}	5,48 ± 1,59 ^{ABb}	6,97 ± 1,15 ^{Aa}
	0,1	5,08 ± 0,39 ^{Aab}	6,63 ± 1,85 ^{Ab}	7,06 ± 1,84 ^{Aa}
	0,5	5,40 ± 1,10 ^{Aab}	6,62 ± 1,72 ^{Ab}	7,19 ± 0,68 ^{Aa}
Modificado	0	6,62 ± 2,34 ^{Bab}	7,63 ± 1,03 ^{ABab}	11,56 ± 2,18 ^{Aa}
	0,1	6,97 ± 2,01 ^{ab}	11,56 ± 2,13 ^{Aa}	10,15 ± 2,38 ^{Aa}
	0,5	8,94 ± 2,21 ^{Aa}	9,69 ± 1,31 ^{Aab}	10,28 ± 1,80 ^{Aa}

A, B, C Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente para os diferentes dias de armazenamento associado ao mesmo tratamento. a,b,c Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem quanto ao tratamento [diferentes amidos e concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5%, p/p) nos oleogéis] no mesmo dia de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O aumento da atividade antioxidante pode ser explicado pelas interações hidrofóbicas entre o amido e a curcumina, que protegeu o composto, liberando-o gradualmente maior

atividade antioxidante. A atividade antioxidante dos oleogéis sem curcumina está relacionada com a atividade antioxidante do óleo de girassol e também com a de estruturação do óleo de girassol, a qual reduz o contato do óleo com o O₂ em função da retenção do óleo pela rede formada (Chen; Shi; Meng, 2023). Em outro estudo, Gómez-Estaca *et al.* (2020) desenvolveram oleogéis com celulose e cera de abelha com e sem incorporação de curcumina para substituição de gordura em hambúrguer, observando que os hambúrgueres adicionados de oleogel sem curcumina apresentaram maior teor de oxidação.

Além da avaliação da atividade antioxidante dos oleogéis, foi avaliada a atividade antioxidante de curcumina pura, obtendo-se resultado de $120 \pm 11,62 \mu\text{m}/\text{mg}$ trolox, do óleo de girassol, obtendo-se resultado de $13,83 \pm 0,33 \mu\text{m}/\text{mg}$ trolox e da cera de abelha com resultado de $1,3 \pm 0,07 \mu\text{m}/\text{mg}$ trolox. O resultado obtido demonstra a elevada atividade antioxidante da curcumina, o que já era esperado. O potencial antioxidante da curcumina já é conhecido e é atribuído aos arranjos estruturais (número e posição de grupos hidroxila, ligações duplas e anéis aromáticos) os quais desempenham um papel importante na atividade antioxidante (Solaberrieta *et al.*, 2020). O óleo de girassol apresentou atividade antioxidante elevada, o que justifica a atividade antioxidante dos oleogéis com 0% de curcumina.

7 Conclusão

Os oleogéis à base de óleo de girassol, amidos de feijão carioca nativo ou modificado e cera de abelha incorporados com diferentes concentrações de curcumina (0; 0,1 e 0,5% p/p) foram elaborados com sucesso. As características físico-químicas dos oleogéis foram avaliadas a fim de determinar sua estabilidade de gel e qualidade para futura aplicação em matriz alimentícia. Durante os 30 dias de armazenamento, foi possível observar que os oleogéis com amidos nativo ou modificado incorporados com diferentes concentrações de curcumina apresentaram elevada capacidade de retenção do óleo de girassol, demonstrando a estabilidade na estruturação do óleo vegetal. Referente às propriedades mecânicas, foi possível observar, de forma geral, que a estruturação dos oleogéis foi eficiente obtendo-se produtos mais resistentes à desfragmentação. O comportamento hidrolítico, avaliado, por meio das análises de acidez e peróxido, se mostrou estável e dentro do estipulado em legislação. A partir da avaliação do parâmetro de cor observou-se a estabilidade na coloração dos oleogéis durante os 30 dias de armazenamento. Além disso, as atividades antioxidantes dos oleogéis foram aumentadas a partir da incorporação de curcumina. Os oleogéis apresentam características físico-químicas adequadas para aplicação em matrizes alimentícias. No entanto, estudos devem continuar sendo feitos sobre sua estabilidade em alimentos, digestibilidade da curcumina, bem como suas propriedades sensoriais.

8 Referência Bibliográficas

AGAMA-ACEVEDO, E.; BELLO-PEREZ, L. A. Starch as an emulsions stability: the case of octenyl succinic anhydride (OSA) starch. **Current Opinion in Food Science**, v. 13, p. 78-83, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. ANVISA RESOLUÇÃO Nº 481, DE 15 DE MARÇO DE 2021: requisitos sanitários para óleos e gorduras vegetais. Brasília: ANVISA, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 87 DE 15 DE MARÇO DE 2021: lista de espécies vegetais autorizadas, as designações, a composição de ácidos graxos e os valores máximos de acidez e de índice de peróxidos para óleos e gorduras vegetais. Brasília: ANVISA, 2021.

ALMEIDA, E. C. Amido modificado de Taro (*Colocasia esculenta* L. Schott): Propriedades Funcionais. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

ALVAREZ-RAMIREZ, J.; VERNON-CARTER, E. J.; CARRERA-TARELA, Y.; GARCIA, A.; ROLDAN-CRUZ, C. Effects of candelilla wax/canola oil oleogel on the rheology, texture, thermal properties and in vitro starch digestibility of wheat sponge cake bread. **Lwt**, v. 130, p. 109701, 2020.

AMBROSI, M., RAUDINO, M., PIERACCINI, G., CORTI, C., TENORIO-ALFONSO, A., & MARTÍNEZ, I.. Understanding the formation of efflorescence on beeswax models housed at the Natural History Museum of Florence. **Journal of Cultural Heritage**, v. 62, p. 143-150, 2023.

BAI, Y.; SHI, Y. C. Structure and preparation of octenyl succinic esters of granular starch, microporous starch and soluble maltodextrin. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 520-527, 2011.

BAJAJ, R.; SINGH, N.; KAUR, A. Properties of octenyl succinic anhydride (OSA) modified starches and their application in low fat mayonnaise. **International journal of biological macromolecules**, v. 131, p. 147-157, 2019.

BARROS, L. S. **Redução de gordura saturada em biscoitos laminados tipo maria utilizando oleogéis**. 2022. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

BASCUAS, S.; HERNANDO, I.; MORAGA, G.; QUILES, A. Structure and stability of edible oleogels prepared with different unsaturated oils and hydrocolloids. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 55, n. 4, p. 1458-1467, 2020.

BENTO, J. A. C.; RIBEIRO, P. R. V.; BASSINELLO, P. Z.; NETO, M. A. S.; CARVALHO, R. N.; BRITO, E. S.; CALIARI, M.; SOARES, M. S. J. Functional properties and chemical profile of aged carioca beans and cooked under the steam of autoclave. **Ciência Rural**, v. 53, 2023.

BRANCALLION, O. N. **Substituintes de gordura trans em alimentos processados**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Pampa, RS, 2022.

CHEN, Z.; SHI, Z.; MENG, Z. Development and characterization of antioxidant-fortified oleogels by encapsulating hydrophilic tea polyphenols. **Food Chemistry**, v. 414, p. 135664, 2023

CORREIA, I. M. S.; ARAÚJO, G.; PAULO, J. B. A.; SOUSA, E. M. B. D. Avaliação das potencialidades e características físico-químicas do óleo de Girassol (*Helianthus annuus L.*) e Coco (*Cocos nucifera L.*) produzidos no Nordeste brasileiro. **Scientia plena**, v. 10, n. 3, 2014.

DEMIRKESEN, I.; MERT, B. Recent developments of oleogel utilizations in bakery

products. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 60, n. 14, p. 2460-2479, 2020.

DENARDIN, C. C; SILVA, L. P. Starch granules structure and its regards with physicochemical properties. **Ciência Rural**, v. 39, p. 945-954, 2009.

DOMINGUES, Alex Domingos. **Substituição de gorduras trans como alternativa tecnológica na indústria de alimentos: uma revisão**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Tecnologia de Marília Estudante Rafael Almeida Camarinha, SP 2022.

DOMÍNGUEZ, R.; BOHRER B.; MMUNEKATA P. E. S.; PATEIRO M.; LORENZO J. M. Recent discoveries in the field of lipid bio-based ingredients for meat processing. **Molecules**, v. 26, n. 1, p. 190, 2021.

EL-RAHMAN, S. N. A., & AL-JAMEEL, S. S. Protection of curcumin and curcumin 582 nanoparticles against cisplatin induced nephrotoxicity in male rats. **Scholars Academic Journal of 583 Biosciences**, 2, 214-223, 2014.

FELLOWS, Peter J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos- 4.ed.:** **Princípios e Prática**. Porto Alegre: Artmed, 2019.

FERRO, A. C.; PAGLARINI, C. S.; POLLONIO, M. A. R.; CUNHA, R. L. Glyceryl monostearate-based oleogels as a new fat substitute in meat emulsion. **Meat science**, v. 174, p. 108424, 2021.

FIGUEROA, A. M.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E.; DEMIATE, I. M. Caracterização das propriedades de pasta e térmicas de amidos de feijão Branco, Carioca, Fradinho e Preto. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, v. 4, n. 3, p. 12-16, 2015.

FONSECA, L. M.; HALAL, S. L. M. E.; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R. Physical

modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 274, p. 118665, 2021.

FRANCO, D.; MARTIN, A. J.; LÓPEZ-PEDRUSO, M.; CERQUEIRA, M. A.; PURRIÑOS, L.; PASTRANA, L. M.; VICENTE, A. A.; ZAPATA, C.; LORENZO, J. J. Evaluation of linseed oil oleogels to partially replace pork backfat in fermented sausages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 1, p. 218-224, 2020.

GAO, Y.; WU, S. Thermal and oxidation stability of functional oleogels formed by edible wax/starch and Schisandra chinensis oil. **Food & Function**, v.10, n.12, p. 8056–8068, 2019.

GAO, Y.; WU, S. Development and evaluation of a novel oleogel system based on starch–water–wax–oil. **Food & Function**, v. 11, n. 9, p. 7727-7735, 2020.

GAO, Y.; LI, M. ZHANG, L.; WANG, Z.; YU, Q.; HAN, L. Preparation of rapeseed oil oleogels based on beeswax and its application in beef heart patties to replace animal fat. **Lwt**, v. 149, p. 111986, 2021.

GIACOMOZZI, A.; PALLA, C.; CARRÍN, M. E.; MARTINI, S. Tailoring physical properties of monoglycerides oleogels using high-intensity ultrasound. **Food Research International**, v. 134, p. 109231, 2020.

GIACOMOZZI, A.S.; CARRÍN, M.E.; PALLA, C.A.; Storage stability of oleogels made from monoglycerides and high oleic sunflower oil. **Food Biophysics**, v. 16, p. 306–316, 2021.

HISSANAGA, V. M.; PROENÇA, R. P. C.; BLOCK, J. Mara. Trans fatty acids in Brazilian food products: a review of aspects related to health and nutrition labeling. **Revista de Nutrição**, v. 25, n. 4, p. 517-530, 2012.

GÓMEZ-ESTACA, J.; PINTADO, T.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F.; COFRADES,

S. The effect of household storage and cooking practices on quality attributes of pork burgers formulated with PUFA-and curcumin-loaded oleogels as healthy fat substitutes. **Lwt**, v. 119, p. 108909, 2020.

LAN, X.; LIU, Y.; WANG, L.; WANG, H.; HU, Z.; DONG, H.; YU, Z.; YUAN, Y. A review of curcumin in food preservation: delivery system and photosensitization. **Food Chemistry**, p. 136464, 2023.

LEIJOTO, K. M. T.; CUSTÓDIO L. M.; SILVA R. R.; SOARES A. D.N.; OLIVEIRA D. G. Análise de rótulos de alimentos ultraprocessados, congelados e prontos para o consumo: composição nutricional e presença de aditivos alimentares. **RBONE-Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, v. 16, n. 104, p. 918-938, 2022.

LI, L.; WAN, W.; CHENG, W.; LIU, G.; HAN, L. Oxidatively stable curcumin-loaded oleogels structured by β -sitosterol and lecithin: physical characteristics and release behaviour in vitro. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 54, n. 7, p. 2502-2510, 2019.

Li, R., Fang, Q., Li, P., Zhang, C., Yuan, Y., & Zhuang, H. LI, Rui et al. Effects of emulsifier type and post-treatment on stability, curcumin protection, and sterilization ability of nanoemulsions. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 149, 2021.

LIU, Z.; LI, Y.; CUI, F.; PING, L.; SONG, J.; RAVEE, Y.; JIN, L.; XUE, Y.; XU, J.; LI, G.; Wang, Y.; Zheng, Y. (2008). Production of Octenyl Succinic Anhydride-Modified Waxy Corn Starch and Its Characterization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 23, p. 11499-11506.

LOS, F. G. B.; CHEZINI, A.; PIROSKI, C. S.; LACERDA, L. G.; NOGUEIRA, A.; DEMIATE, I. M. Evaluation of physicochemical properties of starch from brazilian carioca beans (*Phaseolus vulgaris*). **Starch-Stärke**, v. 74, n. 1-2, p. 2000281, 2022.

LUTZ, OAL. Instituto Adolfo. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: OAL, 2008.

MANZOOR S.; MASOODI F. A.; RASHID R.; NAQASH F.; AHMAD M. Oleogels for the development of healthy meat products: A review. **Applied Food Research**, p. 100212, 2022.

MARTINS, G. B.C.; SUAREZ, P. A. Z. S.; MELLO, V. M. Processos térmicos em óleos e gorduras. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 16-25, jan. 2013. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/392>. Acesso em: 25 mai. 2023

MARTINS, A. J.; CERQUEIRA, M. A.; CUNHA, R. L., VICENTE, A. A. Fortified beeswax oleogels: Effect of β -carotene on the gel structure and oxidative stability. **Food & function**, v. 8, n. 11, p. 4241-4250, 2017.

MCGRANCE, S. J.; CORNELL, H. J.; RIX, C. J. A Simple and Rapid Colorimetric Method for the Determination of Amylose in Starch Products. **Starch/Stärke**, v. 50, p. 158–163, 1998.

MENG, L.; ZHAO, Y.; WANG, J.; LI, S.; ZHU, J.; ZHANG, Q.; & WANG, C. Curcumin ameliorates depression-like behavior by rescuing impaired hippocampal neurogenesis through modulation of the microglia/macrophage polarization via regulating the JNK/STAT3 signaling pathway. **Journal of Neuroinflammation**, 18:1, 1-19, 2021.

MORGAN, J.; TOWNLEY, G. K.; SMITH, R. Measurement of physical and mechanical properties of beeswax. **Materials science and technology**, v. 18, n. 4, p. 463-467, 2002.

MOSS, C. Wayne; LAMBERT, M. A.; MERWIN, W. H. Comparison of rapid methods for analysis of bacterial fatty acids. **Applied Microbiology**, v. 28, n. 1, p. 80-85, 1974.

NASCIUTTI, P. R.; COSTA, A. P. A.; SANTOS, M. B. J.; MELO, N. G.; CARVALHO, R. O. A. Ácidos graxos e o sistema cardiovascular. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 11, n. 22, 2015.

OH, I. K.; AMOAH, C.; LIM, J.; JEONG, S. LEE, S. Assessing the effectiveness of wax-based sunflower oil oleogels in cakes as a shortening replacer. **Lwt**, v. 86, p. 430-437, 2017.

PAGLARINI, C. S.; VIDAL, V. A. S.; MARTINI, S.; CUNHA, R. L.; POLLONIO, M. A. R. Protein-based hydrogelled emulsions and their application as fat replacers in meat products: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 3, p. 640-655, 2022.

PERINI, J. A. L.; STEVANATO, F. B.; SARGI, S. C.; VISENTAINEIR, J. E. L.; DALALIO, M. M. O.; MATSHUSITA, M.; SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V. Ácidos graxos poli-insaturados n-3 e n-6: metabolismo em mamíferos e resposta imune. **Revista de Nutrição**, v. 23, p. 1075-1086, dez. 2010.

PINHO, D. M. M.; SUAREZ, P. A. Z. A hidrogenação de óleos e gorduras e suas aplicações industriais. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 47-62, 2013. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/436>. Acesso em: 15 mai. 2023.

PINTO, T. C.; MARTINS, A. J.; PASTRANA, L.; PEREIRA, M. C.; CERQUEIRA, M. A. Oleogel-based systems for the delivery of bioactive compounds in foods. **Gels**, v. 7, n. 3, p. 86, 2021.

PIRES, J. B.; FONSECA, L. M.; SIEBENEICHLER, T. J.; CRIZEL, R. L.; SANTOS, F. N. dos.; HACKBART, H. C. S.; KRINGEL, D. H.; MEINHART, A. D.; ZAVAREZE, E. R. da.; DIAS, A. R. G. Curcumin encapsulation in capsules and fibers of potato starch by electrospraying and electrospinning: Thermal resistance

and antioxidant activity. **Food Research International**, v. 162, p. 112111, 2022.

PREVEDELLO, M. T.; COMACHIO, G. Antioxidantes e sua relação com os radicais livres, e Doenças Crônicas Não Transmissíveis: uma revisão de literatura. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 55244-55285, 2021.

QUINTERO-CASTAÑO, V. D.; CASTELLANOS-GALEANO, F. J.; ÁLVAREZ-BARRETO, C. I.; LUCAS-AGUIRRE, J. C.; BELLO-PÉREZ, L. A.; RODRÍGUEZ-GARCIA, M. E. Starch from two unripe plantains and esterified with octenyl succinic anhydride (OSA): Partial characterization. **Food chemistry**, v. 315, p. 126241, 2020.

RABEK, J. F. Experimental methods in polymer chemistry: applications of wide-angle X-ray diffraction (WAXD) to the study of the structure of polymers. **UK: Wiley-Interscience Chichester**, v. 505, 1980.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 2-15, 2013. Disponível em: A Química dos Óleos e Gorduras e seus Processos de Extração e Refino | Revista Virtual de Química (sbq.org.br). Acesso em: 13 mai. 2023.

RONKO, L. Z.; CHEZINI, A.; LOS, F. G. B.; DEMIATE, I. M. Caracterização físico-química de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e das propriedades tecnológicas de sua fração amido. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 15, n. 1, 2021.

RUPOLLO, G.; VANIER, N. L.; ZAVAREZE, E. R.; OLIVEIRA, M.; PEREIRA, J. M.; PARAGINSKI, R. T.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. Pasting, morphological, thermal and crystallinity properties of starch isolated from beans stored under different atmospheric conditions. *Carbohydrate Polymers*, v. 83, p. 1403-1409, 2011.

SALGADO, G. P.; COSTA, J. J. G. N.; COELHO, S. C.; SOUSA, D. B. S.; SOUSA, M. D.; LIMA, L. S.; MACHADO, W. K. C. Characterization and Chemical Modification by Octenyl Succinic Acid (OSA) of Pitomba Starch (*Talisia esculenta*)
Caracterização e Modificação Química por Ácido Octenil Succínico (OSA) do Amido da Pitomba (*Talisia esculenta*). **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 10, p. 1, 2023.

SANTOS, J. A. R. Carbohidratos, gorduras e proteínas: importância nutricional e suporte ao exercício prolongado. **Revista Perspectiva: Ciência e Saúde**, v. 4, n. 1, 2019.

SILVA, F. C.; DA FONSECA, C. R.; DE ALENCAR, S. M.; THOMAZINI, M., BALIEIRO, J. C. DE C.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried propolis, a natural food additive, using gum Arabic and OSA starch-based carrier systems. *Food and Bioproducts Processing*, v. 91, p. 28–36, 2013.

SILVA, S. L.; AMARAL, J. T.; RIBEIRO, M.; ENDLER, E. S.; VARGAS, C.; FRANZEN, F. L.; SCHNEIDER, G.; LOURENÇO, J. M.; FRIES, C. L. M.; CICHOSKI, J. A.; CAMPAGNOL, P. C. B. Fat replacement by oleogel rich in oleic acid and its impact on the technological, nutritional, oxidative, and sensory properties of Bologna-type sausages. **Meat science**, v. 149, p. 141-148, 2019.

SILVA, T. J.; BARRERA-ARELLANO, D.; RIBEIRO, A. P. B. Oleogel-based emulsions: Concepts, structuring agents, and applications in food. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 7, p. 2785-2801, 2021.

SILVA, T. J.; FERNANDES, G. D.; BERNARDINELLI, O. D.; SILVA, E. C. R.; BARRERA-ARELLANO, D.; RIBEIRO, A. P. B. Organogels in low-fat and high-fat margarine: A study of physical properties and shelf life. **Food Research International**, v. 140, p. 110036, 2021.

SILVA, P. D.P; GRILLO R.; ALVES, S. C.; GONÇALVES, R. Relação entre riscos de doenças crônicas não transmissíveis e o baixo consumo de frutas e hortaliças no Brasil. **Revista Multidisciplinar da Saúde**, v. 5, n. 1, p. 32-48, jan. 2023.

SIRI-TARINO, P. W.; QI, S.; HU, F. B.; KRAUSS, R. M. Saturated fatty acids and risk of coronary heart disease: modulation by replacement nutrients. **Current atherosclerosis reports**, v. 12, p. 384-390, 2010.

SOLABERRIETA, I.; JIMÉNEZ, A.; CACCIOTTI, I.; GARRIGÓS, M. C. Encapsulation of bioactive compounds from aloe vera agrowastes in electrospun poly (ethylene oxide) nanofibers. **Polymers**, v. 12, n. 6, p. 1323, 2020.

STORCK, C. R.; FORTES, C. R.; HALAL, S. L. M. E.; RIBEIRO, J. D.; MONTAGNER, G. E.; FONSECA, L. M.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Different reaction times for phosphorylation of sorghum flour (*Sorghum bicolor*): physicochemical evaluation and application in the formulation of gluten-free cakes. **Food Bioscience**, v. 44, p. 101441, 2021.

SUETH-SANTIAGO, V.; MENDES-SILVA, G. P.; DECOTÉ-RICARDO, D.; LIMA, M. E. F. Curcumina, o pó dourado do açafrão-da-terra: introspecções sobre química e atividades biológicas. **Química Nova**, v. 38, p. 538-552, 2015.

TUNG, T. T.; NHAM, D. T.; HAI, N. T.; THU, D. K. *Curcuma longa*, the polyphenolic curcumin compound and pharmacological effects on liver. **Dietary Interventions in Liver Disease**, p. 125-134, 2019.

VANIER, N. L. **Armazenamento de cultivares de feijão e seus efeitos na qualidade tecnológica dos grãos e nas propriedades do amido**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

XU, Y.; SUN, H.; LV, J.; WANG, Y.; ZHANG, Y.; WANG, GAOF. Effects of polysaccharide thickening agent on the preparation of walnut oil oleogels based on methylcellulose: Characterization and delivery of curcumin. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 123291, 2023.

WANG, W.; LIU, C.; ZHANG, H.; ZHU, X.; WANG, L.; ZHANG, N.; YU, D. Properties of OSA-modified starch and emulsion prepared with different materials: Glutinous rice starch, japonica rice starch, and indica rice starch. **Food Research International**, v. 161, p. 111845, 2022.

WEN, Y.; YAO, T.; XU, Y.; CORKE, H.; SUI, Z. Pasting, thermal and rheological properties of octenylsuccinylate modified starches from diverse small granule starches differing in amylose content. **Journal of Cereal Science**, v. 95, p. 103030, 2020.

YILMAZ, E.; ÖĞÜTCÜ, M. Comparative analysis of olive oil organogels containing beeswax and sunflower wax with breakfast margarine. **Journal of food science**, v. 79, n. 9, p. E1732-E1738, 2014.

YILMAZ, E.; USLU, E. K.; ÖZ, C. Oleogels of some plant waxes: Characterization and comparison with sunflower wax oleogel. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 98, n. 6, p. 643-655, 2021