

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

Laura Médici Tavares

**FOLHAS DE ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia aculeata* Miller): UMA FONTE NATIVA DE
PROTEÍNA VEGETAL POUCO EXPLORADA**

Buri

2025

Laura Médici Tavares

**FOLHAS DE ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia aculeata* Miller): UMA FONTE NATIVA DE
PROTEÍNA VEGETAL POUCO EXPLORADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia de Alimentos na
Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora: Profa. Dra. Isabelle Cristina
Oliveira Neves

Coorientador: Prof. Dra. Naaman Francisco
Nogueira Silva

Buri

2025

Tavares., Laura Médici

Folhas de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller): uma fonte nativa de proteína vegetal pouco explorada / Laura Médici Tavares. -- 2025.
34f.

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

Orientador (a): Isabelle Cristina Oliveira Neves

Banca Examinadora: Isabelle Cristina Oliveira Neves,
Thaís Jordânia Silva, Sérgio Henrique Silva

Bibliografia

1. Produção de farinha de ora-pro-nóbis. 2. Extração de proteínas. 3. Gelificação das proteínas foliares. I. Tavares., Laura Médici. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

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


FOLHA DE APROVAÇÃO

LAURA MÉDICI TAVARES


Folhas de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller): uma fonte nativa de proteína vegetal pouco explorada.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de São Carlos


Aprovado em: 03/02/2025

Documento assinado digitalmente
 ISABELLE CRISTINA OLIVEIRA NEVES
Data: 04/02/2025 19:18:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa Dra. Isabelle Cristina Oliveira Neves
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Documento assinado digitalmente
 THAIS JORDANIA SILVA
Data: 05/02/2025 11:25:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Thaís Jordânia Silva
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Documento assinado digitalmente
 SERGIO HENRIQUE SILVA
Data: 05/02/2025 09:10:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Sérgio Henrique Silva
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, por ser um alicerce na minha vida e na vida de todos aqueles que amo.

Agradeço aos meus pais, Edith Veiga Tavares e Odair Alves Tavares, por sempre me apoiarem em todas as escolhas ao longo da minha vida. Com certeza, a minha vitória também é a deles. Toda a força e determinação que me deram durante os meus 23 anos e 5 anos de graduação só foram possíveis graças ao apoio incondicional deles. Sou grata por me visitarem nos momentos difíceis e por todos os almoços de domingo que, além de me acalmarem, me davam forças para continuar.

Agradeço também ao meu irmão, Rafael Veiga Tavares, por sempre acreditar no meu potencial e me incentivar nos momentos em que mais precisei de apoio.

Sou imensamente grata aos meus amigos, especialmente àqueles que conheci durante o período de graduação. Obrigada por serem meu apoio nos meus dias mais felizes e nos mais desafiadores.

Agradeço ainda à minha orientadora, Isabelle Cristina Oliveira Neves, por ter acreditado no meu potencial e por ter aberto portas para diversas oportunidades. Tenho uma enorme admiração pela pessoa e pela profissional que você é.

Por fim, agradeço à UFSCar e a todos os docentes, por fornecerem um ensino gratuito e de excelência, além de todo o suporte durante o curso.

RESUMO

TAVARES, Laura Mé dici. Folhas de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller): uma fonte nativa de proteína vegetal pouco explorada. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri, 2025.

Atualmente, o crescimento populacional e a produção de alimentos mundial têm sido associados às mudanças climáticas globais e à escassez de água doce, por exemplo. Nesse cenário, há uma preocupação global com o fornecimento sustentável de proteínas para as próximas décadas. O Brasil é um país de rica flora, que inclui diversas plantas comestíveis com alto teor de proteínas, como a *Pereskia aculeata* Miller, também conhecida como ora-pro-nobis (OPN). Assim, esse trabalho teve como objetivo extrair proteínas da folha de OPN e analisá-la quanto às suas características tecnológicas. O processo iniciou-se com a produção da farinha a partir das folhas de OPN, por meio de circulação forçada. Posteriormente, foi realizada a composição centesimal deste material, de acordo com métodos oficiais, obtendo-se os teores de umidade das folhas de OPN (88,2% m/m), e na farinha, lipídios (5,6% m/m), proteínas (9,4% m/m), cinzas (17,1% m/m) e carboidratos totais (20,3% m/m), todos apresentados em base seca. Para otimizar a extração de proteínas da folha, foram conduzidos experimentos de precipitação induzida por ácido, variando o pH da solução (2,0; 3,0; 3,5 e 4,0) com o objetivo de aproximar-se do ponto isoelétrico das proteínas da folha, visando aprimorar a eficiência da extração. Após condução dos testes, o pH escolhido para esse processo foi de 3,5. Por fim, após a obtenção do concentrado proteico, foram preparadas suspensões de proteína com concentração de 1,0% m/m (T1), 2% m/m (T2) e 4% m/m (T3) e realizados testes reológicos estacionários para a medida da viscosidade, além dos testes oscilatórios varredura de frequência e varredura de temperatura, na região de viscoelasticidade linear para todos os tratamentos. Os resultados indicaram que o fluido exibiu um comportamento newtoniano, independente da concentração de proteínas em suspensão. Observou-se uma viscosidade máxima de $1,378 \text{ mPa}\cdot\text{s}^{-1}$ para T3. Os módulos viscosos (G'') e elástico (G') apresentaram uma ligeira dependência da frequência para todos os tratamentos, sendo $G'' > G'$. Em nenhuma das concentrações de proteína testadas, foi observada a formação de gel térmico ou ácido. Portanto, conclui-se que esse trabalho contribuiu para um entendimento mais aprofundado das características físico-químicas da folha e do comportamento das proteínas de ora-pro-nóbis em suspensão, avaliando seu potencial de aplicação futura pela indústria de alimentos, valorizando uma fonte de proteína vegetal nativa que pode ser cultivada em todo o território brasileiro.

Palavras-chave: extração, viscosidade, reologia, varredura de frequência, varredura de temperatura, Plantas Alimentícias Não Convencionais.

ABSTRACT

TAVARES, Laura Médici. Ora-pro-nobis leaves (*Pereskia aculeata* Miller): an underexplored native plant protein source. 2025. Final Paper – Federal University of São Carlos, Lagoa do Sino campus, Buri, 2025.

Currently, population growth and global food production have been associated with global climate change and the scarcity of fresh water, for example. In this scenario, there is a global concern regarding the sustainable supply of protein for the coming decades. Brazil is a country with rich flora, including various edible plants with high protein content, such as *Pereskia aculeata* Miller, also known as ora-pro-nobis (OPN). Thus, this study aimed to extract proteins from OPN leaves and analyze them for their technological characteristics. The process began with the production of flour from OPN leaves through forced circulation. Subsequently, the centesimal composition of this material was performed using official methods, obtaining the following results: the moisture content of OPN leaves (88.2% w/w), and in the flour, lipids (5.6% w/w), proteins (9.4% w/w), ash (17.1% w/w), and total carbohydrates (20.3% w/w), all expressed on a dry basis. To optimize the protein extraction from the leaves, acid-induced precipitation experiments were conducted, varying the pH of the solution (2.0, 3.0, 3.5, and 4.0) to approach the isoelectric point of the leaf proteins, aiming to improve the extraction efficiency. After conducting the tests, the pH chosen for this process was 3.5. Finally, after obtaining the protein concentrate, protein suspensions with concentrations of 1.0% w/w (T1), 2% w/w (T2), and 4% w/w (T3) were prepared, and steady rheological tests were carried out to measure viscosity, as well as oscillatory frequency and temperature scans in the linear viscoelasticity region for all treatments. The results indicated that the fluid exhibited a Newtonian behavior, regardless of the protein concentration in suspension. A maximum viscosity of 1.378 mPa·s⁻¹ was observed for T3. The viscous (G'') and elastic (G') moduli showed slight dependence on frequency for all treatments, with $G'' > G'$. In none of the protein concentrations tested was the formation of thermal or acid gels observed. Therefore, it is concluded that this study contributes to a deeper understanding of the physicochemical characteristics of the leaf and the behavior of ora-pro-nobis proteins in suspension, evaluating its potential for future applications in the food industry, highlighting a native plant protein source that can be cultivated throughout Brazil.

Keywords: Extraction, viscosity, rheology, frequency sweep, temperature sweep, NonConventional Food Plants.

LISTA DE FIGURAS

Figura1	-	Características morfológicas da Pereskia aculeata Miller.....	11
Figura 2	–	Curva de escoamento em função da concentração de proteínas de OPN em suspensão: 1% m/m (azul), 2% m/m (vermelho) e 4% m/m (verde).....	24
Figura 3	–	Curva de varredura de frequência das proteínas de OPN em suspensão.....	26
Figura 4	–	Curva de varredura de temperatura das proteínas de OPN em suspensão.....	27

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Composição nutricional das folhas de ora-pro-nóbis (OPN). Os valores são apresentados em base seca e as referências são dadas pelo sobrescrito após a faixa de concentração apresentada.11
- Tabela 2** – Composição centesimal das folhas de OPN comparando os dados da literatura e os obtidos experimentalmente neste trabalho.21
- Tabela 3** - Comparação do rendimento de extração de acordo com a variação de pH das suspensões proteicas na etapa de precipitação ácida.
.....22
- Tabela 4** - Teor de proteínas de OPN no precipitado obtido após processo de extração..... 23
- Tabela 5** - Ajuste dos dados da curva de escoamento ao Modelo de Newton.24

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	<i>Pereskia aculeata</i> – uma fonte alimentar pouco explorada.....	10
2.2	Características gerais da <i>P. aculeata</i>	10
2.3	Características químicas e nutricionais das folhas de OPN.....	11
2.4	Propriedades funcionais das folhas de OPN.....	14
3	OBJETIVOS.....	15
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1	Produção da farinha de OPN.....	16
4.2	Composição centesimal.....	16
4.3	Método de extração.....	19
4.4	Curva de escoamento.....	19
4.5	Varredura de frequência.....	20
4.6	Propriedades de gelificação induzidas por calor ou ácido.....	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5.1	Análise da composição centesimal.....	20
5.2	Capacidade de extração – Variação de pH.....	21
5.3	Análise de perfil de escoamento.....	23
5.4	Análise de varredura de frequência.....	25
5.5	Análise de formação de gel induzida por calor ou ácido.....	27
6	CONCLUSÃO.....	28
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

Em 2021, existiram cerca de 7,7 bilhões de pessoas vivendo na Terra. Esse número está crescendo e deve chegar a 9,7 bilhões em 2050. Dentre essas pessoas, 811 milhões passam fome, enquanto mais de um bilhão estão acima do peso (FAO *et al.*, 2021). Com efeito, vivemos em um mundo contrastante onde a produção de alimentos é também a principal ameaça às mudanças climáticas globais em termos de emissões de gases de efeito estufa, uso da terra, acidificação, eutrofização e escassez de água doce (Poore & Nemecek, 2018). Nesse cenário, há uma preocupação global com o fornecimento sustentável de proteínas para as próximas décadas. Assim, fontes alternativas de proteína vegetal têm atraído atenção especial devido às suas características benéficas quando comparadas às fontes de proteína animal, principalmente no que diz respeito à sustentabilidade, acessibilidade e questões de saúde (Varela-Ortega *et al.*, 2021, Detzel *et al.*, 2021).

O Brasil possui uma exuberante flora nativa, que inclui diversas plantas comestíveis ricas em proteínas. Dentre essas fontes alternativas, a *Pereskia aculeata* Miller, popularmente conhecida como “ora-pro-nóbis” (OPN), é uma espécie que apresenta propriedades promissoras para ser utilizada na alimentação humana. A OPN é um arbusto frondoso nativo do continente americano, pertencente à família *Cactacea*, que se diferencia dos demais cactos por possuir folhas bem desenvolvidas (da Silva Porto *et al.*, 2021, Silva *et al.*, 2018), em que a maioria dos nutrientes e água são acumulados (Edwards & Donoghue, 2006, Souza *et al.*, 2020). De fato, as folhas de OPN são tradicionalmente empregadas como alimento nas comunidades rurais brasileiras devido à sua aceitação sensorial e alto valor nutricional (da Silva Porto *et al.*, 2021, Mariutti *et al.*, 2021, de Oliveira *et al.*, 2019), a saber, apresentam 25% m/m de proteínas em base seca. No entanto, as características químicas dessas proteínas são amplamente desconhecidas. Portanto, o objetivo principal do presente projeto foi investigar as propriedades físico-químicas e tecnológicas de proteínas foliares de OPN extraídas por solubilização alcalina, seguida de precipitação ácida. Portanto, esta pesquisa pode ser vista como uma estratégia para valorizar uma fonte de proteína vegetal nativa que pode ser cultivada em todo o território brasileiro. Vale ressaltar que a OPN é uma espécie produtiva e tolerante, que não requer alta fertilidade do solo, podendo produzir cinco vezes mais proteína comestível que a soja por hectare por ano (Souza *et al.*, 2020).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Pereskia aculeata* – uma fonte alimentar pouco explorada

A revisão de *Pereskia aculeata* foi feita principalmente utilizando a *Web of Science*, como base de dados global, e a *Scielo*, como fonte latino-americana. Foram encontrados 239 artigos na *Web of Science* e 34 na *Scielo* em que “*Pereskia*” aparecia em qualquer parte do texto. Todos esses artigos foram cuidadosamente avaliados antes de escrever este projeto. Além disso, informações técnicas sobre o cultivo da planta também foram retiradas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

2.2 Características gerais da *P. aculeata*

Pereskia são arbustos e árvores frondosas nativas do continente americano, pertencentes à família *Cactaceae*, subfamília *Pereskioideae*, gênero *Pereskia* (Edwards & Donoghue, 2006). Embora tenha a capacidade de crescer sob disponibilidade hídrica limitada como um cacto convencional, o gênero *Pereskia* difere-se dos demais cactos porque apenas este gênero apresenta folhas bem desenvolvidas (da Silva Porto *et al.*, 2021, Silva *et al.*, 2018). Os demais gêneros de *Cactaceae* apresentam caules fotossintéticos úmidos típicos que permitem sua sobrevivência durante longos períodos de seca, mantendo um estado hídrico tecidual positivo (Edwards & Donoghue, 2006). Nesse sentido, o gênero *Pereskia* é considerado um ancestral dos cactos modernos; e na ausência de um caule fotossintético suculento, a água e a maioria dos nutrientes são acumulados nas folhas da *Pereskia* (Edwards & Donoghue, 2006, Souza *et al.*, 2020).

De acordo com o banco de dados “*The Plant List*”, existem 18 espécies pertencentes ao gênero *Pereskia* (The plant list, 2013). que são distribuídos da Argentina à Flórida (Telles, *et al.*, 2016). No Brasil, a *Pereskia aculeata* Miller, conhecida como Ora-Pro-Nobis (OPN) é a espécie mais empregada para consumo humano, sendo encontrada naturalmente em todos os estados brasileiros das regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Telles, *et al.*, 2016). Morfologicamente, a OPN pode ser descrita como uma espécie perene e arbustiva (Figura 1), atingindo 4 m de altura ou até mais. Apresenta ramos longos, folhas elípticas simples com pecíolos curtos e textura suculenta, com até 15 cm de comprimento. Os caules mais velhos e bem lignificados são dotados de espinhos proeminentes que exigem cuidados no manuseio (Telles, *et al.*, 2016, Madeira, *et al.*, 2016). Além disso, a OPN é uma espécie rústica, tolerante a condições áridas, que apresenta crescimento vegetativo durante todo o ano e que não requer alta fertilidade do solo; conseqüentemente adapta-se a diversos tipos de solo e condições edafoclimáticas (Telles. *et al.*, 2016, Madeira. *et al.*, 2016).

Figura 1 - Características morfológicas da *Pereskia aculeata* Miller.



Fonte: <https://www.aplantadavez.com.br/2020/11/ora-pro-nobis-pereskia-aculeata-mill.html>.

2.3 Características químicas e nutricionais das folhas de OPN

As folhas de OPN são tradicionalmente empregadas como alimento nas comunidades rurais brasileiras devido à sua aceitação sensorial e alto teor nutricional, incluindo quantidades significativas de proteínas, fibras, minerais e vitaminas (da Silva Porto *et al.*, 2021, Mariutti *et al.*, 2021, de Oliveira *et al.*, 2019). Vários trabalhos estudaram a composição química das folhas de OPN e os resultados estão resumidos na Tabela 1. Os métodos empregados nesses trabalhos não são necessariamente os mesmos e os resultados não são diretamente comparáveis. No entanto, o objetivo principal de agrupá-los em uma única tabela é apresentar uma base científica da riqueza nutricional das folhas de OPN. Como pode ser visto na Tabela 1, quase 90% m/m da folha de OPN é composta por água. A matéria seca remanescente é bastante diversificada e contém todas as classes de nutrientes essenciais à dieta humana.

Tabela 1 – Composição nutricional das folhas de Ora-Pro-Nobis (OPN). Os valores são apresentados em base seca e as referências são dadas pelo sobrescrito após a faixa de concentração apresentada.

Nutrientes		Média
Faixa *****) Umidade (% m/m)	83,3 – 91,1	88,1
Proteínas (%)		

	14,3 – 29,0	23,3
m/m)		
Lipídios (% m/m)	4,1 – 16,3	8,5
Carboidratos (% m/m)	29,5 – 32,3	30,9
Fibra dietética solúvel (% m/m)	2,4 – 5,2	3,8
Fibra dietética insolúvel (% m/m)	19,2 – 33,9	26,6
Minerais (% m/m)	10,8 – 16,1	13,9
Cálcio (% m/m)	1,3 – 4,6	3,4
Magnésio (% m/m)	0,6 – 1,9	1,0
Potássio (% m/m)	1,6 – 3,9	3,1
Fósforo (mg/kg)	1560,0 – 5600,0	3770,0
Manganês (mg/kg)	88,0 – 464,0	327,0
Zinco (mg/kg)	37,0 – 267,0	106,0
Ferro (mg/kg)	142,0 – 244,0	190,0
Cobre (mg/kg)	12,0 – 14,0	13,0
Vitamina E (mg/kg)	14,0 – 49,0	32,0
Carotenóides totais (mg/kg) β-caroteno (mg/kg)	250,0 – 354,0	302,0
Vitamina A (mg/kg)	78,0 – 430,0	250,0
Vitamina C (mg/kg)	23,0 – 25,0	24,0
	430,0 – 1858,0	1144,0

****(Silva *et al.*, 2018, Almeida, *et al.*, 2014, Barreira, *et al.*, 2020, Souza, de M., *et al.*, 2020).

Fonte: Autoria própria, 2023.

Os carboidratos representam aproximadamente um terço da matéria seca das folhas de OPN e estão presentes como polissacarídeos estruturais e altamente ramificados, formados por galactopiranosose, arabinofuranose, arabinopiranosose, ramnospiranosose, ácido urônico e fucose (Lima Junior, *et al.*, 2023, Martin, de Freitas *et al.*, 2017). Esses polissacarídeos complexos são conhecidos como mucilagem (não tóxico) e podem ser utilizados como hidrocolóides no processamento de alimentos devido à sua alta capacidade de absorção de água (Lima Junior, F.A *et al.*, 2023, Lise, Marques *et al.*, 2021). A fibra alimentar é um material vegetal resistente à digestão enzimática, importante para a saúde humana, pois seu consumo tem sido associado à diminuição da incidência de inúmeras doenças, como gastrointestinais (Dhingra, *et al.*, 2011). Assim, outro aspecto nutricional positivo das folhas de OPN é seu conteúdo significativo de fibras alimentares, incluindo frações solúveis e insolúveis. Com relação à fração lipídica, que também está presente em considerável concentração nas folhas de OPN, até o momento nenhum trabalho avaliou sua composição, ou seja, os trabalhos já publicados se limitaram a analisar a concentração lipídica total pelo método de Soxhlet (Takeiti *et al.*, 2009, Barreira, *et al.*, 2020, Barbalho, *et al.*, 2016). Em relação aos minerais e vitaminas, seus teores nas folhas de OPN são impressionantes. Levando em consideração os Valores de Referência de Ingestão de Nutrientes (por dia) para um adulto, estabelecidos pela FAO (Lewis, 2019), uma porção de 30 g de farinha de folhas de OPN (folhas secas) pode fornecer, em média: 100% de cálcio; 100% de magnésio; 160 % de fósforo; 250 - 400 % de ferro; 230 – 290 % de zinco; 430% de cobre; 3200 % de manganês; 900% de vitamina A; 340% de vitamina C; 100% de vitamina E. Em relação à fração proteica, é interessante notar que o teor de proteína das folhas de OPN, em base seca, é bastante semelhante ao do leite em pó integral de vaca (~25% m/m) (Walstra, *et al.*, 2010), o que evidencia a relevância nutricional das folhas de OPN para o consumo humano. Sua composição de aminoácidos foi analisada por Takeiti *et al.* (2009) e Silveira *et al.* (2020). Embora esses trabalhos divergissem em relação às proporções entre os aminoácidos, ambos relataram que as folhas de OPN fornecem todos os aminoácidos essenciais em proporções adequadas para a nutrição de um adulto, estando apenas a metionina e a lisina presentes um pouco abaixo dos níveis ideais recomendados pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2007). Além disso, para ser uma boa fonte de proteína, a fração proteica deve ser digerível pelo trato gastrointestinal humano; e de acordo com Takeiti *et al.* (2009), a digestibilidade *in vitro* das proteínas foliares OPN foi de 75,9 %, sendo semelhante à digestibilidade do feijão, trigo e arroz (WHO, 2007).

Considerando as características físico-químicas das folhas de OPN, foi demonstrado por eletroforese em gel de dodecil sulfato de sódio-poliacrilamida (SDS-PAGE) que as proteínas foliares de OPN apresentam massas molares variando de 15 a 97 kDa, com as bandas principais encontradas em 61 kDa, 53 kDa, 33 kDa e 15 kDa (Takeiti *et al.*, 2009). Após a separação por cromatografia em criogel, seguida por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Neves *et al.* (2020) mostraram que as estruturas secundárias das proteínas foliares de OPN eram compostas principalmente por β -sheet (46,5%) e α -hélice (13,9%), indicando uma conformação estável para essas proteínas; e também observaram um potencial zeta de 5,8 mV em pH 3,2, o que sugere um ponto isoelétrico ligeiramente acima desse pH. Morais *et al.* (2019) avaliaram empiricamente a recuperação proteica de proteínas foliares de OPN combinando salga, temperatura e precipitação isoelétrica. Os autores notaram que a maior recuperação de proteína (de cerca de 69%) foi alcançada usando sulfato de amônio a 0,5 M e 85 °C; na ausência de sais precipitantes, a maior recuperação proteica foi encontrada entre pH 3 (71%) e pH 4 (69%) a 85°C. Esses resultados concordam com os de Neves *et al.* (2020) em relação a um ponto isoelétrico das proteínas da folha de OPN entre pH 3 e pH 4. De fato, verificou-se que apenas esses três trabalhos (Takeiti *et al.*, 2009, Neves *et al.*, 2020) apresentaram informações físico-químicas sobre as OPN-LP.

Por último, mas não menos importante, vale ressaltar que os estudos que avaliaram a toxicidade das folhas de OPN para humanos mostraram que elas são seguras para aplicações alimentares e terapêuticas (Garcia, *et al.*, 2019, Silva, *et al.*, 2017).

2.4 Propriedades funcionais das folhas de OPN

As propriedades funcionais das folhas de OPN têm sido estudadas na formulação de produtos alimentícios na forma de farinha (Sobrinho *et al.*, 2015, Vieira *et al.*, 2020), mucilagem (Lise *et al.*, 2021, Silva *et al.*, 2021), e folhas frescas (Rosa, L., Queiroz, *et al.*, 2016). Não foram encontrados trabalhos que pesquisassem as propriedades funcionais das proteínas da folha de OPN, o que mostra o potencial científico para estudar essas proteínas e desenvolver novas aplicações alimentares.

Em termos de farinha, composta por folhas secas e moídas de OPN, Sobrinho *et al.* (2015) avaliaram os efeitos de sua adição na textura, cor e aceitação sensorial de salsichas cozidas. Os autores observaram que as salsichas com 1 – 2 % m/m de farinha de folhas de OPN eram mais escuras e macias do que as do controle, enquanto a aceitação sensorial se manteve inalterada. Sato *et al.* (2018) estudaram o impacto da adição de 10 a 20% m/m de farinha de folhas de OPN nas características funcionais e sensoriais de massas alimentícias. Os autores

perceberam que, em comparação com as massas controle, as enriquecidas eram mais escuras, mais macias, ganhavam mais peso durante o cozimento, murcham menos após o cozimento e apresentam maiores teores de proteínas, fibras e minerais. Ao mesmo tempo, cor, sabor, odor, textura e aparência geral foram igualmente apreciados pelos consumidores de ambos os tipos de massas. Em um estudo randomizado duplo-cego, Vieira *et al.* (2020) pesquisaram o efeito de uma bebida láctea contendo 5% m/m de farinha de folhas de OPN na microbiota intestinal, sintomas gastrointestinais e parâmetros antropométricos em mulheres de 20 a 60 anos. Os resultados demonstraram que o consumo diário da bebida com farinha de folhas de OPN por 6 semanas resultou em melhora da consistência das fezes, aumento da saciedade e redução do peso, circunferência da cintura e percentual de gordura corporal. Nenhum efeito foi detectado na composição da microbiota intestinal. Esses resultados estão associados à presença de fibra alimentar e compostos fitoquímicos como polifenóis nas folhas de OPN.

Em relação aos trabalhos com mucilagem de folhas de OPN, Silva *et al.* (2021) demonstraram que é possível substituir a carragena por mucilagem foliar de OPN na produção de queijo Petit Suisse, melhorando os atributos de textura, aumentando a viscosidade e reduzindo a sinérese. Lise *et al.* (2021) estudaram o potencial da mucilagem foliar de OPN como emulsificante e substituto de gordura na produção de produto cárneo tipo mortadela. Esses autores verificaram que foi possível reduzir o teor de gordura da mortadela sem prejudicar suas propriedades funcionais e aceitação sensorial. E mesmo na forma de folhas frescas, o uso de OPN é tecnologicamente viável em formulações de alimentos, como na produção de bolo de chocolate, com aumento nos teores de proteínas, fibras e minerais, e redução nas calorias totais (Rosa, L., Queiroz, *et al.*, 2016). No geral, os dados disponíveis destacam o potencial funcional e nutricional do uso de folhas OPN no processamento de alimentos, seja como folhas secas/frescas ou extrato isolado (mucilagem), mantendo suas propriedades funcionais e aceitação sensorial.

3 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho proposto foi extrair proteínas da farinha de folhas de OPN e investigar suas propriedades físico-químicas e tecnológicas. Os seguintes objetivos específicos também podem ser enumerados:

- Produzir uma farinha de OPN a partir das folhas deste vegetal e analisar a sua composição centesimal;
- Desenvolver protocolos de extração de proteínas foliares de OPN a partir da farinha de folhas de OPN;

- Estudar os efeitos do pH de precipitação na eficiência de extração de proteínas foliares de OPN;
- Avaliar as propriedades de gelificação induzida por ácido e calor das proteínas foliares de OPN e o perfil de escoamento de suspensões deste hidrocoloide.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Produção da farinha de OPN

A colheita e produção da farinha de OPN ocorreu em outubro de 2022, na Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino. As folhas saudáveis foram coletadas, imediatamente limpas e imersas em hipoclorito de sódio a 100 mg/L por 10 minutos. Em seguida, foram enxaguadas com água destilada e secas a 60 °C por 24 horas em estufa de circulação forçada de ar. Após a secagem, as folhas foram moídas em moinho de facas, embaladas a vácuo e armazenadas a 20 °C até o seu uso.

4.2 Composição centesimal

Os métodos oficiais AOAC 925.1, 981.10, 945.16, 978.10 e 923.03 (AOAC, 2006), foram utilizados para determinar os teores de umidade, proteína bruta, gordura bruta e cinzas, respectivamente, da farinha de folhas OPN e da proteína em pó extraída (somente medida do teor de proteína). O teor de carboidratos foi obtido por diferença.

a) Teor de Umidade

A análise foi conduzida em triplicata, com pesagens da amostra em cadinhos previamente secos e tarados. Em seguida, as amostras foram colocadas em uma estufa a 60 °C por um período de 24 horas. Após atingirem um peso constante, as amostras foram retiradas da estufa e transferidas para dessecadores para resfriamento. Após esse processo, cada cadinho foi pesado novamente. Com todos os valores registrados, foi possível realizar o cálculo da umidade em base seca (U_{bs} (%)), conforme a equação 1.

$$U_{bs} (\%) = \frac{(M_{am} - M_f)}{(M_f)} \times 100 \quad (1)$$

em que M_{am} é a massa da amostra úmida (g), M_f é a massa final da amostra seca (g).

b) Teor de Lipídios

O método utilizado para esta análise foi o de Soxhlet, que envolve o uso de um solvente orgânico para extrair a fração lipídica das amostras, eliminação do solvente por evaporação e quantificação da gordura por pesagem.

O processo iniciou-se com a etapa de extração, na qual os balões foram levados à estufa a 105 °C e, em seguida, foram transferidos para o dessecador para resfriamento. Após o resfriamento, os balões foram pesados. Amostras de aproximadamente 5 g foram então adicionadas em cartuchos de papel, que foram acomodados na vidraria de Soxhlet para iniciar o processo de extração a quente com o solvente hexano, com sistema de refluxo de solvente, por 6 horas. Com todos os valores registrados, foi realizado o cálculo do teor lipídico (*Lipídios* (%)) da farinha de folhas de OPN, conforme a equação 2. A análise foi conduzida com 6 repetições.

$$\text{Lipídios (\%)} = \frac{MC - Mc}{M_{am}} \times 100 \quad (2)$$

em que MC é a massa do balão com lipídeos (g), Mc é a massa do balão seco (g) e M_{am} é a massa da amostra (g).

c) Teor de Proteínas

Para determinar o teor de proteínas (*Proteína total* (%)) utilizou-se o método de Kjeldahl, que visa à determinação do teor de nitrogênio total (*Nitrogênio* (%)) presente na amostra. Em seguida, esse valor de nitrogênio total foi convertido em teor de proteína bruta utilizando um fator de conversão de 6,25. Foram realizadas seis repetições utilizando-se, aproximadamente, 0,2 g de amostra, cujo peso exato foi medido para posterior quantificação do teor de proteínas nas amostras.

O procedimento experimental incluiu etapas de digestão, destilação e titulação. Os valores foram devidamente anotados para posteriormente serem efetuados os cálculos, utilizando as equações 3 e 4.

$$\text{Nitrogênio (\%)} = \frac{V_{HCl} \times N_{HCl} \times fc_{HCl} \times 1,4008}{M_{am}} \quad (3)$$

$$\text{Proteína total (\%)} = \text{Nitrogênio (\%)} \times \text{fator de conversão} \quad (4)$$

em que V_{HCl} é o volume de HI gasto na titulação (mL), N_{HCl} é a normalidade da solução de HCl (N), fc_{HCl} é o fator de correção da solução de HCl, M_{am} é a massa da amostra (g).

d) Teor de Cinzas

Para quantificar o teor de cinzas (*Resíduo Mineral (%)*), foram realizadas seis repetições, utilizando-se amostras de aproximadamente 3,0 g. Em seguida, essas amostras foram acondicionadas em cadinhos previamente secos e tarados, sendo posteriormente submetidas ao aquecimento em mufla a uma temperatura de 550 °C, até que o material alcançasse a coloração branca. Após esse processo, as amostras foram resfriadas em dessecadores e submetidas a uma segunda pesagem. Esses dados foram então utilizados na equação 5.

$$\text{Resíduo Mineral (\%)} = \frac{M_c}{M_{am}} \times 100 \quad (5)$$

em que M_c é a massa de cinzas (dada pela diferença da massa do cadinho com cinzas e a massa do cadinho vazio) (g); M_{am} é a massa da amostra (g).

e) Teor de Carboidratos Totais

Essa análise foi realizada utilizando o método por diferença. Portanto, o teor de carboidratos totais (*Carboidratos Totais (%)*) foi calculado utilizando a equação 6.

$$\text{Carboidratos Totais (\%)} = 100 - U_{bs} (\%) + \% \text{Resíduo Mineral} + \% \text{Lipídeos} + \% \text{Proteína Total} \quad (6)$$

em que $\%U_{bs}$ é a umidade em base seca (%)

4.3 Método de extração

Foi utilizado o procedimento de extração de proteínas descrito por Chang *et al.* (2022) e Subaşı *et al.* (2020), conforme descrito a seguir. A farinha de OPN foi suspensa a 5% (m/m) em solução de NaOH 1 M (pH = 13.40) e deixada em um agitador magnético por 1 hora a 25 °C. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas (Sigma Laborzentrifugen GmbH 4-16KS, Alemanha) a 2.500×g, a 25 °C por 20 minutos. O pellet resultante foi descartado e o sobrenadante foi acidificado para os valores de pH 2,0, 3,0, 3,5 ou 4,0 com HCl 2 M, e mantido sob agitação por 5 min, a 25 °C. Após a precipitação, as amostras foram centrifugadas a 2.500 ×g, a 25 °C por 20 minutos para recuperar o precipitado, o qual foi lavado duas vezes com água destilada e seco a 60 °C por 12 horas em uma estufa de circulação forçada de ar. Este precipitado foi pesado e a medida foi utilizada para quantificar o rendimento de extração de proteínas, conforme a equação 7. Assim, foi possível definir o pH de precipitação que resultou em maior extração de proteínas da farinha de OPN.

$$Rendimento (\%) = \frac{Mp}{Mam} \times 100 \quad (7)$$

em que Mp é a massa do precipitado após secagem (g) e Mam é a massa da amostra (g).

4.4 Curva de escoamento

Os concentrados proteicos de folhas de OPN foram suspensos em água destilada a 1,0% (m/m) (T1), 2,0% (m/m) (T2) e 4,0% (m/m) (T3) e agitados por no mínimo 8 horas a 25 °C para garantir a reidratação completa da proteína. A viscosidade das suspensões foi medida usando um Reômetro Physica MCR101 (Anton Paar, Alemanha) sob cisalhamento em estado estacionário, a 25 °C, utilizando a geometria cone placa (CP50), de aço inoxidável (diâmetro de 50 mm, ângulo do cone de 1°, GAP = 0,101 mm). As curvas de escoamento foram determinadas com taxa de deformação variando de 0,001 a 300 s⁻¹, em três rampas contínuas (crescente, decrescente, crescente). Os dados da terceira curva de escoamento foram ajustados aos modelos reológicos clássicos: Modelo de Newton, Lei da Potência e Herschel-Bulkley, para determinação do perfil de escoamento dos fluidos e obtenção da viscosidade. O ajuste dos modelos foi realizado pelo pacote estatístico Statistical Analysis System 9.1.2 (SAS Institute

Inc., Cary, EUA) e foi avaliado por meio do coeficiente de determinação (R^2) e da raiz quadrada do erro do quadrado médio (RMSE).

4.5 Varredura de frequência

Os espectros mecânicos das suspensões de proteínas de OPN foram avaliados usando um teste de varredura de frequência oscilatória na faixa de 0,01 Hz a 10 Hz e tensão de cisalhamento igual a 0,5 Pa, valor que está dentro da região de viscoelasticidade linear para os tratamentos T1, T2 e T3, previamente encontrado por uma varredura de deformação oscilatória na faixa de 0,01 Pa –100 Pa e frequência constante de 1 Hz. Os testes foram realizados a 25 °C.

4.6 Propriedades de gelificação induzidas por calor ou ácido

Inicialmente, o concentrado de proteínas de folhas de OPN seco foi reidratado a 1% (m/m), 2% (m/m) ou 4% (m/m) de concentrado proteico, conforme descrito para medição de viscosidade (seção 3.4). Após a reidratação, o pH das suspensões foi medido. Para avaliar a formação de géis induzidos pelo calor, estes foram produzidos diretamente no reômetro Physica MCR101 (Anton Paar, Alemanha), utilizando a geometria cone placa (CP50), de aço inoxidável (diâmetro de 50 mm, ângulo do cone de 1°, GAP = 0,101 mm). As suspensões proteicas foram aquecidas de 25 °C a 90 °C a 5 °C/min, mantendo-as a 90 °C por 10 min e resfriando-as de 90 °C a 25 °C, a 5 °C/min. O ponto de gel foi considerado como o momento em que ocorreu o cruzamento entre os módulos elástico (G') e viscoso (G''). O teste foi conduzido na região de viscoelasticidade linear dos tratamentos, utilizando uma frequência de oscilação de 1 Hz.

A capacidade de formação de gel induzida por ácido foi conduzida utilizando-se suspensões de concentrado proteico a 1% (m/m), 2% (m/m) ou 4% (m/m). Neste procedimento, o pH das suspensões foi ajustado para 3,5 utilizando-se HCl 1 M. Os tratamentos permaneceram sob refrigeração a 8 °C por 24 horas, a fim de permitir a formação do gel, que foi avaliada visualmente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise da composição centesimal

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1 e encontram-se em base seca.

Tabela 2 - Composição centesimal das folhas de OPN comparando os dados da literatura e os obtidos experimentalmente neste trabalho.

Parâmetros analisados	Dados da Literatura (% m/m) **	Análises laboratoriais (% m/m)
Umidade*	83,3 – 91,1	88,2 ± 0,6
Cinzas	10,8 – 16,1	17,1 ± 0,08
Lipídeos	4,1 – 16,3	5,6 ± 0,7
Proteínas	14,3 – 29,0	9,4 ± 0,3
Carboidratos	29,5 – 32,3	20,3

*Todos os valores foram expressos na matéria seca, exceto a umidade. **Souza *et al.*, 2020 ; Souza *et al.*, 2016; Takeiti *et al.*, 2009

Fonte : Autoria própria, 2023.

Considerando os dados apresentados, foi possível concluir que a análise de composição centesimal se revelou eficaz, uma vez que, em comparação com os valores encontrados na literatura (Souza *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2016; Takeiti *et al.*, 2009) os parâmetros analisados se mostraram bastante similares. As pequenas variações observadas nos teores de cinzas, lipídeos e proteínas podem ser atribuídas a diversos fatores, como as características do solo, condições de cultivo, o clima, as práticas agrícolas, a época de coleta das folhas, quantidade de chuvas, entre outros fatores ambientais. Estes fatores, por sua vez, podem contribuir para as flutuações na composição centesimal das folhas de OPN (*Pereskia aculeata* Miller), demonstrando a complexidade e a interdependência desses elementos na análise da composição centesimal.

5.2 Capacidade de extração – Variação de pH

Procedeu-se à extração e precipitação proteica a partir da farinha das folhas de OPN. Nesse contexto, foi realizado um experimento preliminar com o propósito de avaliar o efeito do pH de soluções ácidas na precipitação das proteínas contidas nas folhas de OPN. Para realizar essa etapa, o pH das suspensões de proteína foi ajustado para valores próximos ao ponto

isoeletrico de proteínas foliculares relatados na literatura (Morais *et al.*, 2019; Neves *et al.*, 2020), conforme mostrado na tabela 2.

Tabela 3 - Comparação do rendimento de extração de acordo com a variação de pH das suspensões proteicas na etapa de precipitação ácida.

Valores de pH ajustados	Massa inicial da amostra (g)	Massa após secagem (g)	Rendimento de extração (%)
2,0	2,50	0,051	2,04%
3,0	2,50	0,070	2,80%
3,5	2,50	0,096	3,86%
4,0	2,50	0,054	2,16%

Fonte: Aatoria própria, 2023.

Pela análise dos dados, foi possível identificar o pH ideal para as próximas extrações, optando-se pelo valor de pH igual a 3,5, que se revelou mais eficiente em comparação aos outros valores testados, proporcionando um rendimento de 3,86%. Nesse contexto, foi observada uma quantidade maior de proteínas precipitadas em solução ácida, conforme evidenciado na Tabela 2. Essa análise foi determinante durante o desenvolvimento do trabalho, uma vez que permitiu aumentar a eficiência do processo, destacando a influência do pH na solubilidade das proteínas de OPN. A partir da definição do pH ótimo de precipitação ácida das proteínas, o processo de extração foi repetido inúmeras vezes nesta condição, a fim de ser produzido material suficiente para as análises reológicas e de quantificação de proteínas do material.

Após a extração do precipitado proteico, a amostra foi submetida à análise de Kjeldahl para quantificar o teor de proteínas presentes no precipitado de OPN, utilizando a metodologia descrita anteriormente (seção 3.2 – c). Consequentemente, a partir dos dados da Tabela 3, foi possível concluir que o método de extração não demonstrou alta eficiência, uma vez que os valores de proteínas na farinha (Tabela 1) se revelaram superiores aos do concentrado proteico (Tabela 3). Esse resultado pode estar relacionado à presença de outras macromoléculas ainda presentes na amostra, como, por exemplo, as arabinogalactanas (Neves *et al.*, 2020), carboidratos que não foram removidos nos processos anteriores de extração, o que acabou resultando na incapacidade de isolamento completo das proteínas foliares. Sugere-se também

um elevado teor de fibras no concentrado proteico, que representam o material celulósico das folhas secas de OPN.

Tabela 4 -Teor de proteínas de OPN no concentrado proteico obtido após o processo de extração.

Parâmetros analisados	Análise laboratorial em pH 3,5 (% m/m)
Teor de proteínas de OPN	5,4 ± 0,02

Fonte: Autoria própria, 2023.

5.3 Análise de perfil de escoamento

A partir dos dados do perfil de escoamento obtidos no reômetro, realizou-se um ajuste aos Modelos Lei de Newton, Lei da Potência e de Herschel-Bulkley. Nessa etapa, as suspensões de proteína de OPN preparadas nas diluições de 1% (m/m), 2% (m/m) e 4% (m/m) foram submetidas a variações de taxas de deformação. Os resultados obtidos pelo equipamento, em conjunto com o ajuste dos modelos aos dados, possibilitaram a integração das informações e a definição do perfil de escoamento das soluções proteicas.

O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o Modelo de Newton ($p < 0,001$), apresentando valores elevados para o coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,9967$) e baixos valores da raiz quadrada do erro do quadrado médio ($RMSE \leq 0,00671$). Esse perfil revela que, à medida que a tensão de cisalhamento aumenta, a taxa de deformação também aumenta de forma proporcional, resultando em uma relação de linearidade, com intercepto no zero. Além disso, a viscosidade permanece constante, independentemente da tensão de cisalhamento ou taxa de deformação aplicada sobre o fluido durante o ensaio. Os parâmetros reológicos do modelo de Newton são apresentados na Tabela 3 em função da concentração de proteína em suspensão.

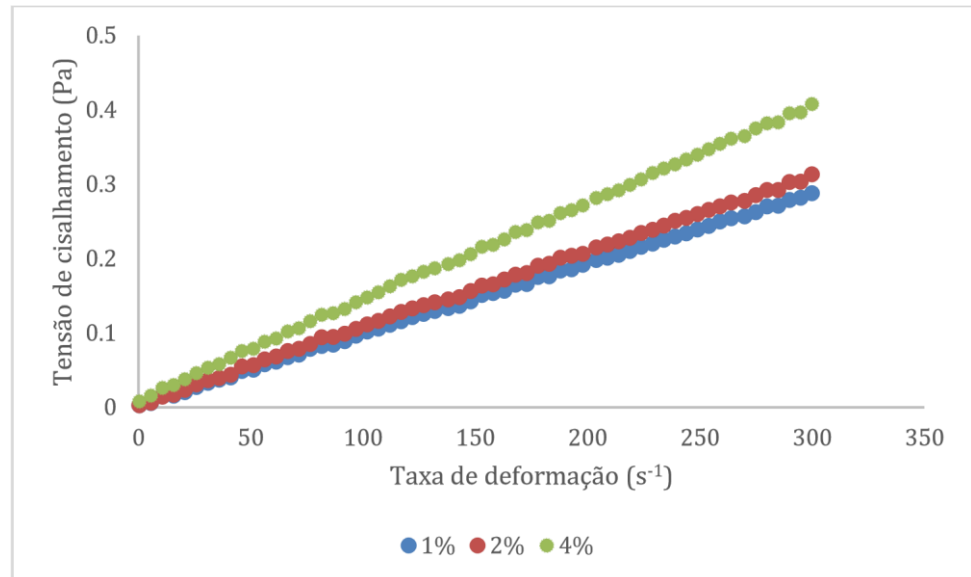
Tabela 5 - Ajuste dos dados da curva de escoamento ao Modelo de Newton.

Concentração de proteína de OPN (%m/m)	Lei de Newton			
	μ (mPa·s ⁻¹)	Pr > t	R ²	RMSE
1	0,966±0,001	<,0001	0,9992	0,00234
2	1,065±0,025	<,0001	0,9984	0,00369
4	1,378±0,083	<,0001	0,9967	0,00671

* μ (mPa·s⁻¹): viscosidade newtoniana; Pr > t: *p* valor ($\alpha=0,05$); R²: coeficiente de determinação; RMSE: raiz quadrada do erro do quadrado médio

Fonte: Autoria própria, 2023.

Além da determinação do perfil de escoamento pelos parâmetros obtidos pelo ajuste dos dados, calculou-se a média da tensão de cisalhamento (Pa) entre as repetições de cada uma das diluições do concentrado proteico de OPN (1%, 2% e 4% m/m) permitindo, assim, a elaboração de um gráfico (Figura 1) que representa a curva de escoamento de cada tratamento.

Figura 2 - Curva de escoamento em função da concentração de proteínas de OPN em suspensão: 1% m/m (azul), 2% m/m (vermelho) e 4% m/m (verde).

Fonte: Autoria própria, 2023.

Através da análise da curva de escoamento é possível perceber a linearidade presente entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação nas três diluições avaliadas (1%, 2% e 4% m/m), o que corrobora o comportamento Newtoniano do fluido. Observa-se ainda que a viscosidade aumentou com o incremento da concentração da suspensão, sendo a maior viscosidade encontrada para o tratamento contendo 4% m/m de concentrado proteico ($1.378 \text{ mPa}\cdot\text{s}^{-1}$) (Tabela 3). Este resultado já era esperado, uma vez que a presença de macromoléculas em suspensão, como as proteínas, oferece resistência para deformação do fluido quando este é submetido a uma tensão de cisalhamento o que, macroscopicamente, reflete-se como o aumento da viscosidade. Isso se deve à resposta do fluido ao atrito viscoso de suas camadas internas que impõe resistência ao escoamento, o que é dependente das interações intermoleculares presentes no meio. Assim, quanto maior a concentração de macromoléculas no fluido, maior é o número de interações presentes, maior o atrito viscoso entre as camadas do líquido, o que resulta em maior viscosidade (Steffe, 1996).

Casanova et al. (2022) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar as propriedades gelificantes, coloidais e ácidas de suspensões mistas de proteínas de ervilha e leite. Uma das metas do estudo foi analisar o comportamento do fluido em função da viscosidade, considerando diferentes concentrações de suspensões. Para isso, foram preparadas suspensões proteicas mistas com a adição de isolado de proteína de ervilha ao leite desnatado reidratado (3% m/m), resultando em quatro amostras com concentrações de proteína total de 5%, 7%, 9% e 11% m/m. Os autores deste trabalho observaram que a viscosidade das amostras aumenta à medida que a concentração de proteínas totais também aumenta nos sistemas analisados. Esse comportamento foi igualmente identificado nas suspensões proteicas de OPN, em que foram avaliadas três diluições (1%, 2% e 4% m/m). Nesse caso, a diluição de 4% apresentou a maior viscosidade, devido à maior concentração de macromoléculas presentes no fluido.

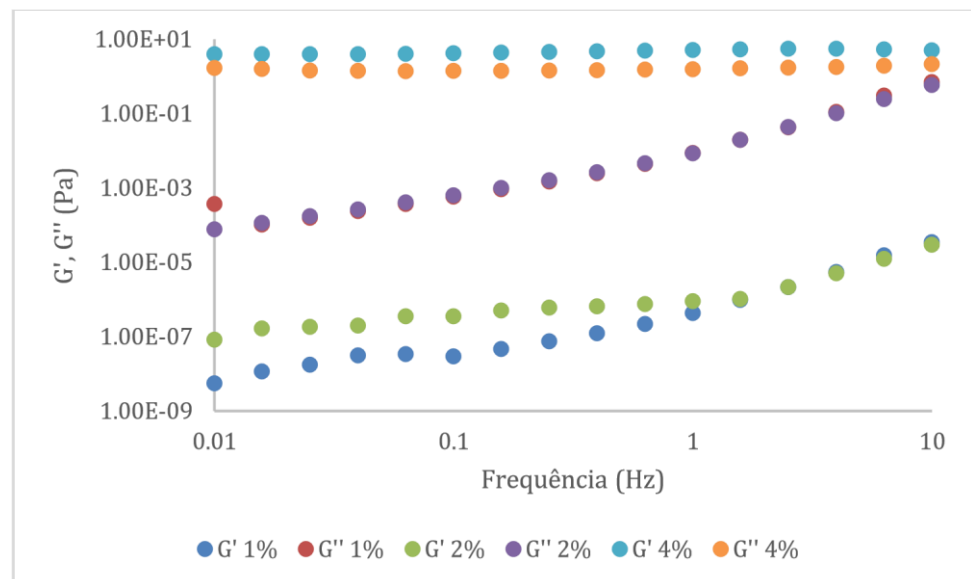
5.4 Análise de varredura de frequência

A análise dos dados de varredura de frequência foi necessária para determinar a dependência do comportamento dos módulos elástico (G') e viscoso (G'') em relação à variação da frequência (Hz). Os resultados encontram-se apresentados na Figura 2.

No que diz respeito às suspensões proteicas com concentração de 1% m/m e 2% m/m, nota-se que o módulo viscoso (G'') apresenta valores superiores ao módulo elástico (G') em todos os valores de frequência testados indicando, portanto, o comportamento mais viscoso do fluido, ou seja, com capacidade de dissipar energia. Este comportamento é característico de

soluções diluídas. Além disso, ambos os tratamentos apresentam um comportamento semelhante em relação ao crescimento constante dos módulos viscoso e elástico à medida que a frequência aumenta. No que se refere à suspensão proteica de 4% m/m, pode-se observar um comportamento inverso, onde G' foi maior do que G'' em toda a faixa de frequência testada, demonstrando um caráter mais elástico para o fluido, que sofre deformações parcialmente recuperáveis. Além disso, ambos os módulos permanecem paralelos durante toda a faixa de frequência. Este comportamento é característico de soluções concentradas. Para todos os tratamentos, não houve cruzamento entre G' e G'' durante os testes realizados.

Figura 3 - Curva de varredura de frequência das proteínas de OPN em suspensão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O estudo realizado por Takeuchi (2003) investigou o comportamento de sistemas compostos por proteínas do leite adicionadas de carragena e sacarose, por meio de uma varredura de frequência.

As formulações contendo menores concentrações de carragena apresentaram características típicas de uma solução diluída. No entanto, à medida que a concentração desta goma aumentou, formou-se uma rede tridimensional que conferiu características mais elásticas ao sistema, conferindo propriedades de um gel forte. Nesta última, os módulos de armazenamento (G') e de perda (G'') mostraram pouca dependência da frequência.

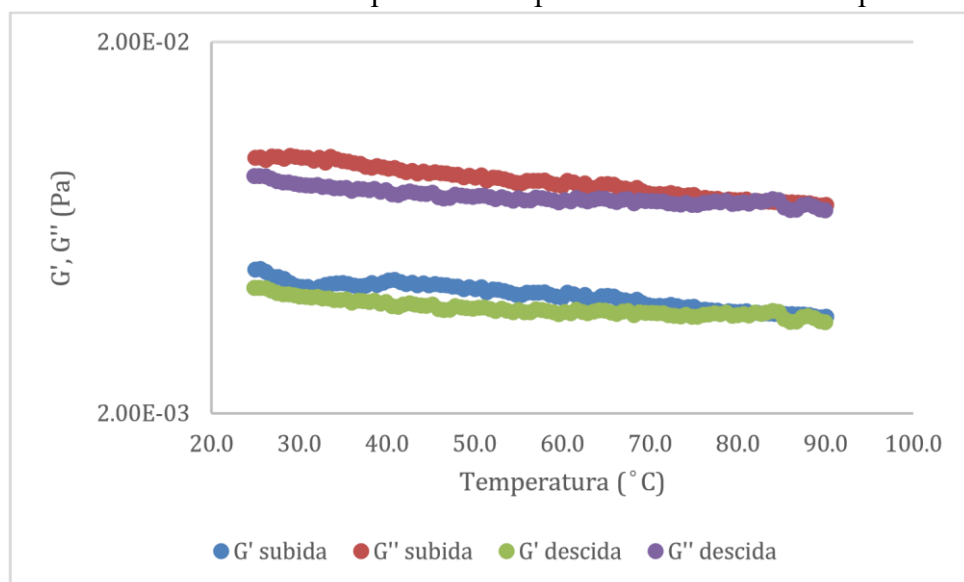
Esse comportamento também se assemelha à análise de varredura de frequência das proteínas de OPN, em que, a solução a 4% m/m apresentou maior concentração e,

consequentemente, mostrou uma tendência a um comportamento mais viscoelástico. Nesse contexto, o módulo (G') superou o módulo (G''), evidenciando um maior domínio da rigidez do material.

5.5 Análise de formação de gel induzida por calor ou ácido

A análise reológica de varredura de temperatura foi realizada apenas com a suspensão na concentração de 4% m/m, pois esta é a condição em que o conteúdo do fluido foi mais concentrado em proteínas de OPN. Logo, a partir da figura 3, é possível verificar que ambos os módulos, elástico (G') e viscoso (G''), apresentaram linearidade, permanecendo paralelos entre si durante toda a rampa de aquecimento e durante toda a rampa de resfriamento. Outra análise considerável a ser feita é que, em ambas as rampas de temperatura, o fluido permanece com $G'' > G'$. Isso significa um comportamento mais viscoso em detrimento do elástico, que dissipa parte da energia aplicada durante sua deformação. Por fim, é importante observar que não há cruzamento entre G' e G'' , sugerindo que a temperatura não favoreceu a formação de ligações intermoleculares entre as macromoléculas de hidrocoloides presentes no concentrado proteico, resultando na não formação da estrutura do gel, na concentração testada.

Figura 4 - Curva de varredura de temperatura das proteínas de OPN em suspensão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Além da rampa de temperatura, foram realizados testes para verificar a indução da gelificação ácida sobre as suspensões de proteína de OPN. Neste procedimento, o pH das

suspensões foi ajustado para 3,5, permanecendo sob armazenamento refrigerado a 8 °C por 24 horas. Entretanto, não foi observada a formação de estruturas com característica de gel.

Andrade *et al.* (2005) realizaram um estudo de geleificação induzida pelo calor de uma suspensão de proteínas do soro do leite na concentração de 10% (m/m) em água, em diferentes valores de pH (pH 4,0, 4,6 e 7,0). Os autores relataram a formação de géis autossustentáveis sob todas as condições usadas de pH, o que pode ter ocorrido devido à maior concentração de hidrocoloides no meio, em comparação com o presente trabalho.

6 CONCLUSÃO

A análise de composição centesimal realizada permitiu concluir que a composição da folha de OPN utilizada neste trabalho apresentou semelhanças com a literatura e as variações observadas foram correlacionadas ao clima, práticas agrícolas e manejo de colheita da planta. O pH de precipitação que resultou em maior rendimento de extração de proteínas de OPN a partir da farinha das folhas foi 3,5, o que foi atribuído a este valor ser próximo ao ponto isoelétrico destas proteínas, conforme relatado pela literatura. Os resultados reológicos indicaram que as suspensões proteicas nas concentrações de 1% m/m, 2% m/m e 4% m/m apresentaram características de comportamento newtoniano, ou seja, independentemente da variação da taxa de deformação aplicada, a viscosidade permanece constante. A viscosidade das suspensões aumentou com o incremento da concentração de proteínas. Além disso, as análises reológicas oscilatórias de frequência e temperatura demonstraram que as suspensões estudadas não apresentaram formação de gel pelo aquecimento/resfriamento do fluido, e nem pela acidificação do meio. Nos gráficos analisados, o comportamento viscoso sobrepõe-se ao elástico, caracterizando a dissipação de energia do fluido quando submetido ao cisalhamento.

Portanto, este trabalho permite concluir que a folha de OPN possui um notável potencial para aplicações futuras na indústria alimentícia, podendo ser empregada como uma valiosa fonte de proteína de origem vegetal para enriquecer produtos alimentícios. Contudo, para explorar seu potencial como agente de gelificação, seria necessário implementar tecnologias alternativas na composição das suspensões preparadas, como sua combinação com outras proteínas e/ou polissacarídeos de origem vegetal.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. E. F. ., JUNQUEIRA, A. M. B. ., SIMAO, A. A. . & CORRÊA, A. D. Caracterização química das hortaliças não-convencionais conhecidas como ora-pro-nobis | Bioscience Journal. Biosci. J. 30, 431–439 (2014).
- Andrade, Cristina T et al. Estudo reológico da gelificação induzida pelo calor de proteínas do soro do leite e dos géis resultantes sob condições variadas de pH. Scielo, [s. l.], jun 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/NxgcqLZ7zwHKVpCFCSnbHfG/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 19 jan. 2025.
- AOAC. The official methods of analysis of AOAC international. (Association of Official Analytical Chemistry., 2006).
- Barbalho, S. M. et al. Pereskia aculeata Miller Flour: Metabolic Effects and Composition. J. Med. Food 19, 890–894 (2016).
- Barreira, T. F., de PAULA FILHO, G. X., Priore, S. E., Santos, R. H. S. & Pinheiro-Sant'ana, H. M. Nutrient content in ora-pro-nóbis (Pereskia aculeata Mill.): unconventional vegetable of the Brazilian Atlantic Forest. Food Sci. Technol. 41, 47–51 (2020).
- Casanova, Frederico et al. Propriedades de gelificação coloidal e ácida de suspensões mistas de leite e proteína de ervilha. MDPI, [s. l.], 11 maio 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/10/1383>. Acesso em: 22 jan. 2025.
- Chang, L. et al. Plant proteins from green pea and chickpea: Extraction, fractionation, structural characterization and functional properties. Food Hydrocoll. 123, 107165 (2022).
- Cristina Oliveira Neves, I. et al. Amino acid-based hydrophobic affinity cryogel for protein purification from ora-pro-nobis (Pereskia aculeata Miller) leaves. J. Chromatogr. B 1161, 122435 (2020). da Silva Porto, F. G., Campos, Â. D., Carreño, N. L. V. & Garcia, I. T. S. Pereskia aculeata leaves: properties and potentialities for the development of new products. [https://doi-](https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1080/14786419.2021.2010070)org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1080/14786419.2021.2010070 (2021) doi:10.1080/14786419.2021.2010070.
- de Oliveira, H. A. B. et al. Nutritional value of non-conventional vegetables prepared by family farmers in rural communities. Ciência Rural 49, 8 (2019).

- Detzel, A. et al. Life cycle assessment of animal-based foods and plant-based protein-rich alternatives : an environmental perspective. *J. Sci. Food Agric.* (2021)
doi:10.1002/JSFA.11417.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H. & Patil, R. T. Dietary fibre in foods: a review. *J. FoodSci. Technol.* 2011 49, 255–266 (2011).
- Edwards, E. J. & Donoghue, M. J. *Pereskia* and the Origin of the Cactus Life-Form. *Am. Nat.* 167, 777–793 (2006).
- FAO, IFAD, UNICEF, W. and W. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. (FAO, 2021).
- Garcia, J. A. A. et al. Phytochemical profile and biological activities of ‘Ora-pro-nobis’ leaves (*Pereskia aculeata* Miller), an underexploited superfood from the Brazilian Atlantic Forest. *Food Chem.* 294, 302–308 (2019).
- Kumar, S. et al. Gelling properties of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae protein after ultrasound treatment. *Food Chem.* 386, 132826 (2022).
- Lewis, J. Codex nutrient reference values. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019).
- Lima Junior, F. A. et al. Response surface methodology for optimization of the mucilage extraction process from *Pereskia aculeata* Miller. *Food Hydrocoll.* 33, 38–47 (2013). Lin, J., Xiang, H., Sun-Waterhouse, D., Cui, C. & Wang, W. Deep eutectic solvents and alkaline extraction of protein from seabuckthorn seed meal: a comparison study. *Food Sci. Hum. Wellness* 11, 1028–1035 (2022).
- Ling, J. K. U. & Hadinoto, K. Deep Eutectic Solvent as Green Solvent in Extraction of Biological Macromolecules: A Review. *Int. J. Mol. Sci.* 2022, Vol. 23, Page 3381 23, 3381 (2022).
- Lise, C. C., Marques, C., da Cunha, M. A. A. & Mitterer-Daltoé, M. L. Alternative protein from *Pereskia aculeata* Miller leaf mucilage: technological potential as an emulsifier and fat replacement in processed mortadella meat. *Eur. Food Res. Technol.* 247, 851–863 (2021).
- Madeira, N. R.; amaro, G. B.; Melo, R. A. de C. E; Botrel, N.; Rochinski, E. Cultivo de Orapro-nóbis (*Pereskia*) em plantio adensado sob manejo de colheitas sucessivas. *Circular Técnica* 156. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/->

/publicacao/1066888/cultivo-de-ora-pro-nobis-pereskia-em-plantio-adensado-sob-manejo-decolheitas-sucessivas (2016).

Mariutti, L. R. B. et al. The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. *Food Res. Int.* 149, 110709 (2021).

Martin, A. A., de Freitas, R. A., Sasaki, G. L., Evangelista, P. H. L. & Sierakowski, M. R. Chemical structure and physical-chemical properties of mucilage from the leaves of *Pereskia aculeata*. *Food Hydrocoll.* 70, 20–28 (2017).

Morais, L. C. et al. Protein recovery from barbados gooseberry (*Pereskia aculeata* Miller) leaves by salting out and isoelectric precipitation. *Rev. Mex. Ing. Química* 18, 419–430 (2019).

Oliveira, I. C. et al. Colloidal and Acid Gelling Properties of Mixed Milk and Pea Protein Suspensions. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 1383 11, 1383 (2022).

Pereskia. The Plant List Version 1.1 <http://www.theplantlist.org/tp11.1/search?q=Pereskia> (2013).

Poore, J. & Nemecek, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* (80-.). 360, 987–992 (2018).

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. (2018).

Rosa, L., Queiroz, C. R. A. D. A. & Melo, C. M. T. Fresh leaves of ora-pro-nóbis in cakes prepared from commercial pre-mixture. *Biosci. J.* 36, 376–382 (2020).

Sato, R. et al. Nutritional improvement of pasta with *Pereskia aculeata* Miller: a non-conventional edible vegetable. *Food Sci. Technol.* 39, 28–34 (2018).

Silva, D. O. et al. Acute toxicity and cytotoxicity of *pereskia aculeata*, a highly nutritious cactaceae plant. *J. Med. Food* 20, 403–409 (2017).

Silva, D. O., Seifert, M., Schiedeck, G., Dode, J. S. & Nora, L. Phenological and physicochemical properties of *Pereskia aculeata* during cultivation in south Brazil. *Hortic. Bras.* 36, 325–329 (2018).

Silva, N. F. N. et al. Combined effect of transglutaminase and sodium citrate on the microstructure and rheological properties of acid milk gel. *Food Hydrocoll.* 82, 304–311 (2018).

Silva, S. H. et al. Freeze-dried Petit Suisse cheese produced with ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) biopolymer and carrageenan mix. *LWT* 149, 111764 (2021).

- Silveira, M. G., Picinin, C. T. R., Cirillo, M. Â., Freire, J. M. & Barcelos, M. D. F. P. Nutritional assay *Pereskia* spp.: unconventional vegetable. *An. Acad. Bras. Cienc.* 92, 1–16 (2020).
- Sobrinho, S. S.; Costa, L. L.; Gonçalves, C. A. A.; Campagnol, P. C. B. Emulsified cooked sausages enriched with flour from ora-pro-nobis leaves (*Pereskia aculeata* Miller). *Int. Food Res. J.* 22, 318–323 (2015).
- Souza, M. R. de M., Pereira, P. R. G., Pereira, R. G. F., Barbosa, I. de P. & Baracat-Pereira, M. C. Protein yield and mineral contents in *Pereskia aculeata* under high-density planting system. *Pesqui. Agropecuária Trop.* 50, 1–8 (2020).
- Souza, m. r. de m.; Pereira p. r. g.; Magalhães. de p. b.; Sedyama, m. a. n.; Vidigal, s.m.;Milagres, c.s.f.;Baracat-Pereira, M. c. Teores de minerais, proteína e nitrato em folhas de ora-pro-nobis submetido a adubação nitrogenada | Pesquisa Agropecuária Tropical. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 43–50 <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/37959> (2016).
- STEFFE, J. F. *Rheological methods in food process engineering*. 2. ed. East Lansing: Freeman Press, 1996.
- Subaşı, B. G. et al. Protein extracts from de-oiled sunflower cake: Structural, physico chemical and functional properties after removal of phenolics. *Food Biosci.* 38, 100749 (2020).
- Takeiti, C. Y., Antonio, G. C., Motta, E. M. P., Collares-Queiroz, F. P. & Park, K. J. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). *Int.J. Food Sci. Nutr.* 60, 148–160 (2009).
- Takeuchi, Katiuchia Pereira Takeuchi. *Análises reológicas e calorimétricas de sistemas modelo de proteínas do leite adicionados de carragena e sacarose*. Unicamp, [s. l.], março 2003.
- TELLES, C. C.; MATOS, J. M. de M.; MADEIRA, N. R.; MENDONCA, J. L. de; BOTREL, N.; JUNQUEIRA, A. M. R.; SILVA, D. B. da. *Pereskia aculeata: ora-pro-nobis*. in *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste* (ed. VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L.) 280– 289 (MMA, 2016).
- Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., Manners, R. & Detzel, A. Life cycle assessment of animal-based foods and plant-based protein-rich alternatives: a socio-economic perspective. *J. Sci. Food Agric.* (2021) doi:10.1002/JSFA.11655.
- Vieira, C. R., Grancieri, M., Martino, H. S. D., César, D. E. & Barra, R. R. S. A beverage containing ora-pro-nobis flour improves intestinal health, weight, and body composition: A double-blind randomized prospective study. *Nutrition* 78, 110869 (2020).

Walstra, P., Wouters, J. T. M. & Geurts, T. J. Dairy Science and Technology, Second Edition. (Taylor & Francis, 2010).

WHO; FAO; UNU. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. (WHO, 2007).