

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL- *CAMPUS* ERECHIM**

ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CARINE APARECIDA POLONI

**ELABORAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE FARINHA DE LINHAÇA
CONTENDO EXTRATO DE ORA-PRO-NÓBIS**

ERECHIM-RS

2022

CARINE APAREIDA POLONI

**ELABORAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE FARINHA DE LINHAÇA
CONTENDO EXTRATO DE ORA-PRO-NÓBIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul- *Campus* Erechim, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientadora: Prof. Dra. Priscilla Pereira dos Santos

ERECHIM-RS

2022

DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho primeiramente à minha mãe, que sempre lutou muito para que eu pudesse estudar e crescer como profissional e como indivíduo, além de me incentivar durante toda a minha vida.”

“Dedico também ao meu namorado que sempre me incentivou a estudar e a conquistar meus objetivos.”

“À minha orientadora, Professora Priscilla P dos Santos, que sempre foi compreensiva e amável, permitindo conversar agradáveis e aceitando opiniões sobre o andamento do projeto. Agradeço por todos os conselhos e ensinamentos, que com certeza levarei para toda a minha vida inteira.”

“Aos técnicos de alimentos, que sempre me auxiliaram, não somente no decorrer o Trabalho de Conclusão de Curso, mas durante toda a faculdade.”

“Também quero agradecer a todos os demais professores da área de alimentos, que estiveram comigo desde o início do curso, orientando, ensinando e acima de tudo me acolhendo como membros da grande família que é o Instituto Federal- *Campus* Erechim”.

RESUMO

As embalagens para alimentos são utilizadas a muito tempo com o intuito de proteger os alimentos e aumentar sua vida útil, todavia a maioria dessas embalagens são produzidas com polímeros sintéticos, as quais não se acumulam na natureza. A partir disso, busca-se alternativas para a elaboração de plásticos mais sustentáveis, surgindo assim os filmes biodegradáveis, que podem ser elaborados com diversos tipos de polímeros naturais. Quando se fala em alimentos, o foco dos filmes biodegradáveis é na conservação, principalmente em alimentos com alto teor lipídico, que são muito susceptíveis a oxidação. A partir disso, o objetivo deste trabalho foi elaborar filmes biodegradáveis com farinha de linhaça e de extrato de ora-pro-nóbis (OPN) e avaliar potencial antioxidante e quantidade de compostos fenólicos do extrato de OPN, além de avaliar as características físico-químicas dos filmes biodegradáveis (espessura, opacidade, umidade, solubilidade e transparência), propriedades antioxidantes por DPPH. Além disso, objetivou-se avaliar o Índice de Peróxidos em manteiga embalada e armazenada nos filmes biodegradáveis. O extrato de ora-pro-nóbis (utilizado para a elaboração dos filmes) apresentou grandes quantidades de compostos fenólicos (635,44 g/L GAE) e considerável atividade antioxidante por DPPH (EC50 223,3 mg/L). Já os filmes, se mostraram homogêneos, flexíveis e sem rachaduras, com espessura de aproximadamente 0,7 mm, umidade variando de 7% a 10%, solubilidade em torno de 20 % e opacidade de aproximadamente 2 A.mm⁻¹. Em se tratando de transparência, os filmes apresentaram luminosidade (L) baixa e intensidades de cor amarelo e verde elevadas. Na análise de índice de peróxidos, ao final do tempo de armazenamento (123h), os filmes biodegradáveis protegeram a manteiga, sendo encontrados os valores de 4,799 ± 1,045 meq/Kg para manteiga embalada em plástico comercial, 2,152 ± 0,084 meq/Kg para manteiga embalada em filme de linhaça e 2,213 ± 0,084 meq/Kg para manteiga embalada em filme de linha e extrato de OPN. De acordo com as análises e resultados obtidos, pode-se concluir que a ora-pro-nóbis possui grandes quantidades de compostos fenólicos e que farinha de linhaça e o extrato de ora-pro-nóbis possuem bom potencial antioxidante. Os filmes biodegradáveis se mostraram bons na conservação da manteiga, podendo ser usados futuramente na conservação de alimentos com alto teor lipídico.

Palavras-chave: Sustentável; Antioxidante; Natural.

ABSTRACT

Food packaging has been used for a long time to protect food and increase its shelf life, however most of these packaging is produced with synthetic polymers, which do not accumulate in nature. From this, alternatives are sought for the development of more sustainable plastics, thus emerging biodegradable films, which can be made with different types of natural polymers. When talking about food, the focus of biodegradable films is focused on conservation, especially in foods with high lipid content, which are very susceptible to oxidation. From this, the objective of this work was to elaborate biodegradable films with flaxseed flour and ora-pro-nóbis extract (OPN) and to evaluate the antioxidant potential and number of phenolic compounds of the OPN extract, in addition to evaluating the physicochemical characteristics of biodegradable films (thickness, opacity, moisture, solubility and transparency), antioxidant properties by DPPH. In addition, the objective was to evaluate the Peroxide Index in butter packaged and stored in biodegradable films. The ora-pro-nóbis extract (used for the preparation of the films) showed large amounts of phenolic compounds (635.44 g/L GAE) and considerable antioxidant activity by DPPH (EC50 223.3 mg/L). The films, on the other hand, were homogeneous, flexible and without cracks, with a thickness of approximately 0.7 mm, humidity ranging from 7% to 10%, solubility around 20% and opacity of approximately 2 A.mm⁻¹. In terms of transparency, the films showed low luminosity (L) and high yellow and green color intensities. In the peroxide index analysis, at the end of the storage time (123 hours), the biodegradable films protected the butter, with values of 4.799 ± 1.045 meq/Kg for butter packed in commercial plastic, 2.152 ± 0.084 meq/Kg for butter wrapped in linseed film and 2.213 ± 0.084 meq/Kg for butter wrapped in linseed film and OPN extract. According to the analyzes and results obtained, it can be concluded that ora-pro-nóbis has large amounts of phenolic compounds and that flaxseed flour and ora-pro-nóbis extract have good antioxidant potential. The biodegradable films proved to be good in butter conservation and can be used in the future in the conservation of foods with high lipid content.

Keywords: Sustainable, Antioxidant, Natural.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Linha dourada (esquerda) e linhaça marrom (direita).	13
Figura 2- Ora-pro-nóbis.	15
Figura 3- Estrutura química dos compostos fenólicos.	18
Figura 4- Esquema de elaboração de filmes biodegradáveis pelo método casting.	22
Figura 5- Extratos elaborados a partir de ora-pro-nóbis.....	30
Figura 6-Extratos de ora-pro-nóbis.	30
Figura 7- Amostras usadas para quantificação de compostos fenólicos	31
Figura 8- Amostras para avaliação da atividade antioxidante.....	33
Figura 9- Filmes biodegradáveis de diferentes formulações sendo preparados.	36
Figura 10- Filmes biodegradáveis secos e retirados das placas	37
Figura 11- Algumas formulações de filmes biodegradáveis que não saíram das placas.....	37
Figura 12- Realização de análises nos filmes biodegradáveis.....	40
Figura 13- Oxidação de manteiga embalada e armazenada em filmes biodegradáveis.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Variáveis consideradas no planejamento experimental dos filmes biodegradáveis.....	25
Tabela 2- Formulações de filmes biodegradáveis	25
Tabela 3- Formulações de filmes biodegradáveis geradas pelo planejamento experimental.....	26
Tabela 4- Concentração de compostos fenólicos (GAE) nos diferentes extratos de OPN.....	32
Tabela 5- Formulações de filmes biodegradáveis que deram certo.	37
Tabela 6- Transparência dos filmes biodegradáveis.	38
Tabela 7- Resultados para espessura, umidade, opacidade e solubilidade dos filmes biodegradáveis.	39
Tabela 8- Atividade antioxidante dos filmes- DPPH	41
Tabela 9- Índice de peróxidos (meq/Kg de amostra) para diferentes tempos de armazenamento de manteiga.	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1. LINHAÇA.....	13
3.2. ORA-PRO-NÓBIS (OPN)	14
3.3. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA ORA-PRO-NÓBIS 17	
3.4. FILMES BIODEGRADÁVEIS	18
3.4.1. Polímeros usados para obtenção de filmes biodegradáveis e aplicação de extratos.	19
3.4.2. Técnicas para obtenção de filmes biodegradáveis.....	21
3.4.2. Parâmetros para avaliação.....	22
4. METODOLOGIA	24
4.1 PREPARAÇÃO DO EXTRATO DE ORA-PRO-NÓBIS	24
4.1.2 Caracterização do extrato de ora-pro-nóbis.....	24
4.3 PREPARAÇÃO DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS	25
4.3.1 Planejamento experimental	25
4.3.2 Método para elaboração: casting.....	27
4.3.3. Caracterização dos filmes biodegradáveis	27
4.3.3.1. <i>Transparência</i>	27
4.3.3.2 <i>Espessura</i>	27
4.3.3.3 <i>Umidade</i>	27
4.3.3.4 <i>Solubilidade em água</i>	28
4.3.3.5 <i>Opacidade</i>	28
4.3.3.6 <i>Atividade antioxidante por DPPH</i>	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1. ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRATOS DE ORA-PRO-NÓBIS	29
5.1.1. Quantificação de compostos fenólicos por Folin-Ciocalteu.....	30
5.1.2. Determinação de atividade antioxidante por DPPH.....	33
5.2. PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS	35
5.2.1. Preparação dos filmes biodegradáveis	35
5.2.2. Caracterização dos filmes biodegradáveis: opacidade, umidade, espessura, solubilidade e transparência.....	38

5.2.3. Atividade antioxidante dos filmes biodegradáveis por DPPH	41
5.2.4 Índice de peróxidos da manteiga armazenada nos filmes biodegradáveis	41
6. CONCLUSÃO	45
7. REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

As embalagens para alimentos desempenham um importante papel durante seu armazenamento e transporte, auxiliando no aumento na vida útil. As embalagens mais usadas são produzidas a partir de polímeros sintéticos, devido à sua boa versatilidade e baixo custo, porém, seu uso contínuo acabou gerando acúmulos na natureza. Desse modo, uma alternativa sustentável para minimizar o uso de embalagens sintéticas seria a utilização de filmes (embalagens) biodegradáveis (ASSIS et al., 2017).

Os filmes biodegradáveis são elaborados a partir de três componentes principais, um composto gelificante (polissacarídeos, lipídeos e proteínas), um solvente e um plastificante, levando em conta que devem ser constituídos de substâncias atóxicas e que não apresentam risco à saúde (ALBUQUERQUE; MALAFAIA, 2018).

Devido a demanda de uma vida mais longa dos alimentos, faz-se necessário a busca por embalagens funcionais, visando melhorar a qualidade do produto e seu valor nutricional, o que incentivou estudos de elaboração das chamadas “embalagens ativas” (DE OLIVEIRA FILHO, 2018), as quais podem conter antioxidantes que auxiliam no retardo de reações negativas em alimentos (MATTA; TAVERA-QUIROZ; BERTOLA, 2019). Os filmes podem ser compostos por diversos tipos de vegetais, como os apresentados neste trabalho, linhaça e ora-pro-nóbis.

A linhaça é considerada um alimento funcional, e por isso, muitos estudos têm sido realizados, como foco nas fibras, compostos fenólicos e em sua estrutura que contém dibenzilbutano, o qual apresenta potencial anticarcinogênico (RIBEIRO; BARATTO, 2021). É um grão com grandes quantidades de ácidos graxos polinsaturados, sendo rico em ácido linolênico, sendo 23% na semente e 60% no óleo, o que a torna o vegetal com a maior porcentagem de ômega-3 na natureza (DO NASCIMENTO, 2017).

A ora-pro-nóbis é considerada uma PANC (Plantas Alimentícias Não Convencionais), e está sendo muito utilizada no tratamento de doenças, como constipação, osteoporose e anemia ferropriva. Seu uso pode ser variado, podendo ser aplicado na fabricação de mucilagem (goma), massas, pães, salsichas, leite fermentado, filmes, saladas, sopas, omeletes, tortas e bolos. É constituída por uma grande quantidade de proteínas e por alguns alcaloides (triptamina, abrina e mescalina), os quais proporcionam efeitos anti-inflamatório e antinociceptivo (FRANCELIN et al., 2018; DE MORAES et al., 2020; MACIEL et al., 2021).

Diversos estudos, como os realizados por Souza et al. (2016), Garcia et al. (2019), De Moraes et al. (2020), Cruz et al. (2021), De Freitas et al. (2021) e Maciel et al. (2021), demonstram que a ora-pro-nóbis possui grandes quantidades de compostos fenólicos, além de possuir atividade antioxidante.

Devido a necessidade da redução de plásticos sintéticos na natureza e a importância de uma maior qualidade dos alimentos, seja biológica, química, nutricional ou funcional, este trabalho tem por objetivo elaborar e caracterizar extrato de ora-pro-nóbis e filmes biodegradáveis de farinha de linhaça adicionados de extrato de ora-pro-nóbis, além de realizar aplicação dos filmes biodegradáveis em matriz alimentícia rica em lipídeo e avaliar o seu desempenho.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

- Elaborar filmes biodegradáveis de farinha de linhaça com adição de extrato de ora-pro-nóbis e analisar o comportamento dos filmes biodegradáveis a partir de parâmetros físico-químicos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter um extrato de ora-pro-nóbis e analisar seu potencial antioxidante.
- Definir a quantidade ótima de farinha de linhaça, extrato e plastificante, através de um planejamento experimental para a elaboração dos filmes biodegradáveis.
- Realizar análises físicas nos filmes biodegradáveis, como espessura, solubilidade em água, umidade e opacidade.
- Determinar o potencial antioxidante dos filmes biodegradáveis contendo ora-pro-nóbis.
- Aplicar os filmes biodegradáveis de ora-pro-nóbis em alimento rico em lipídeo.
- Avaliar o índice de peróxidos de manteiga embalada nos filmes biodegradáveis.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. LINHAÇA

A linhaça é uma oleaginosa produzida pelo linho (*Linum usitatissimum*), sendo cultivada tanto em climas quentes quanto em climas frios, e tendo duas variedades, a linhaça marrom e a linhaça dourada, como pode ser observado na Figura 1. Essa variação nas cores indica uma diferença nas quantidades dos constituintes responsáveis pela pigmentação da semente, a qual é causada pelo clima e por fatores genéticos. Devido a linhaça ser considerada um alimento funcional, muitos estudos têm sido realizados, como foco nas fibras, compostos fenólicos e em sua estrutura que contém dibenzilbutano, o qual apresenta potencial anticarcinogênico (RIBEIRO; BARATTO, 2021).

Esta semente já é consumida há mais de 5.000 anos, como alimento e como tratamento medicinal. É rica em proteínas, ácidos graxos, lipídeos, fibras dietéticas e fitoquímicos, o que proporciona a redução de doenças crônicas degenerativas, como câncer, problemas cardiovasculares e doenças autoimunes. Outra perspectiva singular da linhaça, é que a partir dela podem ser obtidos uma variedade bastante considerável de subprodutos, como óleo, mucilagem e cosméticos (VIEIRA et al., 2020). A linhaça é um grão com grandes quantidades de ácidos graxos polinsaturados, sendo rico em ácido linolênico, sendo 23% na semente e 60% no óleo, o que a torna o vegetal com a maior porcentagem de ômega-3 na natureza (DO NASCIMENTO, 2017).

Figura 1- Linha dourada (esquerda) e linhaça marrom (direita).



Fonte: Adaptado de BECKER et al., 2018.

O ácido graxo alfa-linolênico (ALA), que está presente nas sementes de linhaça, pode ser convertido EPA (Eicosapentaenóico) e DHA (Docosahexaenóico) pelo organismo, os quais auxiliam na prevenção de doenças como trombose, hipertensão e aterosclerose. Ainda, essa

semente é abundante em lignana, compostos semelhantes ao estrógeno e fibras solúveis e insolúveis, que melhoram o trânsito intestinal e auxiliam na redução do colesterol sanguíneo. O EPA (ω -3), o DHA (ω -3) e o AA (ácido araquidônico, ω -6) são ácidos graxos responsáveis pelo controle da formação de eicosanoides, que está entre os principais mediadores e reguladores de inflamação. Pelo fato de o ácido alfa-linolênico e o ácido linoleico (precursor de AA) serem semelhantes ocorre uma competição pela enzima que sintetiza os derivados com mais de 20 carbonos, DHA, EPA e AA. Deste modo, o alto consumo de ácido oleico irá aumentar a quantidade de AA, o qual incentiva a produção de eicosanoides, que em excesso gera distúrbios imunológicos que podem desencadear inflamações e doenças. Deste modo, é interessante um maior consumo de ácidos graxos da família ω -3, como o ácido alfa-linolênico, já que ocorre uma competição pela enzima e como consequência a formação de eicosanoides reduz e os que ainda se formam possuem caráter menos inflamatório (BORGES et al., 2014).

Devido a essas características de composição, que trazem benefícios à saúde, a linhaça vem sendo utilizada em vários estudos relacionados à desenvolvimento de novos produtos. Dos Santos Nascimento; Oliveira e De Oliveira (2020) elaboraram brownies com adição de farinha de linhaça e farinha de chia, realizando análises físico-químicas e sensoriais do produto. Ocorreu um considerável aumento proteico na amostra adicionada de linhaça, assim como um aumento na quantidade de lipídeos e cinzas, o que se deve ao fato de a linhaça ser rica em ácido linolênico (grupo ω -3) e minerais. Com a farinha de chia ocorreu aumento no valor lipídico, devido a presença de ácidos graxos polinsaturados. Quanto à análise sensorial, os autores observam que os brownies com farinha de linhaça e farinha de chia mostraram a mesma intenção de compra que um brownie tradicional, o que indica uma possibilidade de inclusão dessas farinhas em formulações alimentícias, as quais resultariam em alimentos mais saudáveis.

Em um estudo feito por Moura et al. (2019), foi adicionada sementes de linhaça marrom em geleia de maracujá, com posteriores análises físico-químicas e de compostos bioativos. Os autores perceberam que conforme ocorria o aumento na quantidade de linhaça adicionada maiores eram os valores de flavonoides e antocianinas, indicando que a geleia pode ser considerada um alimento funcional.

3.2. ORA-PRO-NÓBIS (OPN)

No mundo em geral, com foco no Brasil, existe diversas espécies de plantas com qualidades e características nutricionais e gastronômicas desconhecidas, que muitas vezes são chamadas de daninhas. Essas espécies são chamadas de PANCs (Plantas Alimentícias Não Convencionais) e possuem um grande potencial como alimentício, tendo alto poder nutritivo e

serve como incremento para a agricultura. As PANCS são facilmente cultivadas, sendo pouco afetadas por pragas e doenças (DE JESUS et al., 2020), o que implica no não uso de agrotóxicos, proporcionando cultivos orgânicos e ecológicos.

A ora-pro-nóbis é considerada uma PANC, e está sendo muito utilizada no tratamento de doenças, como constipação, osteoporose e anemia ferropriva. Seu uso pode ser variado, podendo ser aplicado na fabricação de mucilagem (goma), massas, pães, salsinhas, leite fermentado, filmes, saladas, sopas, omeletes, tortas e bolos. É constituída por uma grande quantidade de proteínas e por alguns alcaloides (triptamina, abrina e mescalina), os quais proporcionam efeitos anti-inflamatório e antinociceptivo (FRANCELIN et al., 2018; DE MORAES et al., 2020; MACIEL et al., 2021).

A ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) pertence à família *Cactacea* e é originária do Brasil e das regiões sul dos Estados Unidos da América (MACIEL et al., 2021), sendo caracterizada por ser uma trepadeira arbustiva, com caules lenhosos, flores brancas e folhas verdadeiras (DE MORAES et al., 2020), como poder ser visto na Figura 2. Suas folhas são uma ótima fonte de proteínas, chegando a valores de 26% p/p, valor bem superior aos demais vegetais usados mais comumente, como feijão, milho e couve, além de possuir quantidades significativas de minerais, fibra alimentar, vitaminas A e C e ácido fólico (SOUZA et al., 2016).

Figura 2- Ora-pro-nóbis.



Fonte: RODRIGUES et al., 2016.

Garcia et al. (2019) realizaram análises de compostos fenólicos e atividade antioxidante de extrato de folhas de ora-pro-nóbis (OPN). Os autores encontraram um total de 10 compostos fenólicos no extrato, sendo eles dois ácidos fenólicos (derivados do ácido cafeico) e oito flavonoides (quercetina, caempferol e derivados de glicosídeo isorhamnetina). O ácido cafárico representou quase a metade (49%) do conteúdo total de fenólicos, seguido por quercetina-3-O-rutinosídeo (14,99%) e isorhamnetina-O-pentosídeo-O-rutinosídeo (9,56%). Segundo os

autores, a capacidade antioxidante do extrato de ora-pro-nóbis foi superior ao Trolox nos métodos DPPH E ABTS. Também ressaltam que o extrato exibiu atividade antimicrobiana contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, o que pode ser indício da presença de fitoquímicos com atividade antibiótica.

A partir de extratos de OPN com metanol, éter de petróleo e clorofórmio, Souza et al. (2016), realizaram análises de atividade antimicrobiana, antioxidante e conteúdo de fenólicos. Além disso foi realizado um estudo da composição do óleo essencial das folhas de OPN. O extrato feito com metanol se destacou na atividade antioxidante (EC50 7,09 mg / mL) e no teor de compostos fenólicos ($15,04 \pm 0,31$ mg equivalentes de ácido gálico (GAE) / g), enquanto isso, o extrato de éter de petróleo foi eficaz contra *Escherichia coli* e o extrato de clorofórmio inibiu o crescimento de *Bacillus cereus* e *Staphylococcus aureus*. Os extratos de éter de petróleo e metanol foram mais eficientes contra *Aspergillus versicolor*. O óleo essencial de OPN apresentou em sua composição 24 constituintes, sendo os principais a acorona (30%), (Z, Z) - metil-4,6-hexadecadieno (16,34%), 1-nonadecen-ol (6,18%) e (5E, 9E) -farnesil acetona (5,70%).

Cruz et al. (2021) usaram mistura de solventes (água, etanol, acetona) para obter um extrato de OPN e avaliar composição química, atividade antioxidante e bioatividade *in vitro*. A composição ideal de solvente foi 60% água, 40% de etanol e 0% de acetona, resultando em um extrato com 64 mg GAE/g de compostos fenólicos, 823 mg/g proteínas e atividade antioxidante (DPPH=39 mg AAE/g para o extrato E4), além de retardar a peroxidação lipídica em 32%.

Utilizando OPN, Maciel et al. (2021) elaboraram um extrato aquoso e analisaram teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante. Como resultado, os autores obtiverem um extrato com bons teores de fenólicos totais (151.503 ± 3.345 mg GAE g⁻¹ extrato OPN), taninos (4.636 ± 0.119 mg CE g⁻¹ extrato OPN) e flavonoides (0.145 ± 0.006 mg RE g⁻¹ extrato OPN), além de bom índice proteico ($21.81 \% \pm 0.10$) e de ferro (47.81 ± 0.22 mg 100 g⁻¹). Em se tratando de atividade antioxidante também foram encontrados valores consideráveis para DPPH (68.695 ± 2.850 mg RE g⁻¹ extrato OPN), FRAP (0.909 ± 0.026 μMol TE g⁻¹ extrato OPN) e ORAC (36.691 ± 2.722 μMol TE g⁻¹ extrato OPN). Os autores ainda ressaltam que com um extrato aquoso simples é possível obter um extrato rico em ferro, compostos fenólicos e com atividade antioxidante, podendo ser aplicado como um alimento funcional.

De Moraes et al. (2020) realizaram análises de atividade antioxidante (DPPH), teor de fenólicos totais (TPC) e teor de flavonoides (TFC) de chá de caule de ora-pro-nóbis sem e com congelamento. Os resultados encontrados para atividade antioxidante, fenólicos e flavonoides foram, respectivamente, $589,34 \pm 69,48$ μg mL⁻¹; $86,06 \pm 16,37$ mg AGE g⁻¹ e $13,18 \pm 3,56$ mg

RE g⁻¹. De acordo com os autores os compostos fenólicos presentes são os principais responsáveis pela atividade antioxidante do chá, além disso, o congelamento por 3 semanas não demonstrou alterações significativas nos parâmetros analisados. Entretanto, o armazenamento por períodos mais longos possivelmente irá alterar as propriedades do chá.

De Freitas et al. (2021) investigaram a constituição química e o potencial antioxidante de extratos de *P. aculeata*. Os extratos foram feitos com glicerina e álcool de cereais. Os extratos PA01 e PA02 apresentaram teor de fenólicos totais de $13,84 \pm 4,29$ e $18,35 \pm 2,12$ mg em EQ de ácido tânico/g de extrato, respectivamente. Para DPPH os resultados foram $11,93 \pm 1,84$ (PA01) e $9,91 \pm 2,45$ µg/mL, (PA02). Os autores ressaltam que os extratos de OPN têm potencial para auxiliar na prevenção de doenças relacionadas com a produção de espécies reativas.

3.3. ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS DA ORA-PRO-NÓBIS

Os vegetais possuem dois tipos de metabolismo, primário e secundário, sendo que o primário é ligado aos processos de sobrevivência como fotossíntese, respiração e absorção de nutrientes. Já os metabólitos secundários, ou fitoquímicos, agem como defensores das plantas, possuindo elevada atividade biológica. Os compostos fenólicos fazem parte do segundo grupo metabólico, possuindo no mínimo um grupo hidroxila ligado ao anel aromático, podendo ser moléculas simples (ácidos fenólicos) ou moléculas mais complexas (taninos) (MOURA et al., 2016).

Diversos estudos, como os realizados por Souza et al. (2016), Garcia et al. (2019), De Moraes et al. (2020), Cruz et al. (2021), De Freitas et al. (2021) e Maciel et al. (2021), demonstram que a ora-pro-nóbis possui grandes quantidades de compostos fenólicos, além de possuir atividade antioxidante.

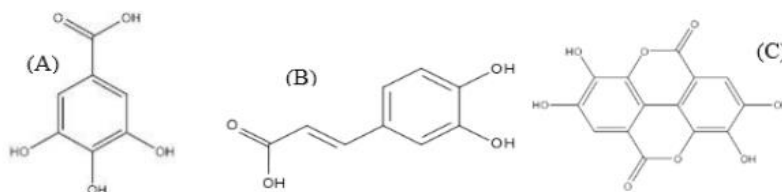
Os compostos fenólicos agem como protetores das células, sequestrando e inibindo espécies provenientes do oxigênio reativo, por meio da transferência de elétrons aos radicais livres, sendo também capazes de ativar enzimas antioxidantes e inibir enzimas oxidases. Desta maneira, agem na prevenção do estresse oxidativo, o qual pode desencadear doenças como aterosclerose, diabetes e doenças neurodegenerativas. Ainda, os compostos fenólicos são vistos como inibidores de crescimento de células cancerígenas, anti-inflamatórios, protetores gástricos e podem apresentar atividade contra microrganismos (SOUZA; VIEIRA; PUTTI, 2018).

Radicais livres são descritos como átomos/moléculas com reatividade alta, que em sua última camada eletrônica contém elétrons desemparelhados, formando-se a partir da doação

(oxidam-se) ou recebimento (reduzem-se) de elétrons. Este processo é conhecido como reação de óxido-redução (MOURA, 2016). A produção dessas espécies reativas pode resultar em problemas na saúde dos indivíduos, desde inflamações, cataratas, diabetes e envelhecimento até problemas cardiovasculares, câncer e doenças como Alzheimer e Parkinson. O organismo possui um sistema, através de enzimas, capaz de controlar o nível de radicais livres produzidos em nível celular com auxílio de substâncias antioxidante (DA SILVA; DOS SANTOS; CAVALCANTE, 2016). Porém, o organismo sozinho não consegue reverter todos os danos causados pelas espécies reativas, sendo então relevante complementar a dieta com o consumo de alimentos ricos em compostos antioxidantes (SANTOS et al., 2018).

Os compostos fenólicos que são mais frequentemente estudados são o ácido caféico, o ácido gálico e o ácido elágico (SANTOS et al., 2018), como pode ser observado na Figura 2.

Figura 3- Estrutura química dos compostos fenólicos: ácido gálico (A), ácido caféico (B) e ácido elágico (C).



Fonte: SANTOS et al., 2018

Os compostos fenólicos interagem, de preferência, com o radical peroxil, por este ser mais presente na etapa de autoxidação e por ser menos energético, favorecendo a abstração de hidrogênio. O mecanismo de ação dos antioxidantes de origem vegetal é bastante importante, pois auxilia na redução do processo oxidativo em tecidos animais e vegetais, além de evitar desenvolvimento de patologias (ROMANI; MARTINS; SOARES, 2017).

3.4. FILMES BIODEGRADÁVEIS

As embalagens para alimentos desempenham um importante papel durante seu armazenamento e transporte, auxiliando no aumento na vida útil. As embalagens mais usadas são produzidas a partir de polímeros sintéticos, devido à sua boa versatilidade e baixo custo, porém, seu uso contínuo acabou gerando acúmulos na natureza. Desse modo, uma alternativa sustentável para minimizar o uso de embalagens sintéticas seria a utilização de filmes (embalagens) biodegradáveis (ASSIS et al., 2017).

Os filmes biodegradáveis são elaborados a partir de três componentes principais, um composto gelificante (polissacarídeos, lipídeos e proteínas), um solvente e um plastificante. A variação nas proporções dos compostos resulta em filmes com características diferentes. Para que possam ser utilizados como embalagens para alimentos devem atender à alguns atributos, que são barreira ao oxigênio, água e/ou gorduras, assim como estabilidade microbiológica, físico-química e bioquímica. Ainda, devem ser constituídos de substâncias atóxicas e que não apresentam risco à saúde (ALBUQUERQUE; MALAFAIA, 2018).

Devido a demanda de uma vida mais longa dos alimentos, faz-se necessário a busca por embalagens funcionais, visando melhorar a qualidade do produto e seu valor nutricional. A partir disso, diversos autores vêm estudando a adição de compostos para a elaboração das chamadas “embalagens ativas” (DE OLIVEIRA FILHO, 2018), as quais podem conter antioxidantes que auxiliam no retardo de reações negativas em alimentos (MATTA; TAVERA-QUIROZ; BERTOLA, 2019).

3.4.1. Polímeros usados para obtenção de filmes biodegradáveis e aplicação de extratos.

Inúmeras podem ser as matérias-primas para obtenção de filmes biodegradáveis, podendo ser citados xilana e gelatina (LUCENA et al., 2017), carragenana (MARTINY et al., 2018), amido (DA SILVA; RABELO, 2017).

Utilizando xilana (obtida de sabugo de milho) e gelatina, Lucena et al. (2017) elaboraram filmes biodegradáveis e avaliaram suas características físico-químicas. Como resultado, os filmes de xilana/gelatina se sobressaíram na análise macroscópica, e o aumento do conteúdo de xilana resultou em uma maior solubilidade dos filmes. Os autores apontam que a eficiência dos filmes está ligada a quantidade de xilana adicionada e ao período de análise.

Martiny et al. (2018) desenvolveram filmes biodegradáveis a base de carragenana, com adição de extrato de folhas de oliveira. Os filmes de carragenana ficaram homogêneos, uniformes, não quebradiços, manuseáveis, saíram facilmente da placa e se mostraram claros e transparentes. Os filmes adicionados de extrato de oliveira ficaram com cor marrom esverdeada, aumentaram a espessura e reduziram a solubilidade em água.

De Sales et al. (2021) produziram filmes biodegradáveis com amido de milho (variando a quantidade), glicerina e extrato de própolis-verde. Os filmes com melhores características foram aplicados na conservação de banana-prata. Depois do período de armazenamento as

frutas embaladas mostraram menor perda de massa, que as sem embalagem, o que mostra que os filmes impediram reações oxidativas e de deterioração.

Já Pereira et al. (2021), utilizaram quitosana como base para os filmes biodegradáveis adicionados de extrato de *Anacardium microcaroum ducke* (cajú). Os filmes sem extrato apresentaram aparência homogênea e transparente, enquanto os filmes contendo extrato apresentaram pontos com maior intensidade de cor, indicando menos homogeneidade.

Silva, Brinques e Gurak (2020) desenvolveram filmes biodegradáveis à base de amido de milho com adição de diversas farinhas de subproduto de broto (feijão, alfafa, amaranto, brócolis, rabanete e, predominantemente, trevo), realizando análises físico-químicas nos filmes obtidos. Como resultado, as autoras perceberam alteração nos parâmetros de cor, no índice de solubilidade em água e na temperatura de fusão dos filmes adicionados de farinhas, quando comparado o filme controle (sem adição das farinhas). Assim, o subproduto de broto pode ser usado como um possível constituinte dos filmes biodegradáveis, proporcionando melhores propriedades tecnológicas e reaproveitando resíduos agroindustriais.

Em outro estudo, realizado por Silva et al. (2020), foram elaboradas soluções filmogênicas com amido de mandioca e glicerol, as quais foram usadas como recobrimento de goiaba, armazenadas em diferentes temperaturas (10 °C, 15 °C e 23 °C). o recobrimento, juntamente com as baixas temperaturas, reduziu a perda de massa e a perda de firmeza das frutas, além de ser letal aos ovos e larvas de *C. Capitata*, o que reduz os danos de frutos infestados.

Sueiro et al. (2016) também utilizaram amido de mandioca como base para filmes biodegradáveis, além de pululana e celulose bacteriana. Os autores caracterizaram os filmes quanto à microestrutura, barreira, propriedades térmicas e mecânicas. O uso da celulose e da pululana deixou os filmes mais homogêneos, com menor solubilidade, menor permeabilidade ao vapor de água, aumentou o alongamento e elevou a estabilidade térmica.

A partir de isolado proteico, obtida de aparas de pescada (*Cynoscion guatacupa*), Marasca, Nogueira e Martins (2020) elaboraram filmes biodegradáveis. Os filmes obtidos se mostraram flexíveis e com boas propriedades mecânicas, porém eram bastante solúveis em água e permeáveis ao vapor de água, sendo degradados em 10 dias. As autoras salientam que os filmes produzidos podem ser aplicados em alimentos que não precisem de altas barreiras contra umidade.

Silva et al. (2019) utilizaram amido de arroz e diferentes concentrações de polpa de guabiroba na elaboração de filmes biodegradáveis. Os filmes se mostraram bons, com espessura entre 0,150 a 0,231 mm, solubilidade média de 20,54%, e permeabilidade ao vapor de água

0,53 g/m.h.Pa para 0,31 g/m.h.Pa (filme com maior quantidade de polpa). Os autores acreditam que o arroz e a guabiroba são boas matérias primas para a produção de filmes biodegradáveis.

Pode ser observado, que os filmes biodegradáveis são fonte de estudo de diversos autores e podem ser elaborados com uma infinidade de matérias primas de origens vegetal e animal, o que impulsiona cada vez mais pesquisas e melhoramentos

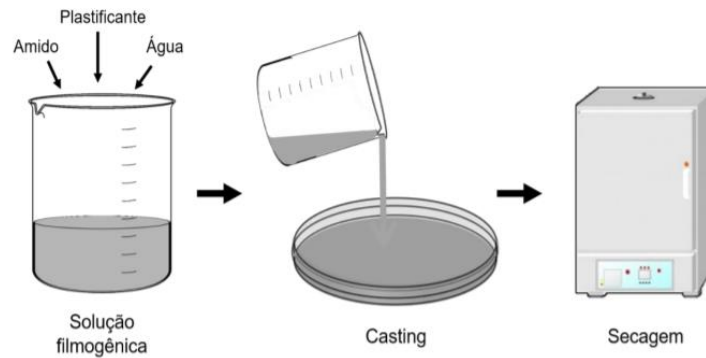
3.4.2 Técnicas para obtenção de filmes biodegradáveis

A elaboração de filmes pode ser feita por diversas técnicas, como dip-coating, spin-coating e casting (VIÉGAS; SILVA; RODRÍGUEZ, 2016). A dip-coating é um dos métodos mais simples de recobrimento por imersão, necessitando de baixos investimentos e resultando em coberturas homogêneas e baixas temperaturas de reação. É caracterizada pela imersão vertical do substrato (aquele que recebe a cobertura filmogênica) em uma solução líquida com posterior retirada em velocidade constante, em seguida, é removido o excesso de solução. Pode ser realizado continuamente ou dividido em etapas, dependendo da geometria do substrato, sendo importante realizar esta técnica em equipamentos com vibração, para que o substrato se desloque de maneira lenta e o revestimento fique uniforme e fino (HOLANDA et al., 2017).

A técnica spin-coating também é simples e requer equipamentos de baixo custo (spin-coater), o qual consiste em um motor elétrico com sistema à vácuo e controle de rotação e tempo, além de um forno convencional para o tratamento térmico dos filmes. A solução filmogênica é depositada em uma superfície que tem movimento rotacional, sendo responsável por provocar a evaporação do solvente. É importante o controle adequado de tempo e velocidade de rotação, para que os filmes fiquem estáveis e homogêneos (LARANJEIRA et al., 2021).

Já o método casting se destaca, por ser o mais empregado em escala laboratorial e demonstrar bons resultados, sendo o mais usado em estudos de elaboração de filmes biodegradáveis. Consiste no espalhamento de uma solução filmogênica (macromoléculas, solvente e plastificante) e, um suporte (placas de vidro ou plástico). Em seguida a solução sobre desidratação lenta em baixas temperaturas. A evaporação do solvente pode ser acelerada por meio de aquecimento conforme pode ser observado na Figura 4 (VIÉGAS; SILVA, RODRÍGUEZ, 2016; BOMFIM et al., 2019).

Figura 4- Esquema de elaboração de filmes biodegradáveis pelo método casting.



Fonte: LARANJEIRA et al., 2021

Costa (2017) usou o método casting para elaborar bioplásticos com amido de jaca, depositando a solução filmogênica em uma placa de vidro de 20x30cm, que seguiu para secagem em temperatura de 30°C durante 24 horas. Os filmes com maior quantidade amido demonstraram maiores espessuras, enquanto os com menor teor de amido apresentaram as menores espessuras, tendo uma variação total na espessura de 58 µm a 98 µm.

Também pelo método casting, Souza (2016) elaborou filmes com gelatina e sorbitol. A solução foi feita sob agitação e depois vertida em placas, que foram levadas em estufa por circulação de ar durante 48h com temperatura de 40°C. Os filmes já secos demonstraram boa homogeneidade e facilidade na manipulação, com espessura de 0,177mm.

3.4.2. Parâmetros para avaliação

Os aspectos visuais dos filmes biodegradáveis são de extrema importância quando se fala em embalagens, já que além de proteger o produto, os filmes possuem apelo comercial e servem como um meio de informação ao consumidor. Assim, os filmes precisam ser lisos, com brilho e boa transparência, o que resulta em embalagens mais bonitas e atrativas aos consumidores (DEGRUSON, 2016).

A análise de transparência ou cor dos filmes pode ser realizada pelo método de Bomfim (2019), sendo utilizado um colorímetro que segue os parâmetros CIELAB. Os parâmetros são L (luminosidade- variação da cor branca a preta), a* (que varia do vermelho (+) ao verde (-)) e b* (variação do amarelo (+) ao azul (-)).

Outra análise que pode ser feita é a de morfologia (por meio de imagens ampliadas), utilizando um microscópio eletrônico de varredura. Em caso de filmes com amido, também

podem ser observados os tamanhos dos grânulos. Com este método é possível avaliar uniformidade, homogeneidade e irregularidades dos filmes (BRITO et al, 2019).

A espessura dos filmes também é de grande relevância, usado para analisar a uniformidade do material e para realizar comparação entre filmes distintos. Quando se usa o método casting na elaboração dos bioplásticos o controle de espessura é mais difícil, sendo necessário um rigoroso controle do suporte e do nível da estufa (HOFFMANN; SIGUEL, 2018).

Além das análises acima citadas, a avaliação das propriedades mecânicas dos filmes é de extrema importância, pois elas direcionam o uso dos filmes. Os filmes precisam ser flexíveis e resistentes à ruptura e abrasão. A análise pode ser feita por teste de tração (alongamento em relação ao tamanho original) e tensão máxima. Esses dados dependem do tipo de material, da espessura, tamanho da amostra usada, velocidade do ensaio e distância entre as garras do equipamento (MERCY; MARIM; MALI, 2015).

A interação do filme com a água é uma das análises mais importantes a ser realizada, quando se fala em embalagens para alimentos, pois pode ocorrer alteração dos mesmos (COFFERRI, 2020). A solubilidade descreve a resistência que os filmes têm para com a água, onde, normalmente, filmes com maior solubilidade são menos resistentes e com maior solubilidade são mais resistentes. Um filme com alta solubilidade pode ser interessante para a aplicação em produtos que são aquecidos antes do consumo, e para indicar a biodegradabilidade (SILVA et al, 2019).

Outra análise importante é o teor de umidade. De acordo com Menezes Filho (2020), altos teores de umidade fazem com que o filmes biodegradável sofra desestabilização polimérica. Em seu estudo o autor encontrou umidades de $8,45 \pm 0,13\%$, para filmes elaborados com resíduos de melancia, o que é considerado um bom teor.

Em filmes biodegradáveis ativos normalmente são realizadas análises antioxidante, e segundo Jesus (2021), são vários os métodos usados para essa determinação em alimentos, sendo os mais comuns os métodos *in vitro*, DPPH·, ABTS·+ e FRAP, os quais recebem os nome de seus respectivos agentes/radicais. Nesses métodos o agente entra em contato com a substância antioxidante e posteriormente é feita uma leitura espectrofotométrica, a qual demonstra, por mudança de cor, se houve a inativação dos radicais. A adição de um antioxidante diminui a absorbância proporcional à concentração e atividade antioxidante do próprio composto. A vantagem desse tipo de método é que o radical livre é estável e fácil de ser adquirido, tornando mais precisas as análises.

A oxidação é um fenômeno que acontece naturalmente em alimentos, causando várias

perdas nutricionais e sensoriais, além de eventuais formações de substâncias tóxicas. Quando se fala em oxidação lipídica, as alterações mais comuns são o desenvolvimento de aromas desagradáveis, chamado popularmente de ranços. Os substratos envolvidos nessa reação são ácidos graxos insaturados, pois suas ligações duplas podem reagir com o oxigênio, sendo oxidados rapidamente quando livres. O grau de insaturação desses ácidos graxos também interfere na velocidade da reação. O índice de peróxidos é um indicador bastante sensível para o período inicial de oxidação. A presença dos peróxidos indica que a degradação de odor e sabor está acontecendo no alimento, sendo que quando seus valores derem elevados as mudanças ocorridas já são mais complexas, com formação de compostos de baixa massa molecular. (ROMANI; MARTINS; SOARES, 2017).

4. METODOLOGIA

4.1 PREPARAÇÃO DO EXTRATO DE ORA-PRO-NÓBIS

Em um primeiro momento foram coletadas folhas de ora-pro-nóbis, no município de Erechim-RS, com posterior seleção, higienização e retirada do excesso de água com papel toalha. A secagem das amostras foi feita de acordo com a metodologia usada por Bisognin et al. (2019), onde as folhas passaram por secagem em estufa a 65°C, até peso constante, com posterior moagem em moinho de facas. Além da farinha de seca em laboratório, também foram elaborados extratos com folhas in natura e com farinha de ora-pro-nóbis adquirida em um estabelecimento comercial da cidade de Erechim-RS.

Para o extrato, foi usado o método descrito por Silva (2019), com adaptações. Em balança analítica, 2,5 gramas de amostra foram pesados e adicionados em 25 mL de solução etanol/água (60% de etanol e 40% de água), na proporção 1:10 (g/V). Em seguida a solução, envolta em papel alumínio, foi colocada em uma chapa de aquecimento durante 2 horas com temperatura ambiente (25°C). O extrato pronto passou por filtração e posteriormente foi armazenamento refrigerado, em frasco âmbar, para uso futuro e análises posteriores.

Assim, foram obtidos três extratos, extrato de folhas in natura (Extrato F), extrato de farinha seca em laboratório (Extrato S) e o extrato de farinha comercial (Extrato C).

4.1.2 Caracterização do extrato de ora-pro-nóbis

Os diferentes extratos obtidos foram caracterizados quanto ao teor de compostos fenólicos totais (CFT), utilizando o método de Folin-Ciocalteu, descrito por LAZZAROTTO et al.

(2020), onde as análises foram realizadas no escuro. As leituras das absorbâncias foram feitas a 765 nm e os resultados expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (mg EAG) por grama de amostra seca.

Além disso, foi avaliada a atividade antioxidante do extrato de ora-pro-nóbis selecionado pelo método do radical DPPH, seguindo a metodologia de RUFINO et al. (2007), onde foi feita uma curva padrão, com várias concentrações do radical DPPH, para a extração da equação. Com a curva padrão feita, foi realizada a mistura da solução de DPPH com extrato de ora-pro-nóbis. As soluções foram mantidas em repouso e em seguida foram lidas em espectrofotômetro UV-Vis (515 nm). Os resultados de absorbância foram aplicados na equação da curva e foi obtido o resultado para a atividade antioxidante.

4.3 PREPARAÇÃO DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS

4.3.1 Planejamento experimental

As formulações dos filmes biodegradáveis foram feitas a partir de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) contendo 3 variáveis independentes $2^3 + 3_{\text{pontos centrais}} + 6_{\text{pontos axiais}}$, (Tabelas 1 e 2), com variação nas quantidades de farinha de linhaça, extrato de ora-pro-nóbis e plastificante (glicerol), sendo mantido constante a quantidade de água.

Tabela 1- Variáveis consideradas no planejamento experimental dos filmes biodegradáveis

Variáveis	Código	-1,68	-1	0	+1	+1,68
Farinha de linhaça (g)	X1	0,64	2,0	4,0	6,0	7,36
Glicerol (g)	X2	0,66	1,0	1,5	2,0	2,34
Extrato de OPN (mL)	X3	0,8	2,5	5,0	7,5	9,2

Tabela 2- Formulações de filmes biodegradáveis

Formulação	X1	X2	X3
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1

5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9	-1,68	0	0
10	+1,68	0	0
11	0	-1,68	0
12	0	+1,68	0
13	0	0	-1,68
14	0	0	+1,68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

A partir do planejamento experimental foram geradas 17 formulações de filmes biodegradáveis, as quais podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3- Formulações de filmes biodegradáveis geradas pelo planejamento experimental.

Formulação	Farinha de linhaça (g)	Glicerol (g)	Extrato (mL)
1	2,0	1,0	2,5
2	6	1	2,5
3	2	2	2,5
4	6	2	2,5
5	2	1	7,5
6	6	1	7,5
7	2	2	7,5
8	6	2	7,5
9	0,64	1,5	5
10	7,36	1,5	5
11	4	0,66	5
12	4	2,34	5
13	4	1,5	0,8
14	4	1,5	9,2
15	4	1,5	5
16	4	1,5	5
17	4	1,5	5

4.3.2 Método para elaboração: casting

Os filmes do planejamento foram elaborados utilizando o método casting (VIÉGAS; SILVA, RODRÍGUEZ, 2016; BOMFIM et al., 2019), onde a solução filmogênica é feita pela mistura da água (volume de 100 L para todas as formulações) com a farinha de linhaça, que fica em temperaturas de 70 a 80°C e sob agitação, em agitador magnético, durante 20 minutos, em seguida foi adicionado glicerol à solução, com agitação por mais 5 minutos. O extrato de ora-pro-nóbis foi adicionado ao término do processo, com curta agitação até a solução ficar homogênea.

A solução pronta permaneceu em temperatura ambiente até atingir 35°C, quando foi vertida em placas de acrílico (15 cm de diâmetro) e levada em estufa (35°C) até secagem completa, que foi analisada visualmente. Cada placa recebeu aproximadamente 60 gramas de solução filmogênica.

4.3.3. Caracterização dos filmes biodegradáveis

Os filmes obtidos com o planejamento experimental foram caracterizados quanto aos parâmetros de transparência, espessura, umidade, solubilidade em água, opacidade e atividade antioxidante por DPPH, e Índice de Peróxidos conforme metodologia descrita a seguir:

4.3.3.1. Transparência

A transparência dos filmes biodegradáveis foi realizada segundo o método de Bomfim et al. (2019), utilizando um colorímetro e seguindo os parâmetros CIELAB. Esses parâmetros são o L (luminosidade- variação da cor branca a preta), o a* (que varia do vermelho (+) ao verde (-)) e o b* (variação do amarelo (+) ao azul (-)). Os filmes foram lidos na parte que ficou em contato com a placa durante a secagem, sendo usado um fundo branco.

4.3.3.2 Espessura

A espessura foi determinada de acordo com Assis (2017) através de um micrômetro digital, onde o resultado é a média aritmética da leitura de cinco pontos aleatórios de cada amostra.

4.3.3.3 Umidade

Amostras de filmes com aproximadamente 2 cm de diâmetro foram secas em estufa de laboratório em temperatura de 105°C por 24 horas. Depois de secas as amostras, foi calculado a umidade por gravimetria, relacionando o peso inicial com o peso final (VARGAS, 2018).

4.3.3.4 Solubilidade em água

A solubilidade em água foi feita de acordo com Lucena et al. (2017), com adaptações, sendo realizada em triplicata. Discos de 1,5 cm de filmes foram secos em estufa (105°C até peso constante) para a determinação do peso inicial da matéria seca. Em seguida, os discos foram imersos em água destilada, onde permaneceram por 24h em temperatura ambiente. Após, as amostras foram filtradas e secas (105°C até peso constante) para a determinação da matéria que não solubilizou na água, usando a equação a seguir.

$$S = \frac{\text{Massa inicial} - \text{Massa final}}{\text{Massa inicial}} \times 100$$

4.3.3.5 Opacidade

A análise de opacidade dos filmes foi realizada em triplicada, utilizando um espectrofotômetro no comprimento de onda 500nm (região visível). O filme foi cortado em pequenas tiras retangulares e colocado em uma cubeta de quartzo. A opacidade dos filmes foi calculada a partir da divisão dos valores de absorbância (nm) pela espessura do filme (mm) (WANG et al, 2013).

4.3.3.6 Atividade antioxidante por DPPH

Assim como os extratos de ora-pro-nóbis, os filmes biodegradáveis também foram submetidos a avaliação da atividade antioxidante por DPPH, seguindo o método realizado por RUFINO et al. (2007), com adaptações. Primeiramente foi realizada a diluição de 2 mg de filme biodegradável em 1 mL de etanol, para posterior retirada de uma alíquota de 0,4 mL que foi adicionado a 4 mL de solução de DPPH. A solução ficou reagindo por 2 horas e depois foi submetida a leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda 515 nm.

4.3.3.7 Índice de Peróxidos (IP)

Amostras de manteiga sem antioxidantes foram embalados em filmes biodegradáveis de farinha de linhaça e extrato de ora-pro-nóbis, filmes de linhaça sem extrato e filme plástico comercial, visando a análise de índice de peróxidos (IUPAC, 1987). As amostras foram mantidas em temperatura de 15 °C ± 5 e sob incidência de luz, sendo avaliadas no tempo zero, 5 horas, 22 horas, 50 horas e 123 horas, segundo o método realizado por Assis (2017), com algumas adaptações.

Na análise, as amostras de manteiga (aproximadamente 5 gramas) foram derretidas a 40 °C em banho-maria, e em seguida misturou-se uma solução de ácido acético e clorofórmio (3:2) e 0,5 mL de uma solução saturada de iodeto de potássio, além de água destilada (30 mL) e solução 10 % de amido em um Erlenmeyer. A mistura foi titulada com tiosulfato de sódio, e a quantidade de titulante gasta foi usada para calcular o teor de peróxidos da manteiga.

Para os cálculos de índice de peróxidos foi utilizada a equação a seguir, sendo expressa em meq/1000 gramas de amostra.

$$IP = \frac{(A - B) * N * f * 1000}{P}$$

Onde:

A: volume em mL de solução de tiosulfato de sódio gasto na titulação da amostra;

B: volume de tiosulfato de sódio usado na titulação do branco;

N: normalidade da solução de tiosulfato de sódio;

P: peso da amostra em gramas;

f: fator de correção da solução de tiosulfato de sódio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EXTRATOS DE ORA-PRO-NÓBIS

A partir das farinhas e folhas de ora-pro-nóbis foram obtidos extratos com intensa coloração verde, levando em consideração que os extratos elaborados com farinha possuíam coloração mais intensa, como pode ser observado na Figura 6.

Figura 5- Extratos elaborados a partir de ora-pro-nóbis: A (Extratos de ora-pro-nóbis), B (Filtração dos extratos), C (Secagem de folhas de OPN para fabricação de farinha), D (Folhas de OPN in natura).



Fonte: A autora

Figura 6- Extratos de ora-pro-nóbis: A- extrato elaborado com farinha seca em laboratório, B- extrato elaborado com farinha comercial, C- Extrato elaborado com folas in natura.

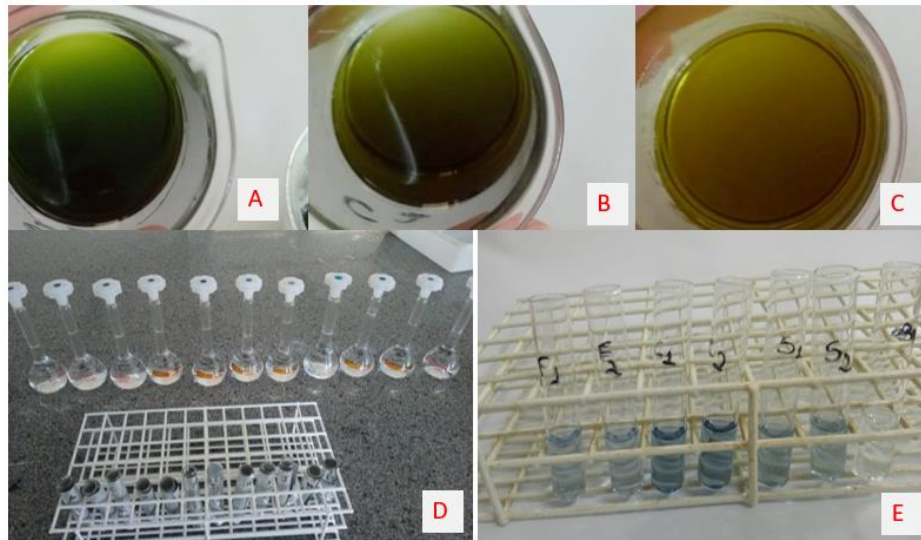


Fonte: A autora

5.1.1. Quantificação de compostos fenólicos por Folin-Ciocalteu

A Figura 7(C, D, E) demonstram as amostras usadas para determinação de compostos fenólicos, enquanto pode-se observar, na Figura 7B, diferentes intensidades de cor na reação de Folin-Ciocalteu, o que indica diferentes concentrações de compostos fenólicos. Nesta reação, colocações azuis mais intensas indicam mais compostos fenólicos.

Figura 7- Amostras usadas para quantificação de compostos fenólicos (A: Extrato S, B: extrato C, C: Extrato F, D: Soluções para elaboração de curva padrão de Folin-Ciocalteu, E: amostras após duas horas de reação com solução de Folin-Ciocalteu).



A curva padrão de ácido gálico, usada para calcular a quantidade de compostos fenólicos dos extratos de ora-pro-nóbis pode ser observada no Gráfico 1, já os valores de teor de compostos fenólicos em cada extrato podem ser observados na Tabela 3.

Gráfico 1- Curva padrão de ácido gálico (AG).

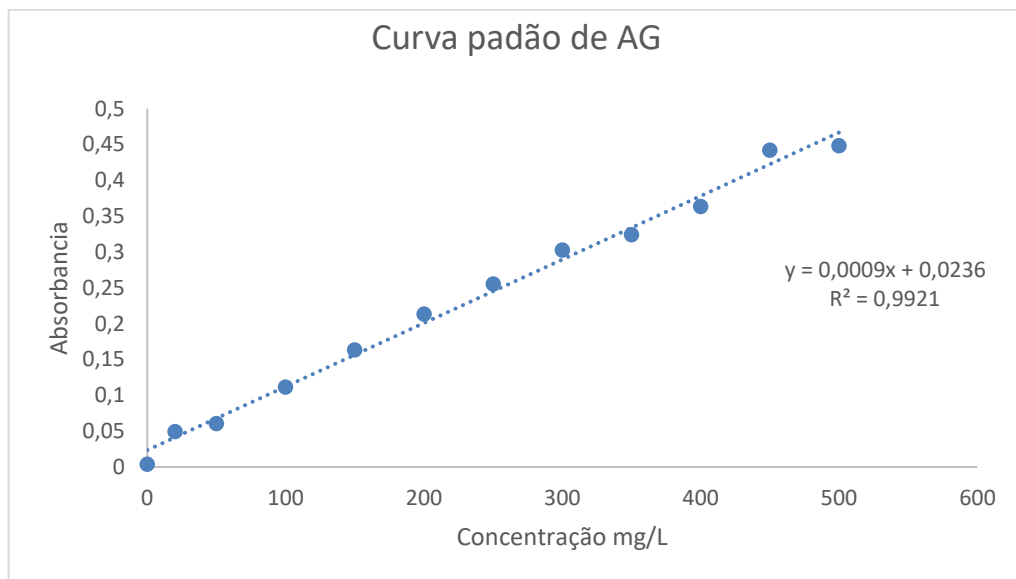


Tabela 4- Concentração de compostos fenólicos (GAE) nos diferentes extratos de OPN: C é o extrato elaborado com farinha comercial, S é o extrato elaborado com farinha seca no laboratório, F é o extrato elaborado com folhas in natura.

Extratos	Concentração em mg/L	Concentração em mg/g (farinha ou folha)
C	635,44	6,35
S	481,56	4,81
F	396,56	3,96

Fonte: A autora

Como pode ser observado na Tabela 3, o extrato elaborado com farinha de ora-pro-nóbis comercial apresentou maiores quantidades de compostos fenólicos, acredito que isto pode estar relacionado a possível diferença no processo de secagem das folhas de ora-pro-nóbis, que proporciona maior conservação dos compostos fenólicos, e dessa maneira foi o escolhido para a elaboração dos filmes biodegradáveis. O extrato elaborado com folhas in natura possui a menor quantidade de compostos fenólicos, o que pode estar relacionado ao fato de as folhas conterem água, levando em conta que todos os extratos foram elaborados com a mesma quantidade em gramas. Em se tratando das folhas secas em estufa para obtenção da farinha de OPN, as condições utilizadas podem ter interferido na quantidade de compostos fenólicos (que foram menores que na farinha de OPN comercial), já que possivelmente na indústria os métodos de secagem são menos agressivos aos compostos sensíveis ao calor.

De Freitas et al. (2021) elaborou extrato com folhas de ora-pro-nóbis, com maceração das folhas durante dez dias com glicerina e álcool de cereais, obtendo os extratos PA01 e PA02, sendo que o primeiro extrato foi submetido a temperatura de 50 °C durante 30 minutos. Os autores encontraram, em teor de compostos fenólicos totais, as quantidades de $13,84 \pm 4,29$ e $18,35 \pm 2,12$ mg Eq. de ácido tânico/g de extrato, para os extratos PA01 e PA02, respectivamente. Os valores de compostos fenólicos descritos pelos autores são maiores que os encontrados neste trabalho, o que pode estar relacionado com o tempo de extração, e no trabalho citado foram 10 dias

Sousa (2021) avaliou a quantidade de compostos fenólicos totais e flavonoides totais em farinha de ora-pro-nóbis. Por meio de análises, o autor encontrou os valores de $228,44 \pm 0,31$ mg EAG/100g e $87,39 \pm 0,42$ mg EC/100g, para compostos fenólicos totais e flavonoides, respectivamente. Para o teor de compostos fenólicos, análise que foi realizada neste trabalho, os valores do autor se apresentam menores do que os aqui encontrados (inclusive para folhas in

natura), podendo estar relacionado com método de extração ou até mesmo proporção de farinha/solvente.

Em outro trabalho, Ciríaco et al. (2021), produziu extrato hidroetanólico a partir da farinha de caule, folhas e polpa de frutos de ora-pro-nóbis e os avaliou quanto a quantidade de compostos fenólicos por Folin-Ciocalteu, obtendo os valores de 0,25 mg EAG g⁻¹, 1,01 mg EAG g⁻¹ e 118,2 mg EAG g⁻¹ respectivamente. O valor de compostos fenólicos para a farinha de OPN está abaixo do valor encontrado para o extrato de farinha de OPN elaborado neste estudo, o que pode se justificar pela proporção de etanol e água no solvente, além de tempo e métodos extrativos usados.

Os teores de compostos fenólicos encontrados por Rodrigues et al. (2016) se mostraram mais elevados que os encontrados para os três extratos elaborados. Os autores elaboraram dois extratos com ora-pro-nóbis, um usando água com agitação por 1 hora em temperaturas de 95-100 °C, seguido de filtração. O segundo extrato foi feito da mesma maneira, porém com uso de solução etanólica 70% adicionada posteriormente. O primeiro extrato apresentou maiores quantidades de compostos fenólicos em relação ao segundo extrato, com valores de 53,85 mg 328 EAG/g amostra seca e 13,71 mg 329 EAG/g amostra seca, respectivamente. Como pode ser observado, os autores utilizam metodologias de extração diferentes da usada neste trabalho e solventes diferentes, o que pode explicar essa diferença no teor de compostos fenólicos.

5.1.2. Determinação de atividade antioxidante por DPPH

A seguir são apresentados os resultados da avaliação de atividade antioxidante do extrato de ora-pro-nóbis.

Figura 8- Amostras para avaliação da atividade antioxidante: A-Diluições de DPPH para elaboração da curva padrão, B- Diluições de extrato para avaliação da atividade antioxidante, 10%(esquerda) e 20 % (direita).



Fonte: A autora

A partir da Curva padrão (Gráfico 2) e pela relação entre absorbância e diluição do extrato (Gráfico 3), foram calculados os valores de atividade antioxidante, sendo encontrado um valor

de 223,3 mg/L para EC50. Além disso, as diluições tiveram a capacidade de inativar o radical de em 35%, considerando que as diluições eram 10% e 20%. Ainda, foi calculado que são necessários 18,15 g de farinha de OPN para inativar 1 grama de DPPH.

Gráfico 2- Gráfico da curva padrão de DPPH.

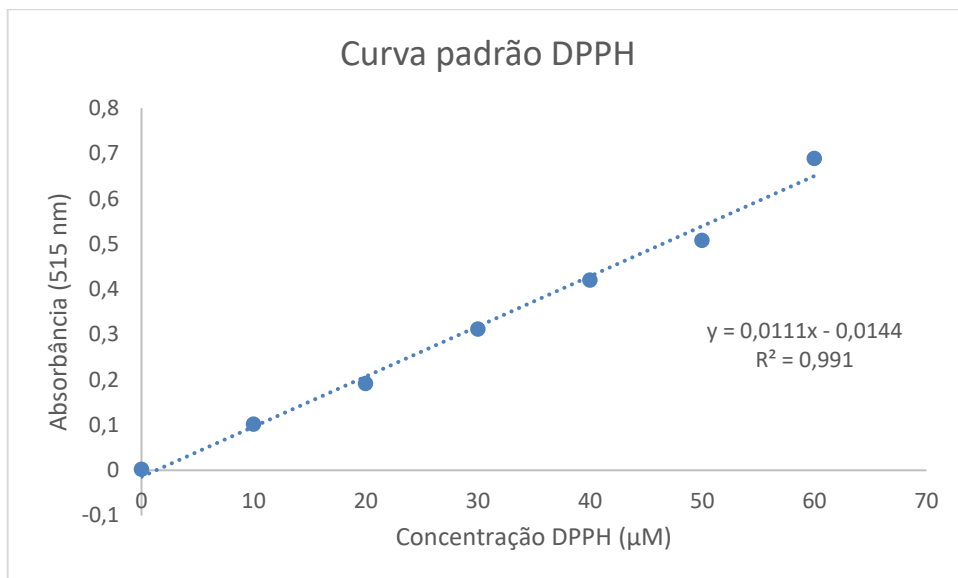
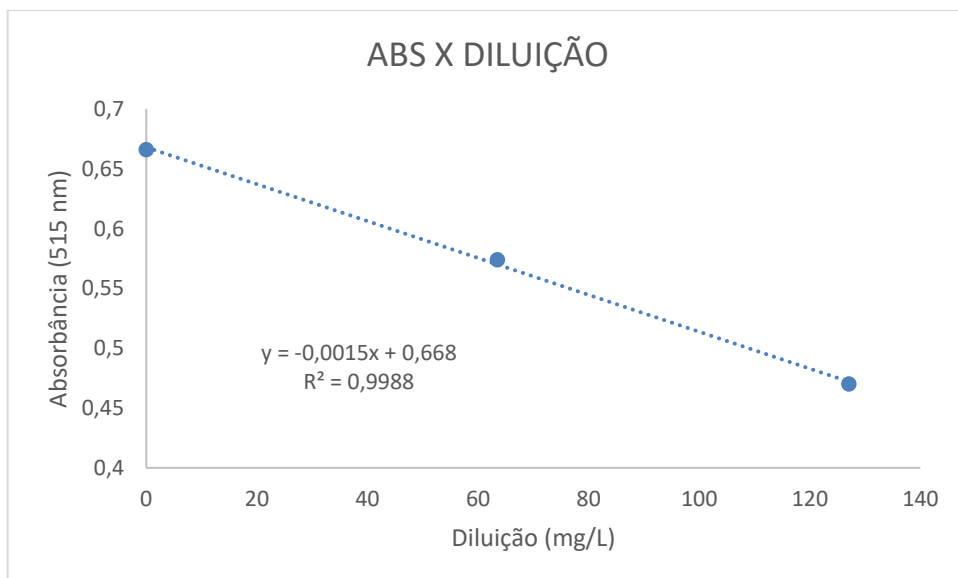


Gráfico 3- Absorbância em relação as diluições do extrato de ora-pro-nóbis.



Moraes (2022) avaliou atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais de caules, folhas, flores e frutos de ora-pro-nóbis. O autor encontrou valores médios de DPPH e teor de fenólicos totais de $589,34 \pm 69,48 \mu\text{g mL}^{-1}$ e $86,06 \pm 16,37 \text{ mg EAG g}^{-1}$, respectivamente. Neste trabalho o teor de compostos fenólicos do extrato de OPN foi de

6,35 mg GAE/g. Os valores encontrados pelo autor e por este trabalho podem estar ligados a quantidade de compostos fenólicos presentes no extrato, já que são os compostos fenólicos que possuem característica antioxidante.

Em outro trabalho, realizado por Mandelli (2016), foi avaliado o teor de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante (DPPH) de frutos de ora-pro-nóbis. Como resultado, a autora obteve $392 \pm 0,083$ mg GAE/100 g de fruto para quantidade de compostos fenólicos e 820,06 mM TE/g para DPPH. A autora encontrou valores de compostos fenólicos inferiores aos deste trabalho, no entanto os valores de DPPH diferiram, o que pode estar relacionado ao fato de a autora utilizar os frutos de OPN para a elaboração do extrato e deste modo a atividade antioxidante pode ter características diferentes.

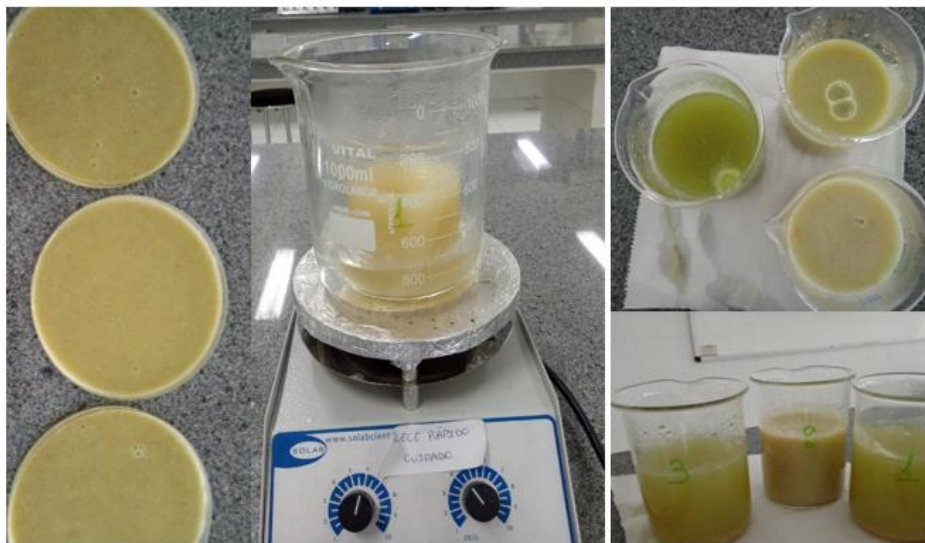
Utilizando métodos clássicos de extração (Soxhlet e hidrodestilação) e métodos mais modernos (ultrassom e fluido supercrítico - ESF), Silva et al. (2022), elaborou extratos com ora-pro-nóbis e avaliou atividade antioxidante ($DPPH_{EC50}$). Os métodos mais eficientes, com maior atividade antioxidante do extrato, foram soxhlet (etanol) e ESF nas condições de 140 bar, 50 °C e 20%, com valores de EC_{50} de 242,7µg/mL e 274,05µg/mL respectivamente. Os valores encontrados pelo autor citado e neste trabalho são semelhantes, o que mostra que a extração tradicional, com solvente também é eficiente e mantém os compostos fenólicos com atividade antioxidante.

5.2. PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES BIODEGRADÁVEIS

5.2.1. Preparação dos filmes biodegradáveis

As soluções filmogênicas com farinha de linhaça apresentavam textura de gel, que variava com a quantidade de farinha adicionada, quanto maior a quantidade de farinha de linhaça, maior foi a formação de gel. Ainda, com a adição do extrato de ora-pro-nóbis teve-se variação na cor da solução filmogênica, de marrom claro para esverdeado, onde o tom de verde aumentava como o aumento da adição de extrato. Estas constatações podem ser observadas na Figura 9.

Figura 9- Filmes biodegradáveis de diferentes formulações sendo preparados.



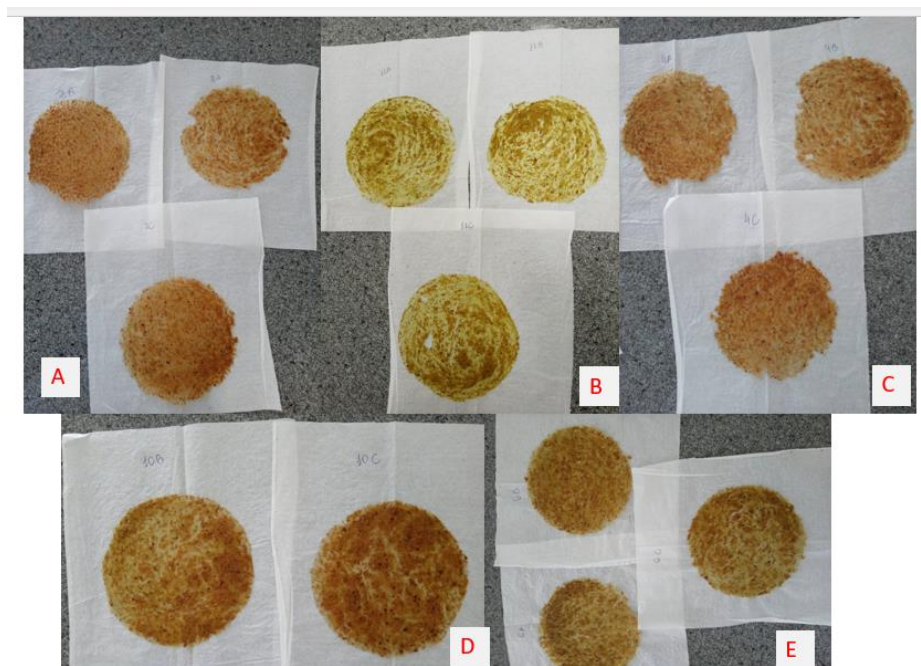
Fonte: A autora

Dentre as 17 formulações de filmes biodegradáveis geradas pelo planejamento experimental (Tabela 1), somente 5 formulações permitiram a retirada dos filmes da placa de forma íntegra, que foram as formulações 2, 4, 6, 10 e 11 (Figura 10). As demais formulações rasgaram no momento da retirada, ou geraram películas muito finas que não permitiram a geração de filme (Figura 11). Foi observado que maiores quantidades de farinha de linhaça resultam em filmes melhores, o que pode estar relacionado com a maior formação de gel. Além disso, como a farinha de linhaça tem algumas partículas maiores, filmes mais finos acabam rasgando com estas partículas no momento da retirada das placas.

Além disso, a proporção entre as quantidades de farinha de linhaça e glicerol também interfere nas características mecânicas dos filmes, onde, grande quantidade de glicerol e pouca farinha geram filmes muito elásticos e menores quantidades de glicerol com maiores quantidades de farinha geram filmes com boa textura e de fácil manuseio. A adição do extrato também causa mudanças nos atributos dos filmes, deixando-os mais elásticos conforme aumenta a quantidade adicionada. A relação entre composição dos filmes biodegradáveis e resultados podem ser observados na Tabela 4.

A partir do que foi citado, a melhor formulação de filmes biodegradáveis foi a formulação 6 (Figura 10E), que saiu facilmente da placa, não apresentou fissuras ou rasgos e é de fácil manuseio, possuindo certa flexibilidade.

Figura 10- Filmes biodegradáveis secos e retirados das placas: A – Formulação 2, B- Formulação 11, C- Formulação 4, D- formulação 10, E- Formulação 6



Fonte: A autora

Figura 11- Algumas formulações de filmes biodegradáveis que não saíram das placas.

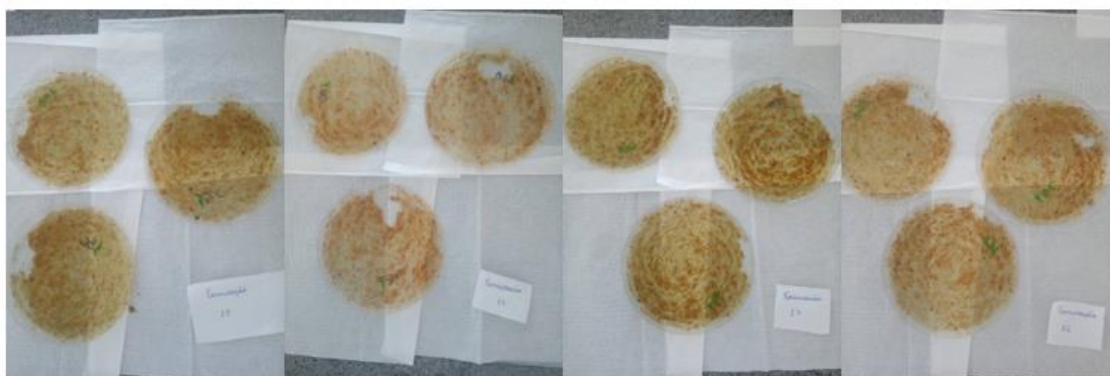


Tabela 5- Formulações de filmes biodegradáveis que deram certo.

Formulação	Farinha de linhaça (g)	Glicerol (g)	Extrato (mL)	Resultado
1	2,0	1,0	2,5	Não saíram da placa, filmes muito finos
2	6	1	2,5	Saem das placas, porém mais finos
3	2	2	2,5	Não saem da placa
4	6	2	2,5	Todos saíram, maleáveis e não quebradiços

5	2	1	7,5	Saiu, porém muito finos
6	6	1	7,5	Todos saíram, maleáveis, sem rachaduras e imperfeições
7	2	2	7,5	Não saem, muito elásticas
8	6	2	7,5	Rasgam na hora de tirar
9	0,64	1,5	5	Não saem, muito finas
10	7,36	1,5	5	Saíram dois, flexíveis, mas com algumas rachaduras
11	4	0,66	5	Todos saíram, bastante flexíveis, no entanto com algumas rachaduras
12	4	2,34	5	Rasgam ao tirar
13	4	1,5	0,8	Rasgam na hora de tirar
14	4	1,5	9,2	Rasgam na hora de tirar
15	4	1,5	5	Rasgam na hora de tirar
16	4	1,5	5	Rasgam na hora de tirar
17	4	1,5	5	Rasgam na hora de tirar

5.2.2. Caracterização dos filmes biodegradáveis: opacidade, umidade, espessura, solubilidade e transparência

Os resultados analíticos dos filmes para transparência, opacidade, espessura, umidade e solubilidade podem ser observados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 6- Transparência dos filmes biodegradáveis.

Formulação	L	a*	b*
2	63,903 ± 0,540 ^{ab}	2,970 ± 0,582 ^a	29,643 ± 1,556 ^a
4	64,317 ± 2,114 ^{ab}	2,507 ± 1,006 ^a	31,023 ± 1,669 ^a
6	61,320 ± 2,947 ^{ab}	0,420 ± 1,322 ^{ab}	29,637 ± 1,842 ^a
10	59,925 ± 3,557 ^b	1,370 ± 1,683 ^{ab}	28,940 ± 0,820 ^{ab}
11	66,610 ± 1,199 ^a	-1,757 ± 0,571 ^b	25,287 ± 0,254 ^b

Em se tratando de transparência, o parâmetro L se manteve significativamente igual para as formulações 2, 4 e 6, as quais também se igualaram as formulações 10 e 11. Entretanto, as formulações 10 e 11 não são iguais entre si, o que pode estar relacionado ao fato de a formulação 10 (7,36 g de farinha) possuir cerca de 2 vezes mais farinha de linhaça que a formulação 11 (4 g de farinha).

No parâmetro a* tem-se maior variação entre os filmes, onde as formulações 2, 4, 6 e 10 são iguais entre si e as formulações 6, 10 e 11 também são iguais entre si. Já as formulações 2 e 4 diferem da formulação 11, podendo estar relacionado com a maior quantidade de extrato de OPN e a menor quantidade de farinha de linhaça na formulação 11, fazendo com que a mesma tenda mais fortemente à coloração verde, representada por valores de a* mais baixos.

Já para o parâmetro b*, os valores mais altos indicam coloração amarelada, sendo encontrados valores significativamente iguais para as quatro primeiras formulações (2, 4, 6 e 10), levando em conta que a formulação 10 também é igual a formulação 11. A formulação 11 é a que possui menores quantidades de glicerol (0,66 g) e menores quantidades de farinha de linhaça (4 g), o que pode estar ligado a menor intensidade da cor amarela.

Tabela 7- Resultados para espessura, umidade, opacidade e solubilidade dos filmes biodegradáveis.

Formulação	Espessura (mm)	Opacidade (A.mm ⁻¹)	Umidade (%)	Solubilidade (%)
2	0,672 ± 0,080 ^a	2,03 ± 0,266 ^a	8,950 ± 4,690 ^b	16,667 ± 5,412 ^a
4	0,670 ± 0,0473 ^a	1,97 ± 0,345 ^a	16,57 ± 1,727 ^a	23,603 ± 1,995 ^a
6	0,652 ± 0,034 ^a	2,453 ± 0,098 ^a	8,090 ± 0,336 ^b	20,313 ± 1,650 ^a
10	0,721 ± 0,123 ^a	2,395 ± 0,873 ^a	10,655 ± 1,025 ^{ab}	21,850 ± 2,899 ^a
11	0,648 ± 0,021 ^a	2,044 ± 0,332 ^a	7,173 ± 1,838 ^b	21,423 ± 1,930 ^a

Com relação a espessura dos filmes, pode se observar que não houve diferença significativa entre os filmes biodegradáveis, o que indica que as quantidades de farinha de linhaça, glicerol e extrato de OPN não interferem neste parâmetro. Já na análise de solubilidade em água, as diferentes concentrações de farinha de linhaça, glicerol e extrato de ora-pro-nóbis não geraram variação nos valores, pois todos os filmes apresentaram solubilidade de aproximadamente 20 %, e se mostram iguais estatisticamente.

Louzada (2018), elaborou filmes biodegradáveis com amido de milho e farinha de frutade-lobo, e os analisou quanto a propriedades mecânicas e solubilidade em água. Os filmes se apresentaram transparentes e homogêneos, sem bolhas ou rachaduras, possuindo espessura entre 0,11 e 0,28 mm. De acordo com o autor, os filmes com maior adição de plastificante apresentaram-se mais solúveis, o que se deve as características higroscópicas do glicerol. A espessura dos filmes biodegradáveis neste trabalho apresentou valores maiores, próximos à 0,7

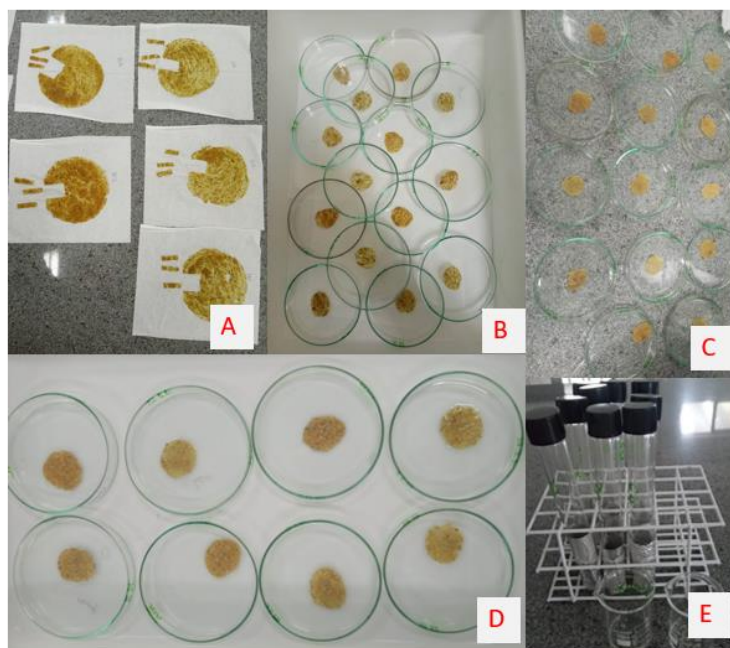
mm, o que pode estar relacionado ao fato de a farinha de linhaça possuir muitas partículas insolúveis que contribuí para o aumento da espessura dos filmes.

Em outro estudo, feito por Silva et al. (2019), foram elaborados filmes biodegradáveis com farinha de arroz e diferentes concentrações de guabiroba (0-20%), sendo realizadas análises de espessura e solubilidade. Todos os filmes se mostraram bons, com espessuras variando entre 0,150 e 0,231 mm e solubilidade de 20,54%, resultado similar ao encontrado neste trabalho. A espessura se mostrou diferente à encontrada neste trabalho, podendo estar relacionado à diferença das matrizes poliméricas usadas.

Assim como a espessura, a opacidade dos filmes se mostrou significativamente igual entre as cinco formulações, demonstrando que as diferentes concentrações de farinha, glicerol e extrato também não alteram este critério.

Em se tratando de umidade, as formulações 4 e 10 apresentaram o maior valor e se mostraram iguais, o que pode estar relacionado com a maior quantidade de glicerol adicionada, 2 g e 1,5 g, respectivamente, já que ele possui propriedades higroscópicas. As formulações 2, 6, 10 e 11 se mostraram significativamente iguais entre si.

Figura 12- Realização de análises nos filmes biodegradáveis: A- amostras para opacidade, B- amostras umidade (já secas), C- amostras secas adicionadas de água para análise de solubilidade, D- amostras depois de 24 horas em água, E- amostras para análise de DPPH.



Fonte: a autora.

Silva, Brinques e Gurak (2020) elaboraram filmes biodegradáveis com amido de milho e farinha de subproduto de broto (feijão, alfafa, amaranto, brócolis, rabanete e, predominantemente, trevo). As autoras perceberam que a adição de farinha de broto alterou a coloração dos filmes, a solubilidade e a temperatura de fusão, e ressaltam que a farinha de subproduto pode ser uma alternativa para a elaboração e melhoria de filmes biodegradáveis.

5.2.3. Atividade antioxidante dos filmes biodegradáveis por DPPH

Em se tratando da análise de atividade antioxidante por DPPH, não houve reação do filme com o radical, e conseqüentemente os valores de absorvância não se alteraram (Tabela 7), impossibilitando os cálculos de atividade antioxidante.

Tabela 8- Atividade antioxidante dos filmes- DPPH

Formulação	Absorvância (nm)
Com extrato	0,51
Sem extrato	0,512
Branco	0,515

A não reação do radical DPPH pode estar relacionado ao fato de os filmes biodegradáveis passarem por uma diluição para que a análise possa ser feita. Acredita-se que esta diluição pode não ter sido eficiente para os filmes de farinha de linhaça, e desta maneira os compostos antioxidantes não passam para a fase líquida (etanol usado na diluição).

No entanto, empregando metodologia semelhante, Bertotto (2019) avaliou a capacidade antioxidante por DPPH em filmes biodegradáveis contendo coproduto de própolis e de maçã. O filme biodegradável contendo 4% de coproduto de maçã demonstrou a melhor atividade antioxidante, $3,38 \pm 0,14 \mu\text{mol Trolox/g}$.

5.2.4 Índice de peróxidos da manteiga armazenada nos filmes biodegradáveis

Depois de realizadas as análises de índice de peróxidos nas diversas amostras de manteiga, embaladas em plástico filme comercial, filme biodegradável controle (sem extrato de OPN) e filmes biodegradável com extrato de OPN, foi percebido que a manteiga embalada em filme biodegradável apresentou menores valores de índice de peróxidos. Ao final do tempo de armazenamento (123 h), a manteiga embalada em plástico comercial apresentou aproximadamente 2 vezes mais peróxidos que as manteigas embaladas em filme biodegradável.

Ainda, pode ser percebido que até as primeiras 5 h de armazenamento o filme biodegradável com OPN foi o que manteve a maior conservação da manteiga ($0,208 \pm 0$ meq/Kg de amostra). Depois desse tempo, ambos os filmes biodegradáveis (com e sem OPN) apresentaram as propriedades conservadoras significativamente iguais. Na Tabela 8 são demonstrados os valores de índice de peróxidos para todas as análises realizadas durante o tempo de armazenamento.

A maior estabilidade das manteigas embaladas em filmes biodegradáveis pode estar relacionada a diversos fatores. Primeiramente pode ser destacada a opacidade dos filmes, que impede a passagem de luz e conseqüentemente reduz a velocidade da reação oxidativa. Outro ponto a ser considerado é o uso da farinha de linhaça na elaboração, já que de acordo com Dos Santos Conde, De Oliveira e Brasil (2020) a linhaça possui ácidos graxos insaturados, sendo um deles o ácido alfa linoleico, que possui características antioxidantes e protetoras.

Ainda, pode-se levar em conta a adição do extrato de OPN em um dos filmes biodegradáveis, pois a *ora-pro-nóbis*, de acordo com Garcia et al. (2019), já serviu como base para estudos que indicaram que seus compostos fenólicos e carotenoides são os principais responsáveis por seu poder antioxidante.

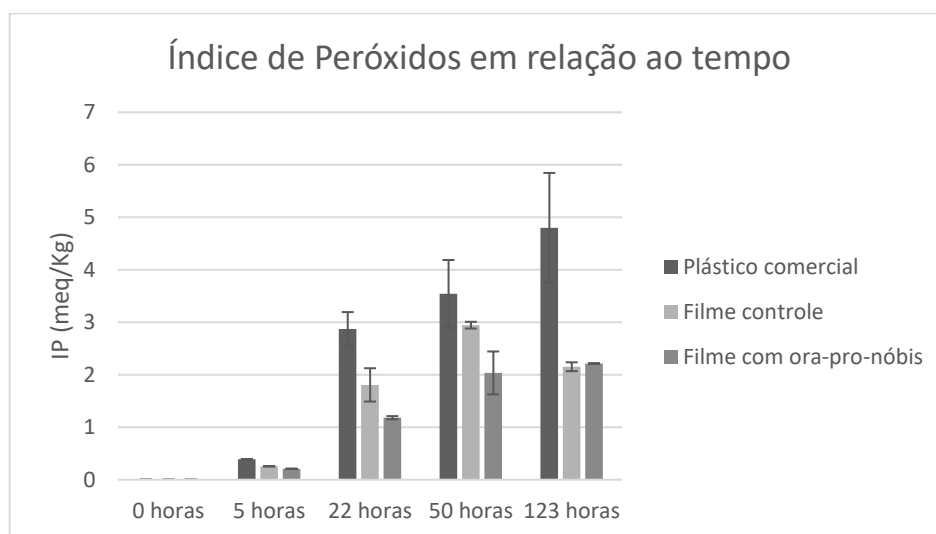
Tabela 9- Índice de peróxidos (meq/Kg de amostra) para diferentes tempos de armazenamento de manteiga.

Tempo	Plástico comercial	Filme controle	Filme com <i>ora-pro-nóbis</i>
0 horas	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
5 horas	$0,391 \pm 0^a$	$0,255 \pm 0^b$	$0,208 \pm 0^c$
22 horas	$2,873 \pm 0,320^a$	$1,807 \pm 0,317^{ab}$	$1,181 \pm 0,031^b$
50 horas	$3,541 \pm 0,645^a$	$2,944 \pm 0,064^a$	$2,035 \pm 0,409^a$
123 horas	$4,799 \pm 1,045^a$	$2,152 \pm 0,084^b$	$2,213 \pm 0,084^b$

Observação: Letras minúsculas se referem a semelhança entre as amostras de uma mesma linha.

Na Figura 14 é demonstrado graficamente o comportamento do índice de peróxidos durante todo o tempo de armazenamento. Pode ser observado que nas primeiras horas de armazenamento ocorre pouca variação no valor dos peróxidos e conforme vai passando tempo essa variação vai ficando mais acentuada, exceto para os filmes biodegradáveis de farinha de linhaça, com e sem extrato de OPN, que apresentam comportamento mais estável.

Figura 13- Oxidação de manteiga embalada e armazenada em filmes biodegradáveis.



Fonte: a autora.

Queiroz (2019) elaborou filmes biodegradáveis de alginato com incorporação de extrato de erva-mate e aplicou o filme biodegradável com 20% de extrato para a conservação de óleo de girassol. Após 21 dias de armazenamento o índice de peróxido do óleo ainda se encontrava dentro dos limites máximos estipulados pelo *Codex Alimentarius*. De acordo com o autor a adição de extrato de erva-mate nos filmes biodegradáveis de alginato proporcionou conservação do óleo de girassol e melhorou suas propriedades mecânicas.

Em seu trabalho, Vargas (2018) aplicou filmes biodegradáveis de amido e farinha de arroz vermelho na conservação de óleo de girassol. Depois de 30 dias de armazenamento a autora constatou que os filmes protegeram o óleo com a mesma intensidade que o antioxidante BHT, sendo $67,8 \text{ meqO}_2 \text{ kg}^{-1}$ e $62,9 \text{ meqO}_2 \text{ kg}^{-1}$, para filme e BHT, respectivamente. Para a amostra controle foi encontrado o valor de $98,6 \text{ meqO}_2 \text{ kg}^{-1}$.

Malherbi (2018), elaborou filmes biodegradáveis com amido de mandioca e extrato de açaí e aplicou na conservação de azeite de oliva extravirgem durante 120 dias de armazenamento, para avaliação de índice de peróxidos. Após o tempo de armazenamento, o índice de peróxido do azeite ainda se encontrava dentro dos limites máximos estabelecidos pela legislação.

Souza (2019) elaborou filmes de isolado proteico de soja e extrato de casca de pinhão e os aplicou na conservação de óleo de linhaça durante 10 dias à $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Depois do período de armazenamento os saches de mantiveram intactos e proporcionaram a conservação do óleo, estabilizando sua oxidação.

Por meio deste trabalho, e dos demais acima citados, pode-se perceber que a adição de extratos vegetais que contêm potencial antioxidante em filmes biodegradáveis promove a

proteção de alimentos ricos em lipídeos, o que pode proporcionar um melhoramento das embalagens desses alimentos e substituir inteira ou parcialmente a utilização de plásticos sintéticos.

6. CONCLUSÃO

Muitos estudos vêm sendo realizados com filmes biodegradáveis e alimentos que possuam alguma propriedade funcional e assim como neste trabalho, constatam que os filmes biodegradáveis são uma boa alternativa para a substituição de plásticos sintéticos, além disso, são comprovados os poderes antioxidantes de diversos vegetais. A partir de diversas análises, foi verificado que o extrato de ora-pro-nóbis possui grandes quantidades de compostos fenólicos e conseqüentemente elevada atividade antioxidante. Além disso, a aplicação do extrato de OPN nos filmes biodegradáveis permitiu a conservação de manteiga embalada nos mesmos. Também foi notado que os filmes contendo somente farinha de linhaça também proporcionaram proteção à manteiga armazenada, o que indica que a farinha linhaça também possui atividade antioxidante. Os filmes biodegradáveis, na questão estrutural, se mostraram íntegros e sem rachaduras, com possibilidade de aplicação em alimentos que precisam de abrigo de luz, já que se apresentaram bastante opacos e escuros, e ainda, se mostraram se fácil manuseio e com flexibilidade considerável. De uma maneira geral, os filmes biodegradáveis de farinha de linhaça contendo extrato de ora-pro-nóbis se mostram muito promissores para aplicações em alimentos com alto teor lipídico, podendo conservar os alimentos de maneira natural, substituindo antioxidantes sintéticos e evitar o acúmulo de plásticos sintéticos na natureza, já que os filmes biodegradáveis se degradam rapidamente pela ação de microrganismos presentes no solo.

7. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Priscilla BS; MALAFAIA, Carolina B. Perspectives on the production, structural characteristics and potential applications of bioplastics derived from polyhydroxyalkanoates. **International journal of biological macromolecules**, v. 107, p. 615-625, 2018.

ASSIS, Renato Queiroz et al. Active biodegradable cassava starch films incorporated lycopene nanocapsules. **Industrial Crops and Products**, v. 109, p. 818-827, 2017.

ASSIS, Renato Queiroz. **Filmes biodegradáveis com adição de licopeno ou β -caroteno livres e nanoencapsulados**. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Porto Alegre, RS, 2017.

BECKER, Dislaine, et al. **Desenvolvimento e produtividade de linhaça cultivada em diferentes agroecossistemas da região Sul do Brasil**. 2018. TCC (graduação)-Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Curitibanos, SC, 2018.

BERTOTTO, Carlize. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis ativos contendo coprodutos da extração de própolis comercial e da indústria de suco de maçã**. 2019. 125f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2019.

BISOGNIN, Dilson Antônio, et al. Contents of total phenolics and flavonoids in and antioxidant activity of *Ilex paraguariensis* leaves. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2019, 54.

BOMFIM, Katiane Araújo do. **Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis a partir do amido do arroz vermelho**. 2019. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Alimentos) - Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2019.

BORGES, Mariane Curado, et al. Ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 e lúpus eritematoso sistêmico: o que sabemos? **Revista Brasileira de Reumatologia**, 2014, 54: 459-466.

BRITO, Jéssica Hoffmann, et al. **Produção e caracterização estrutural, morfológica e térmica de filmes biodegradáveis utilizando amido de caroço de abacate (*Persea americana* Mill) e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2019.

CIRÍACO, Ariane Cristina de Almeida, et al. **Determinação de capacidade antioxidante e compostos fenólicos da polpa do fruto e da farinha do caule e da folha da ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller)**. Programa de Pós-Graduação em Olericultura- Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos. 2021.

COFFERRI, Patrícia. **Estratégias de modificação no desenvolvimento de filmes biodegradáveis a base de proteína isolada de soja**. Dissertação de Mestrado- Escola De

Engenharia- Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2020.

COSTA, Leandro Araújo da. **Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis à base de amido de semente de jaca incorporados com antocianinas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2017.

CRUZ, Thiago Mendanha et al. Extraction optimization of bioactive compounds from ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller) leaves and their in vitro antioxidant and antihemolytic activities. **Food Chemistry**, v. 361, p. 130078, 2021.

DA SILVA, Cristiane Marcelino; DOS SANTOS, Renata Azambuja; CAVALCANTE, Carla Franciele E. Os benefícios da nutrição na prevenção do envelhecimento cutâneo. **Conexão eletrônica**, v. 13, 2016.

DA SILVA, Fernando Afonso; RABELO, Denilson. O Uso Sustentável de Polímeros. **Revista Processos Químicos**, 2017, 11.21: 9-16.

DE FREITAS, Pedro Henrique Santos, et al. Extratos glicólicos de “ora-pro-nobis”(Pereskia aculeata Miller): Avaliação do teor de compostos fenólicos e do potencial antioxidante. **Brazilian Journal of Health Review**, 2021, 4.1: 1748-1760.

DEGRUSON, M. L. Biobased Polymer Packaging. In: **Reference Module in Food Science**. [s.l: s.n.], 2016.

DE FREITAS, Pedro Henrique Santos, et al. Extratos glicólicos de “ora-pro-nobis” (Pereskia aculeata Miller): Avaliação do teor de compostos fenólicos e do potencial antioxidante. **Brazilian Journal of Health Review**, 2021, 4.1: 1748-1760.

DE MORAES, Thiago Vieira et al. Atividade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos do chá do caule da Pereskia aculeata Miller fresco e armazenado sob congelamento. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. e34953140-e34953140, 2020.

DE SALES, Priscila Ferreira, et al. Caracterização e aplicação de filmes biodegradáveis de amido de incorporados de extrato de própolis-verde. **For Science**, 2021, 9.2: e00958-e00958.

DO NASCIMENTO, Roberto de Paula; AARESTRUP, Beatriz Julião Vieira. Linhaça e azeite de oliva extra-virgem: composição nutricional e efeitos na colite ulcerativa. **Nutrição Brasil**, v. 16, n. 3, p. 182-192, 2017.

DOS SANTOS CONDE, Poliana; DE OLIVEIRA, Marcos Roberto; BRASIL, Flavia Bittencourt. Revisão dos efeitos do consumo da linhaça no fígado e perfil lipídico. **RBONE-Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, 2020, 14.86: 519-529.

DOS SANTOS NASCIMENTO, Davi; OLIVEIRA, Sabrina Duarte; DE OLIVEIRA, Maria Elieidy Gomes. Caracterização físico-química e avaliação sensorial de brownies potencialmente funcionais elaborados com farinha de linhaça marrom (*Linum usitatissimum*) e farinha de chia (*Salvia hispanica* L.). **Research, Society and Development**, 2020, 9.9: e215997146-e215997146.

GARCIA, Jéssica AA et al. Phytochemical profile and biological activities of 'Ora-pro-nobis' leaves (*Pereskia aculeata* Miller), an underexploited superfood from the Brazilian Atlantic Forest. **Food chemistry**, v. 294, p. 302-308, 2019.

HOFFMANN, Fabiana Zella; SIGUEL, Francielly. **Produção de filmes biodegradáveis a base de lignina, ágar e nanocelulose**. 2018. Bachelor's Thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

HOLANDA, Samuell Aquino, et al. Técnica de revestimento de stents metálicos com biopolímero: desenvolvimento de metodologia. **Diversitas Jornal**, v. 3, n°, p. 455-474, 2017.

IUPAC, C. Paquot, et al. Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives. **International union of pure and applied chemistry**, 1987, 99-102.

JESUS, Guilherme Augusto Moraes de. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis, a base de carragena, com propriedades antioxidantes**. 2021. Bachelor's Thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

QUEIROZ, Leonardo Braun Pinto de. **Desenvolvimento de filme biodegradável de alginato de sódio com adição de extrato de erva-mate**. Trabalho de Conclusão de Curso- Instituto de Ciência e Tecnologia de alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2019.

LARANJEIRA, Ruandra Kaienne da Silva. **Amidos de fontes não convencionais e sua aplicação em filmes biodegradáveis: fundamentos e aplicações**. 2021. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

LAZZAROTTO, SR da S., et al. Método de Folin Ciocalteau adaptado para quantificar polifenóis em extratos de erva-mate. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.

LOUZADA, Ludmilla Batista. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido e farinha de fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* A. St.-Hil)**. 2018. 141 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

LUCENA, Camilla Aquino Azevedo de, et al. Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina para produção de embalagens biodegradáveis. **Polímeros**, 2017, 27: 35-41.

MACIEL, Vinicius Borges Vieira et al. Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller): a potential alternative for iron supplementation and phytochemical compounds. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021.

MALHERBI, Naiane Miriam. **Desenvolvimento e caracterização de embalagens biodegradáveis ativas: estudo da eficácia antioxidante para azeite de oliva extravirgem**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, RS, 2018.

MANDELLI, Michelli Karoline de Lara Moreira. **Avaliação dos parâmetros nutricionais e potencial antioxidante do fruto de ora-pro-nobis (Pereskia aculeata Miller)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. Paraná, Brasil, 2016.

MARASCA, Natasha Spindola; NOGUEIRA, Daiane; MARTINS, Vilásia Guimarães. Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis elaborados a partir de isolado proteico de pescada (*Cynoscion guatucupa*). **Brazilian Journal of Development**, 2020, 6.12: 102379-102385.

MARTINY, Tamiris, et al. filmes biodegradáveis preparados com carragenana e extrato de folhas de oliveira. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, 2018, 179-193.

MATTA, Eliana; TAVERA-QUIROZ, María José; BERTOLA, Nora. Active edible films of methylcellulose with extracts of green apple (*Granny Smith*) skin. **International journal of biological macromolecules**, 2019, 124: 1292-1298.

MENEZES FILHO, Antonio Carlos Pereira de et al. **Farinhas, Pectinas e Filmes Biodegradáveis obtidos de Resíduos de Melancia: Propriedades Físico-químicas, Tecnológica, Bioativas, Degradabilidade e Morfológica**. 2020. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, Instituto Federal do Góias, Rio Verde, Góias, Brasil, 2020.

MERCI, Aline; MARIM, Renan Guilherme; MALI, Suzana. Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Filmes Biodegradáveis com a Incorporação de Fibras Vegetais. **Blucher Biochemistry Proceedings**, 2015, 1.2: 20-23.

MOURA, Henrique Valentim, et al. Produção e caracterização de geleias de maracujá com sementes de linhaça marrom. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal: RBHSA**, 2019, 13.2: 218-229.

MOURA, Cristiane de et al. **Potencial antioxidante de extratos hidroalcoólicos de mirtilo, polpa de açaí e goji berry: efeito na estabilidade oxidativa e sensorial em queijo petit suisse**. 2016. Master's Thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

MORAES, Thiago Vieira de. **Avaliação do perfil fitoquímico e nutricional e da atividade antioxidante de folhas, frutos, flores e caules da Pereskia aculeata Miller (ora-pro-nóbis)**. Tese de doutorado-Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2022.

OLIVEIRA FILHO, J. G. **Obtenção de peptídeos bioativos a partir de subprodutos de algodão para aplicação em filmes ativos e biodegradáveis**. 2018. PhD Thesis. Dissertação (Mestrado em Agroquímica), Instituto Federal Goiano, 2018.

PEREIRA, Ronaldo Coelho, et al. Caracterização de filmes de quitosana produzidos a partir da incorporação de extrato de *anacardium microcarpum ducke*. **Brazilian Journal of Development**, 2021, 7.5: 51376-51394.

RIBEIRO, Janete Rossi; BARATTO, Silvia Zanella. **Propriedades funcionais da linhaça e sua relação com a prevenção do câncer de mama**. Repositório IFSC- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2021.

- RODRIGUES, Angela Souza, et al. **Atividade antioxidante e antimicrobiana de extratos de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* mill.) e sua aplicação em mortadela.** Dissertação de mestrado- Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2016.
- ROMANI, Viviane Patrícia; MARTINS, Vilásia Guimarães; SOARES, Leonor Almeida De Souza. Oxidação lipídica e compostos fenólicos como antioxidantes em embalagens ativas para alimentos. *VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias*, 2017, 27.1: 38-56.
- RUFINO, M. D. S. M., et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.
- SANTOS, José Aparecido Silva, et al. Estudo do potencial antioxidante da *Anacardium occidentale* L. e determinação de seus compostos fenólicos. *Diversitas Journal*, 2018, 3.2: 455-474.
- SILVA, Bruno Magalhães, et al. **Avaliação da composição e do rendimento global dos extratos vegetais do ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Mill.) oriundos de diferentes métodos de extração.** Dissertação (mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2022.
- SILVA, Joálisson Gonçalves da, et al. Application of biodegradable films in guava to control fruit flies¹. *Revista Caatinga*, 2020, 33: 62-71.
- SILVA, Helen Costa, et al. CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE FARINHA DE ARROZ COM GUABIROBA. In: **IV Simpósio Paranaense de Modelagem, Simulação e Controle de Processos-SIMPROC 2019**. 2019.
- SILVA, Maria Luiza Tonetto; BRINQUES, Graziela Bruschi; GURAK, Poliana Deyse. Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amido de milho contendo farinha de subproduto de broto. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2020, 23.
- SILVA, Nayara de Sousa. **Extração de compostos bioativos de plantas alimentícias não convencionais (pancs) da região semiárida.** Bachelor's Thesis, Instituto Federal da Paraíba, Picuí, Paraíba, 2019.
- SOUSA, João Victor Lima Tavares de. **Avaliação de compostos antioxidantes e flavonóides totais de diferentes formulações de paçocas acrescidas de farinha de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* miller).** 2021. 40 fl. (Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia), Curso de Bacharelado em Nutrição, Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité – Paraíba – Brasil, 2021.
- SOUZA, Angela Vacaro de; VIEIRA, Marcos Ribeiro da Silva; PUTTI, Fernando Ferrari. Correlações entre compostos fenólicos e atividade antioxidante em casca e polpa de variedades de uva de mesa. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2018, 21.
- SOUZA, K. C. **Desenvolvimento de filmes de isolado proteico de soja incorporados de extrato da casca de pinhão (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) e aplicação como embalagem para óleo.** 63 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

SOUZA, Lucèia Fàtima et al. *Pereskia aculeata* Muller (Cactaceae) Leaves: chemical composition and biological activities. **International journal of molecular sciences**, v. 17, n. 9, p. 1478, 2016.

SOUZA, Mayara Cíntia Cavalcante. **Elaboração de filme biodegradável a partir da gelatina extraída da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2016. Bachelor's Thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

SUEIRO, Ana Claudia, et al. Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana. **Química Nova**, 2016, 39: 1059-1064.

VARGAS, Carolina Galarza. **Caracterização e utilização de arroz vermelho (*Oryza glaberrima*) e preto (*Oryza sativa*) e seus subprodutos para a produção de filmes biodegradáveis**. 2018. Tese – Programa de Pós graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2018.

VIEIRA, Suellen Rocha et al. Influência do pH e concentração salina na propriedade espumante da goma de linhaça (*Linum usitatissimum* L.). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 40924-40940, 2020

VIÉGAS, Larissa Paiva; SILVA, Ester CC; RODRÍGUEZ, Rubén JS. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. Campos dos Goytacazes, RJ. 2016. PhD Thesis. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, 2016.

WANG, Liyan, et al. Preparation and characterization of active films based on chitosan incorporated tea polyphenols. **Food hydrocolloids**, 2013, 32.1: 35-41.