

# RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 03/04/2025.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de São José do Rio Preto

Maria Fernanda Ferreira de Jesus

**Desenvolvimento de filmes biodegradáveis utilizando  
amido de feijão-caupi e poli (álcool vinílico)**

São José do Rio Preto/SP  
2024

Maria Fernanda Ferreira de Jesus

**Desenvolvimento de filmes biodegradáveis utilizando  
amido de feijão-caupi e poli (álcool vinílico)**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de São José do Rio Preto/SP.

Financiadores:

CNPq - Proc.161923/2021-6

FAPESP - Proc. 2020/05254-4

Orientadora: Maria Aparecida Mauro

Coorientadora: Flávia Villas-Boas

São José do Rio Preto/SP

2024

J58d

Jesus, Maria Fernanda Ferreira de

Desenvolvimento de filmes biodegradáveis utilizando amido de feijão-caupi e poli  
(álcool vinílico) / Maria Fernanda Ferreira de Jesus. -- São José do Rio Preto, 2024  
100 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de  
Biotecnologia, São José do Rio Preto

Orientadora: Maria Aparecida Mauro

Coorientadora: Flávia Villas-Boas

1. fontes alternativas de amido. 2. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. 3. polímeros  
biodegradáveis. 4. embalagens alimentícias. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Instituto de Biotecnologia, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Maria Fernanda Ferreira de Jesus

**Desenvolvimento de filmes biodegradáveis utilizando  
amido de feijão-caupi e poli (álcool vinílico)**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de São José do Rio Preto/SP.

Financiadores:

CNPq - Proc.161923/2021-6

FAPESP - Proc. 2020/05254-4

Comissão Examinadora

Prof. Dra. Maria Aparecida Mauro  
UNESP – São José do Rio Preto/SP  
Orientadora

Prof. Dra. Ellen Silva Lago Vanzela  
UNESP – São José do Rio Preto/SP

Dr. Josemar Gonçalves de Oliveira Filho  
EMBRAPA Instrumentação – São Carlos/SP

São José do Rio Preto/SP  
03 de abril de 2024

*Para meu avô Nelsio e minha irmã Dudu*

## AGRADECIMENTOS

Este projeto foi realizado através de diversas colaborações e, por isso, agradeço: à Manu, minha aluna de iniciação científica, que me ajudou muitas vezes no laboratório; ao técnico Luiz, pela gentileza e disponibilidade de ajudar quando precisei; ao professor Javier Telis Romero, pelo empréstimo das peneiras utilizadas na extração do amido; às professoras Andrea Carla da Silva Barreto, Ellen Silva Lago Vanzela e Vânia Regina Nicoletti, que me permitiram realizar parte das análises de composição centesimal em seus laboratórios; aos professores Ana Carolina Conti e Maurício Boscolo, respectivamente, pela utilização do texturômetro na determinação das propriedades mecânicas e espectrômetro de infravermelho; ao professor Ivo Mottin Demiate, vinculado à Universidade Estadual de Ponta Grossa, pelo auxílio nas análises de teor de amilose e digestibilidade; à Cláudia Maria Toffanelli Fiorillo (FCAV/UNESP) e à Sônia Maria Zanetti (IQ/UNESP), pela colaboração nas análises de microscopia; à Christiane Quartaroli Moreira (CETEA/ITAL), pela colaboração nas análises de permeabilidade ao oxigênio; à Flávia, pela coorientação durante este período; e à Cida, pelo apoio imprescindível em todas as etapas do projeto.

Aproveito para agradecer ao Víctor, Diego, Maisa e Mari, que compartilharam muitas dicas e ensinamentos comigo; e àqueles que tornaram o mestrado mais divertido, Kalisa, Leda, Danubia, Marcello, Maju, Micael, Marcinho e Carol.

Agradeço carinhosamente aos meus amigos Oneide, Veronica e Noel, pelas conversas, conselhos, risadas e por estarem comigo nesta caminhada.

Meus agradecimentos se estendem ao CNPq (Processo nº 161923/2021-6) pela bolsa de pesquisa concedida e à FAPESP (Processo nº 2020/05254-4) pelo suporte financeiro neste trabalho.

## RESUMO

A indústria alimentícia é responsável por, aproximadamente, 40% de embalagens plásticas provenientes de fontes não-renováveis e não-biodegradáveis, contribuindo diretamente na geração de resíduos ambientais. Neste sentido, embalagens provenientes de fontes renováveis e biodegradáveis, como o amido de feijão-caupi, podem minimizar impactos ambientais. Existem alguns desafios na elaboração de materiais à base de amido, devido a suas baixas propriedades mecânicas e elevada higroscopicidade. A incorporação de poli (álcool vinílico), também conhecido por PVA, pode propiciar a formação de filmes biodegradáveis mais coesos, melhorando propriedades mecânicas e de permeabilidade. Este trabalho teve o objetivo de desenvolver filmes de amido de feijão-caupi e PVA, buscando avaliar propriedades relevantes para aplicações no setor de embalagens. A extração do amido de feijão-caupi foi realizada via moagem úmida, sendo que análises de composição centesimal e morfológicas indicaram a obtenção de um amido com elevado grau de pureza. O espectro de raios-X foi consistente com o perfil de amido nativo de feijão-caupi maduro. As propriedades de pasta mostraram viscosidades e temperatura de pasta relativamente altas, assim como os teores de amilose e amido resistente. Foram elaboradas 5 formulações de filmes com diferentes proporções de amido:PVA, sendo denominadas F1 (100:0), F2 (75:25), F3 (50:50), F4 (25:75) e F5 (0:100). As formulações com amido tiveram acréscimo de 20% de glicerol em relação à massa de amido. As espessuras apresentaram valores próximos (0,064 – 0,069 mm), indicando uma boa uniformidade entre os diferentes filmes. O filme composto apenas por PVA apresentou maior solubilidade em relação aos demais. Os filmes apresentaram permeabilidades ao vapor de água na ordem de magnitude de  $10^{-10}$  g·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>·Pa<sup>-1</sup> e excelentes permeabilidades ao oxigênio, na ordem de  $10^{-18}$  g·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>·Pa<sup>-1</sup>. A maior permeabilidade ao oxigênio do filme F2(75:25) foi confirmada por sua morfologia, que apresentou aspecto poroso em relação aos demais. A adição de PVA aumentou a resistência à tração (de 8,08 a 29,84 MPa) e a deformação na ruptura (de 4,85 a 139,13 %). Os espectros de infravermelho dos filmes mostraram alterações na intensidade de bandas relativas à interação entre os componentes e a morfologia mostrou filmes coesos e ausência de separação de fases. Além disso, o perfil de raios-X elucidou a perda do caráter cristalino do amido nos filmes, sendo que as isotermas apontaram maior higroscopicidade do amido em comparação com o PVA e adequação ao modelo de GAB.

**Palavras-chave:** fontes alternativas de amido; *Vigna unguiculata* (L.) Walp; polímeros biodegradáveis; embalagens alimentícias.

## ABSTRACT

The food industry is responsible for approximately 40% of plastic packaging from non-renewable and non-biodegradable sources, directly contributing to the generation of environmental waste. In this sense, packaging made from renewable and biodegradable sources, such as cowpea starch, can minimize environmental impacts. There are some challenges in the development of starch-based materials, due to their low mechanical properties and high hygroscopicity. The incorporation of poly (vinyl alcohol), also known as PVA, can allow the formation of more cohesive biodegradable films, improving mechanical and permeability properties. This work aimed to develop cowpea starch and PVA films, and to evaluate their relevant properties for packaging applications. The extraction of cowpea starch was carried out via wet grinding, and the proximate composition and morphological analyses indicated the obtaining of a starch with a high degree of purity. The X-ray spectrum was consistent with the native starch profile of mature cowpea. Pasting properties showed relatively high viscosities and pasting temperatures, as well as amylose and resistant starch contents. Five film formulations were prepared with different starch:PVA ratios, named F1 (100:0), F2 (75:25), F3 (50:50), F4 (25:75) and F5 (0:100) . Formulations containing starch had an addition of 20% in glycerol relatively to the mass of the starch. The thicknesses presented close values (0.064 – 0.069 mm), indicating good uniformity between the different films. The film composed only of PVA showed a higher solubility compared to the others. The films showed water vapor permeabilities in the order of  $10^{-10} \text{ g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$  and excellent oxygen permeability, in the order of  $10^{-18} \text{ g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ . The higher oxygen permeability of the F2 film (75:25) was confirmed by its morphology, which presented a more porous appearance compared to the others. The addition of PVA increased the tensile strength (from 8.08 to 29.84 MPa) and the deformation at break (from 4.85 to 139.13%). The infrared spectra of the films showed changes in the intensity of bands related to the interaction between the components and the morphology showed cohesive films and absence of phase separation. Furthermore, the X-ray profile elucidated the loss of the crystalline character of the starch in the films, with the isotherms indicating greater hygroscopicity of the starch in comparison to PVA and suitability for the GAB model.

**Keywords:** alternative sources of starch; *Vigna unguiculata* (L.) Walp; biodegradable polymers; food packaging.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Folhas, vagens e grãos de feijão-caupi.....	17
Figura 2. Representação de fragmentos de amilose (superior) e amilopectina (inferior).....	19
Figura 3. Estruturas moleculares do glicerol (à esquerda) e sorbitol (à direita).....	23
Figura 4. Esquema de síntese do PVA – primeira etapa.....	24
Figura 5. Esquema de síntese do PVA – segunda etapa.....	25
Figura 6. Esquema de síntese do PVA – terceira etapa.....	25
Figura 7. Interação de moléculas de amido e PVA por ligações de hidrogênio.....	27
Figura 8. Esquema das etapas de extração do amido de feijão-caupi.....	29
Figura 9. Preparo de amostra para avaliação das propriedades mecânicas em texturômetro.....	40
Figura 10. Acondicionamento das amostras para determinação das isotermas de sorção.....	43
Figura 11. Etapas iniciais e finais da centrifugação – (a) antes e (b) após obtenção do precipitado.....	46
Figura 12. Morfologia de amido de feijão-caupi em ampliações de (a) 1000× e (b)2000×.....	48
Figura 13. Padrão de raios-X de grânulos de amido de feijão-caupi.....	49
Figura 14. Propriedades viscoamilográficas de amido de feijão-caupi.....	51
Figura 15. Teste preliminar de filme de amido na concentração de 4% com glicerol.....	55
Figura 16. Testes preliminares de filmes de amido nas concentrações de 2,0 e 2,5% com glicerol.....	56
Figura 17. Testes preliminares de filmes de PVA nas concentrações de 2,5, 3,0 e 4,0%.....	58
Figura 18. Filmes <i>blends</i> em diferentes proporções de amido:PVA adicionadas de glicerol.....	58

Figura 19. Espectros de raios-X dos filmes elaborados de amido de feijão-caupi e PVA.....	63
Figura 20. Microscopia de filmes de amido de feijão-caupi e PVA – superfície em ampliação de (a) 250× e corte transversal em ampliações de (b) 2.500× e (c) 5.000×.....	66
Figura 21. Espectros de FTIR para os componentes amido, glicerol e PVA.....	67
Figura 22. Espectros de FTIR para os filmes controles e <i>blends</i> de amido e PVA.....	69
Figura 23. Isotermas de sorção de filmes de amido de feijão-caupi e PVA a 25 °C.....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química de grãos de feijão-caupi verde e maduro.....	18
Tabela 2. Quantidades de amilose e amilopectina em diferentes tipos de amido.....	20
Tabela 3. Composição química das principais fontes convencionais de amido.....	21
Tabela 4. Composição de amido, glicerol e PVA nas soluções filmogênicas.....	36
Tabela 5. Denominação dos tratamentos e proporção de amido:PVA nas formulações.....	36
Tabela 6. Umidade relativa das soluções salinas acondicionadas em temperatura de 25 °C.....	43
Tabela 7. Composição centesimal do amido de feijão-caupi.....	47
Tabela 8. Viscosidades da pasta de amido de feijão-caupi.....	52
Tabela 9. Frações de amido em relação à digestão <i>in-vitro</i> e teor de amilose.....	53
Tabela 10. Espessura, umidade e solubilidade dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA.....	59
Tabela 11. Parâmetros relacionados à cor dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA.....	61
Tabela 12. Propriedades mecânicas dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA.....	70
Tabela 13. Permeabilidade ao vapor de água dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA.....	72
Tabela 14. Permeabilidade ao oxigênio dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA.....	74
Tabela 15. Parâmetros relacionados ao modelo de GAB, R <sup>2</sup> e P(%).....	77

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	16
<b>2.1.Objetivos gerais</b> .....	16
<b>2.2.Objetivos específicos</b> .....	16
<b>3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>3.1.Feijão-caupi</b> .....	17
<b>3.2.Amido</b> .....	19
<b>3.3.Filmes biodegradáveis de amido</b> .....	22
<b>3.4.Poli (álcool vinílico)</b> .....	24
<b>3.5.Filmes biodegradáveis de amido e PVA</b> .....	26
<b>4.MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	29
<b>4.1.Materiais</b> .....	29
<b>4.2.Extração do amido de feijão-caupi</b> .....	29
<b>4.3.Caracterização do amido de feijão-caupi</b> .....	30
4.3.1.Composição centesimal.....	31
4.3.1.1.Umidade.....	31
4.3.1.2.Lipídios.....	31
4.3.1.3.Proteínas.....	32
4.3.1.4.Cinzas.....	33
4.3.2.Microscopia eletrônica de varredura.....	33
4.3.3.Difração de raios-X.....	33
4.3.4.Propriedades de pasta.....	34
4.3.5.Teor de amilose.....	34
4.3.6.Digestibilidade.....	34
<b>4.4.Elaboração dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA</b> .....	34
<b>4.5.Caracterização dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA</b> .....	37
4.5.1.Espessura e umidade.....	37
4.5.2.Solubilidade.....	37
4.5.3.Cor.....	38
4.5.4.Difração de raios-X.....	39
4.5.5.Microscopia eletrônica de varredura.....	39
4.5.6.Espectroscopia de infravermelho.....	39

4.5.7. Propriedades mecânicas.....	39
4.5.8. Permeabilidade ao vapor de água.....	41
4.5.9. Permeabilidade ao oxigênio.....	41
4.5.10. Isotermas de sorção.....	42
4.6. Análise Estatística.....	44
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>5.1. Extração do amido de feijão-caupi .....</b>	<b>45</b>
<b>5.2. Caracterização do amido de feijão-caupi.....</b>	<b>47</b>
5.2.1. Composição centesimal.....	47
5.2.2. Microscopia eletrônica de varredura.....	47
5.2.3. Difração de raios-X.....	49
5.2.4. Propriedades de pasta.....	50
5.2.5. Teor de amilose e digestibilidade.....	53
<b>5.3. Elaboração dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA.....</b>	<b>54</b>
<b>5.4. Caracterização dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA.....</b>	<b>59</b>
5.4.1. Espessura, umidade e solubilidade.....	59
5.4.2. Cor.....	61
5.4.3. Difração de raios-X.....	62
5.4.4. Microscopia eletrônica de varredura.....	64
5.4.5. Espectroscopia de infravermelho.....	67
5.4.6. Propriedades mecânicas.....	70
5.4.7. Permeabilidade ao vapor de água.....	72
5.4.8. Permeabilidade ao oxigênio.....	73
5.4.9. Isotermas de sorção.....	75
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>78</b>
<b>PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de plásticos, somente em 2019, atingiu aproximadamente 370 milhões de toneladas (VIEIRA et al., 2022). A crescente demanda pelos plásticos ocorre devido à sua versatilidade, durabilidade, boas propriedades térmicas e fácil processamento, com aplicações domésticas e industriais (SOARES et al., 2021). Entretanto, estima-se que até 99% dos plásticos são provenientes de fontes petrolíferas, como petróleo, carvão e gás natural, podendo permanecer no meio ambiente por vários anos (KASAVAN et al., 2021).

Após serem descartados, os resíduos podem decompor-se em partículas menores, formando microplásticos que podem carregar metais pesados e outros compostos tóxicos, prejudicando propriedades químicas e biológicas da água e do solo. Algumas alternativas como reciclagem e incineração podem reduzir a quantidade de resíduos, mas somente 27,2% e 36,4% conseguem ser reciclados e incinerados, respectivamente. Além disso, a incineração produz outros poluentes ambientais, como dióxido de carbono e óxidos de enxofre e nitrogênio (LIM; AHN; KIM, 2023).

A indústria de embalagens é o setor que mais utiliza plásticos, destacando-se na geração de resíduos. Somente em 2015, cerca de 40% dos plásticos produzidos mundialmente foram utilizados na fabricação de embalagens (PINCELLI et al., 2021). Neste sentido, é necessário buscar outras embalagens ecologicamente sustentáveis, como embalagens à base de polissacarídeos, proteínas e polímeros biodegradáveis (AMADO; SILVA; MAURO, 2020).

No desenvolvimento de filmes biodegradáveis, o celofane teve contribuição importante por ser transparente, flexível e com boas propriedades mecânicas. Em 1970, o amido foi introduzido em matrizes poliméricas sintéticas que geravam plásticos biofragmentáveis, mas não totalmente biodegradáveis. Posteriormente, na década de 1990, o amido ganhou destaque e impulsionou o desenvolvimento de materiais termoplásticos formados essencialmente por amido (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

O amido é uma macromolécula que consegue formar matrizes poliméricas contínuas, possui baixo custo e atoxicidade, formando filmes e revestimentos para alimentos, retardando o processo natural de amadurecimento, impedindo crescimento microbiano e aumentando a vida útil de prateleira (LUCIANO; CHACON; VALENCIA, 2022).

Existem diversas fontes de amido, como arroz, batata, mandioca, milho, trigo, cevada, aveia, ervilha, soja, grão de bico, lentilha e feijões. Dentre os maiores produtores, destacam-se os Estados Unidos, Europa e Ásia e atualmente 52% da produção mundial é utilizada na

confeção de doces, bebidas e outros industrializados, enquanto 48% são destinados para indústrias não-alimentícias (BASHIR; AGGARWAL, 2019).

As leguminosas, por sua vez, possuem amido lentamente digerível, melhorando índices glicêmicos e sendo alternativa de consumo mais saudável em comparação com amido de cereais ou tubérculos (KIM; WOO; CHUNG, 2018). O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) apresenta cerca de 52 g/100 g de amido em suas sementes, sendo considerado uma fonte alternativa de amido e podendo encontrar aplicações na indústria alimentícia e na elaboração de filmes e revestimentos para alimentos (ADEBOOYE; SINGH, 2008).

Existem algumas limitações em materiais à base de amido, visto que são frágeis e possuem baixas propriedades mecânicas e de barreira. Porém, é possível combiná-lo com outros materiais poliméricos que melhorem suas propriedades, tais como PVA, poli (ácido láctico), quitosana e celulose (HOU et al., 2023; MARY et al., 2022; ASHORI; BAHRAMI, 2014).

Dentre as combinações mais utilizadas, destacam-se *blends* de amido e PVA para elaboração de embalagens e aplicações agrícolas (TANG et al., 2008). O PVA apresenta biodegradabilidade e atoxicidade, sendo capaz de formar filmes com boas propriedades mecânicas e de barreira ao oxigênio (MIGLIORANZA et al., 2021). A compatibilidade do PVA na matriz polimérica de amido pode ainda reduzir a permeabilidade ao vapor de água e melhorar a resistência dos filmes (LIMA et al., 2017; FARIA; VERCELHEZE; MALI, 2012; SREEKUMAR; AL-HARTHI; DE, 2012).

No entanto, ainda não foram encontrados na literatura estudos utilizando o amido de feijão-caupi e PVA para aplicações em embalagens de alimentos. Por essa razão, este trabalho se propôs a avaliar a associação de amido de feijão-caupi com PVA para a elaboração de filmes biodegradáveis, buscando contribuir com o setor de embalagens alimentícias.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela metodologia de extração do amido de feijão-caupi, obteve-se um amido puro e com baixos valores de cinzas, proteínas e lipídios. A microscopia evidenciou grânulos de amido uniformizados, sem pontos de fissura e deformações, confirmando o elevado teor de pureza e eficiência no processo de extração. Conforme esperado, o padrão de raios-X e o índice de cristalinidade foram típicos para amido nativo proveniente de leguminosas, considerando-se possíveis diferenças na origem, formas de cultivo e amadurecimento do grão. As propriedades de pasta mostraram valores relativamente altos de viscosidade, tendência à retrogradação e temperatura de pasta. Além disso, o teor de amilose e a fração de amido resistente foram bastante expressivos, e tais características evidenciam um forte potencial do amido de feijão-caupi para aplicações na indústria alimentícia, seja para incorporar formulações enquanto aditivo ou destinado à elaboração de filmes e revestimentos para embalagens.

Na elaboração dos filmes de amido de feijão-caupi e PVA, observou-se uniformidade na espessura e aspectos visuais homogêneos, sem presença de rachaduras e outras deformações na superfície que poderiam danificar sua integridade. Os espectros de raios-X evidenciaram diferenças substanciais entre o filme composto por amido (F1/100:0) e o composto apenas por PVA (F5/0:100), sugerindo que a amorfização parcial dos grânulos de amido durante o preparo de sua solução conferiu menor cristalinidade aos filmes, enquanto o PVA conferiu maior cristalinidade. Os espectros de FTIR dos filmes mostraram a maioria das bandas nas mesmas regiões, sendo que os filmes que continham amido e PVA apresentaram menores intensidades de bandas características de ligações de grupos hidroxila, indicando interações entre os dois polímeros através de ligações de hidrogênio. A morfologia também demonstra a compatibilidade entre os polímeros, exibindo um aspecto homogêneo e contínuo nas imagens microscópicas das superfícies.

A capacidade de sorção de água indicou maior higroscopicidade para formulações contendo mais amido. Em geral, as solubilidades foram baixas, com exceção do filme composto apenas por PVA (F5/0:100). As permeabilidades ao vapor de água diminuíram conforme a proporção de PVA aumentou nos filmes. As permeabilidades ao oxigênio foram excelentes em todos os filmes, sendo que os menores valores foram observados nas formulações *blends* F3 (50:50) e F4 (25:75). A resistência à tração e a deformação na ruptura aumentaram conforme o PVA foi adicionado na matriz polimérica, evidenciando que o PVA pode melhorar consideravelmente a resistência e a flexibilidade de filmes à base de amido.

Considerando-se conjuntamente a resistência mecânica e as permeabilidades ao vapor de água e ao oxigênio, é possível afirmar que a combinação de amido de feijão-caupi e PVA possui potencial na elaboração de filmes biodegradáveis destinados à conservação de alimentos, sendo que as formulações F3 (50:50) e F4 (25:75) apresentaram um desempenho levemente superior ao filme com menor teor de PVA, isto é, F2 (75:25).

## **PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS**

Em relação ao amido de feijão-caupi, sugere-se investigar suas potencialidades como aditivo alimentar, principalmente em produtos que são adicionados de amido modificado, como pães, molhos de tomate, requeijão, iogurtes, bebidas lácteas, dentre outros. Existe uma demanda crescente para atender as exigências de consumidores que buscam alimentos naturais, funcionais e que não ofereçam riscos à saúde. Neste cenário, a substituição de amidos modificados pelo amido de feijão-caupi pode ser uma alternativa viável, inclusive para aplicações em alimentos *plant-based*.

Para os filmes elaborados de amido de feijão-caupi e PVA sugere-se que seja feito um estudo sobre a aplicabilidade destes filmes, avaliando-se a conservação de alimentos que possuem baixos teores de água e maior susceptibilidade à oxidação lipídica como, por exemplo, frutas desidratadas e oleaginosas. Além disso, sugere-se incorporar substâncias bioativas aos filmes e avaliar sua funcionalidade na conservação de alimentos.

## REFERÊNCIAS

AACC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. Saint Paul, MN: **American Association of Cereal Chemists**, 2000.

ABDOLLAHI, M.; REZAEI, M.; FARZI, G. Improvement of active chitosan film properties with rosemary essential oil for food packaging. **International journal of food science & technology**, v. 47, n. 4, p. 847-853, 2012.

ABDULLAH, Z. W.; DONG, Y.; HAN, N.; LIU, S. Water and gas barrier properties of polyvinyl alcohol (PVA)/starch (ST)/glycerol (GL)/halloysite nanotube (HNT) bionanocomposite films: Experimental characterisation and modelling approach. **Composites Part B: Engineering**, v. 174, p. 107033, 2019.

ABEBE, B. K.; ALEMAYEHU, M. T. A review of the nutritional use of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) for human and animal diets. **Journal of Agriculture and Food Research**, p. 100383, 2022.

ABEDI-FIROOZJAH, R.; CHABOOK, N.; ROSTAMI, O.; HEYDARI, M.; KOLAHDOUZ-NASIRI, A.; JAVANMARDI, F.; ABDOLMALEKI, K.; KHANEGHAH, A. M. PVA/starch films: An updated review of their preparation, characterization, and diverse applications in the food industry. **Polymer testing**, v. 118, p. 107903, 2023.

ABU, J. O.; DUODU, K. G.; MINNAAR, A. Effect of  $\gamma$ -irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) starch. **Food Chemistry**, v. 95, n. 3, p. 386-393, 2006.

ACEVEDO, B. A.; VILLANUEVA, M.; CHAVES, M. G.; AVANZA, M. V.; RONDA, F. Modification of structural and physicochemical properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) starch by hydrothermal and ultrasound treatments. **Food Hydrocolloids**, v. 124, p. 107266, 2022.

ADEBOOYE, O. C.; SINGH, V. Physico-chemical properties of the flours and starches of two cowpea varieties (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 9, n. 1, p. 92-100, 2008.

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders. Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 297-307, 2004.

AMADO, L. R.; SILVA, K. S.; MAURO, M. A. Effects of interactions between soy protein isolate and pectin on properties of soy protein-based films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 137, n. 21, p. 48732, 2020.

AMBIGAIPALAN, P.; HOOVER, R.; DONNER, E.; LIU, Q.; JAISWAL, S.; CHIBBAR, R.; NANTANGA, K. K. M.; SEETHARAMAN, K. Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties. **Food Research International**, v. 44, n. 9, p. 2962-2974, 2011.

ANNISON, G.; TOPPING, D. L. Nutritional role of resistant starch: chemical structure vs physiological function. **Annual review of nutrition**, v. 14, n. 1, p. 297-320, 1994.

AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. In: W. Horwitz (Ed.), Method 926.12 (Chapter 33, pp. 5). Arlington: A.O.A.C, 1995.

APRIYANTO, A.; COMPART, J.; FETTKE, J. A review of starch, a unique biopolymer-structure, metabolism and *in planta* modifications. **Plant Science**, v. 318, p. 111223, 2022.

ARANHA, I. B.; LUCAS, E. F. Poli (álcool vinílico) modificado com cadeias hidrocarbônicas: avaliação do balanço hidrófilo/lipófilo. **Polímeros**, v. 11, p. 174-181, 2001.

ASHORI, A.; BAHRAMI, R. Modification of physico-mechanical properties of chitosan-tapioca starch blend films using nano graphene. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, v. 53, n. 3, p. 312-318, 2014.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D882-12**: Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting, West Conshohocken, PA, 2012.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E96-95**: Standard test methods of water vapor transmission of materials. In: Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM F1927-20**: Standard test method for determination of oxygen gas transmission rate, permeability and performance at controlled relative humidity through barrier materials using a coulometric detector. West Conshohocken, PA, 2020.

BAEK, S. K.; KIM, S.; SONG, K. B. Cowpea starch films containing maqui berry extract and their application in salmon packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 22, p. 100394, 2019.

BANGAR, S. P.; WHITESIDE, W.S.; ASHOGBON, A.O.; KUMAR, M. Recent advances in thermoplastic starches for food packaging: A review. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 30, p. 100743, 2021.

BASHIR, K.; AGGARWAL, M. Physicochemical, structural and functional properties of native and irradiated starch: a review. **Journal of food science and technology**, v. 56, n. 2, p. 513-523, 2019.

BELLELLI, M.; LICCIARDELLO, F.; PULVIRENTI, A.; FAVA, P. Properties of poly (vinyl alcohol) films as determined by thermal curing and addition of polyfunctional organic acids. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 18, p. 95-100, 2018.

BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E.; VERNON-CARTER, E. J. Effect of water activity on the stability to oxidation of spray-dried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (*Prosopis juliflora*) as wall material. **Journal of food science**, v. 67, n. 1, p. 206-211, 2002.

BETANCUR-ANCONA, D.; GALLEGOS-TINTORÉ, S.; CHEL-GUERRERO, L. Wet-fractionation of *Phaseolus lunatus* seeds: partial characterization of starch and protein. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, n. 10, p. 1193-1201, 2004.

BORTOLATTO, R.; BITTENCOURT, P. R. S.; YAMASHITA, F. Biodegradable starch/polyvinyl alcohol composites produced by thermoplastic injection containing cellulose extracted from soybean hulls (*Glycine max* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 176, p. 114383, 2022.

BURRELL, M. M. Starch: the need for improved quality or quantity—an overview. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 382, p. 451-456, 2003.

CANO, A. I.; CHÁFER, M.; CHIRALT, A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Physical and microstructural properties of biodegradable films based on pea starch and PVA. **Journal of Food Engineering**, v. 167, p. 59-64, 2015.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420-428, 2005.

ÇAY, A.; KUMBASAR, P. A.; KESKIN, Z.; AKDUMAN, Ç.; ÜRKMEZ, A. S. Crosslinking of poly (vinyl alcohol) nanofibres with polycarboxylic acids: biocompatibility with human skin keratinocyte cells. **Journal of Materials Science**, v. 52, n. 20, p. 12098-12108, 2017.

CHAN, L.W.; HAO, J.S.; HENG, P.W.S. Evaluation of permeability and mechanical properties of composite polyvinyl alcohol films. **Chemical and pharmaceutical bulletin**, v. 47, n. 10, p. 1412-1416, 1999.

CHENG, H.; CHEN, L.; MCCLEMENTS, D. J.; YANG, T.; ZHANG, Z.; REN, F.; MIAO, M.; TYAN, Y.; JIN, Z. Starch-based biodegradable packaging materials: a review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 114, p. 70-82, 2021.

CHIELLINI, E.; CORTI, A.; D'ANTONE, S.; SOLARO, R. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials. **Progress in Polymer science**, v. 28, n. 6, p. 963-1014, 2003.

CHINMA, C. E.; ABU, J. O.; JAMES, S.; IHEANACHO, M. Chemical, functional and pasting properties of defatted starches from cowpea and soybean and application in stiff porridge preparation. **Nigerian Food Journal**, v. 30, n. 2, p. 80-88, 2012.

CHOKBORIBAL, J.; NANTACHAI, T.; JONGNIMITPHAIBOON, K.; CHUMPRASERT, S.; SUCHAIYA, V. Tapioca starch/PVA plastic films with water hyacinth powder: enhanced stability in direct contact with moisture. **Materials Today: Proceedings**, v. 65, p. 2380-2388, 2022.

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1527-1534, 2009.

COSTA, D. M. A.; SANTOS, A. F.; SILVA, E. D.; SILVA, I. A. Desenvolvimento e caracterização de filmes à base de amido de feijão macáçar (*Vigna unguiculata* (L.) Wap). **Holos**, v. 7, p. 2-16, 2017.

COSTA, D. M. A.; SILVA, L. A.; LIMA, M. T. J. Caracterização de blendas de amido de feijão macáçar, quitosana e glicerol. **Holos Environment**, v. 18, n. 2, p. 207-226, 2018.

CUQ, B.; GONTARD, N.; GUILBERT, S. Proteins as agricultural polymers for packaging production. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 1, p. 1-9, 1998.

CUQ, B.; GONTARD, N.; CUQ, J. L.; GUILBERT, S. Rheological model for the mechanical properties of myofibrillar protein-based films. **Journal Agriculture Food Chemical**, v. 44, p. 1116-1122, 1996.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2010. p.108-109.

DEMERLIS, C. C.; SCHONEKER, D. R. Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). **Food and Chemical Toxicology**, v. 41, n. 3, p. 319-326, 2003.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 945-954, 2009.

DU, S. K.; JIANG, H.; AI, Y.; JANE, J. L. Physicochemical properties and digestibility of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 108, p. 200-205, 2014.

EL FAKI, H. A.; DESIKACHAR, H. S. R.; PARAMAHANS, S. V.; THARANATHA, R. N. Physico-chemical characteristics of starches from chick pea, cow pea and horse gram. **Starch-Stärke**, v. 35, n. 4, p. 118-122, 1983.

ELIZONDO, N. J.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. Development of films based on blends of Amaranthus cruentus flour and poly (vinyl alcohol). **Carbohydrate Polymers**, v. 75, n. 4, p. 592-598, 2009.

EMBRAPA. **Feijão-caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008, p.13.

EMBRAPA. **Perfil viscoamilográfico de amidos isolados de híbridos de milho**. Minas Gerais: Embrapa Milho e Sorgo, 2021, p.13.

EMBRAPA. **Teor e caracterização do amido de genótipos de mandioca em diferentes idades de colheita**. Bahia: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2023, p.23.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European journal of clinical nutrition**, v. 46, p. S33-50, 1992.

FAKHOURI, F. M. **Coberturas comestíveis aplicadas na preservação de goiabas *in natura* (*Psidium guajava* L.)**. 2002. 129 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição – Área de Nutrição Aplicada à Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

FARIA, F. O.; VERCELHEZE, A. E. S.; MALI, S. Propriedades físicas de filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, álcool polivinílico e montmorilonita. **Química Nova**, v. 35, p. 487-492, 2012.

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

FIGUEROA, A. M. **Caracterização de amidos obtidos de diferentes feijões e sua aplicação em filmes biodegradáveis**. 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

FRANCO, C. M. L.; WONG, K. S.; YOO, S.; JANE, J. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 79, n. 2, p. 243-248, 2002.

GABAS, A. L.; MENEGALLI, F. C.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption enthalpy-entropy compensation based on isotherms of plum skin and pulp. **Journal of food science**, v. 65, n. 4, p. 680-680, 2000.

GADHAVE, R. V.; MAHANWAR, P. A.; GADEKAR, P. T.; KASBE, P. S. A study on the effect of starch–polyvinyl alcohol blends by addition of citric acid and boric acid for enhancement in performance properties of polyvinyl acetate-based wood adhesive. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 17, p. 9-20, 2020.

GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BULÉON, A.; PÉREZ, S. Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, n. 2, p. 3-16, 1992.

GALUS, S.; LENART, A. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 4, p. 459-465, 2013.

GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 941-944, 2000.

GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J. L.; GUILBERT, S. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 29, n. 1, p. 39-50, 1994.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 1, p. 206-211, 1993.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards - A Physics and Chemistry**, v. 81A, n. 1, p. 89-96, 1977.

GUERRERO, P.; RETEGI, A.; GABILONDO, N.; DE LA CABA, K. Mechanical and thermal properties of soy protein films processed by casting and compression. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 1, p. 145-151, 2010.

GUILBERT, S.; GONTARD, N.; CUQ, B. Technology and applications of edible protective films. **Packaging Technology and Science**, v. 8, n. 6, p. 339-346, 1995.

HAGHIGHI, H.; LEUGOUE, S. K.; PFEIFER, F.; SIESLER, H. W.; LICCIARDELLO, F.; FAVA, P.; PULVIRENTI, A. Development of antimicrobial films based on chitosan-polyvinyl alcohol blend enriched with ethyl lauroyl arginate (LAE) for food packaging applications. **Food Hydrocolloids**, v. 100, p. 105419, 2020.

HENNING, F. G.; ITO, V. C.; DEMIATE, I. M.; LACERDA, L. G. Non-conventional starches for biodegradable films: A review focussing on characterisation and recent applications in food packaging. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 4, p. 100157, 2022.

HOOVER, R.; HUGHES, T.; CHUNG, H. J.; LIU, Q. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: a review. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 399-413, 2010.

HOU, X.; WANG, H.; SHI, Y.; YUE, Z. Recent advances of antibacterial starch-based materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 302, p. 120392, 2023.

HUANG, J.; SCHOLS, H.A.; SOEST, J. J. G. V.; JIN, Z.; SULMANN, E.; VORAGEN, A. G. J. Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1338-1345, 2007.

IMOISILI, P. E.; JEN, T. C. Synthesis and characterization of bioplastic films from potato peel starch; effect of glycerol as plasticizer. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

IRFAN, T. N. M.; GEORGE, T. S.; ABIDH, K. M. S.; PRAKASH, S.; KANOTH, B. P.; GEORGE, N.; BALACHANDRAKURUP, V.; DOMINIC, C. D. M.; NAIR, A. B. Waste paper as a viable sustainable source for cellulosic extraction by chlorine free bleaching and acid hydrolysis method for the production of PVA-starch/cellulose based biocomposites. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

ISOTTON, F. S. **Desenvolvimento e caracterização de filmes de amido de milho eterificado com plastificante glicerol, sorbitol e poli (álcool vinílico)**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.

JANSSON, A.; THUVANDER, F. Influence of thickness on the mechanical properties for starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, n. 4, p. 499-503, 2004.

JAYAKUMAR, A.; HEERA, K. V.; SUMI, T. S.; JOSEPH, M.; MATHEW, S.; PRAVEEN, G.; NAIR, I. C.; RADHAKRISHNAN, E. K. Starch-PVA composite films with zinc-oxide nanoparticles and phytochemicals as intelligent pH sensing wraps for food packaging application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 136, p. 395-403, 2019.

JAYARATHNA, S.; ANDERSSON, M.; ANDERSSON, R. Recent advances in starch-based blends and composites for bioplastics applications. **Polymers**, v. 14, n. 21, p. 4557, 2022.

JAYASEKARA, R.; HARDING, I.; BOWATER, I.; CHRISTIE, G. B. Y.; LONERGAN, G.T. Preparation, surface modification and characterisation of solution cast starch PVA blended films. **Polymer Testing**, v. 23, n. 1, p. 17-27, 2004.

JIANG, S.; QIAO, C.; LIU, R.; LIU, Q.; XU, J.; YAO, J. Structure and properties of citric acid cross-linked chitosan/poly (vinyl alcohol) composite films for food packaging applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 312, p. 120842, 2023.

KAPTSO, G. K.; NJINTANG, N.Y.; NGUEMTCHOUIN, M.G.M.; AMUNGWA, A.F.; SCHER, J.; HOUNHOUGAN, J.; MBOFUNG, C.M.F. Characterization of morphology and structural and thermal properties of legume flours: cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.) varieties. **International Journal of Food Engineering**, v. 12, n. 2, p. 139-152, 2016.

KASAVAN, S.; YUSOFF, S.; FAKRI, M.F.R.; SIRON, R. Plastic pollution in water ecosystems: a bibliometric analysis from 2000 to 2020. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, p. 127946, 2021.

KASEMSUWAN, T.; JANE, J.; SCHNABLE, P.; STINARD, P.; ROBERTSON, D. Characterization of the dominant mutant amylose-extender (AEL-5180) maize starch. **Cereal Chemistry**, v. 72, n. 5, p.457-464, 1995.

KHAN, S. A.; RAHMAN, A.; IBRAHIM, F. B. D. A. The impact of film thickness on the properties of ZnO/PVA nanocomposite film. **Materials Research Express**, v. 8, n. 7, p. 075002, 2021.

KHAZAEI, A.; NATEGHI, L.; ZAND, N.; OROMIEHIE, A.; GARAVAND, F. Evaluation of physical, mechanical and antibacterial properties of pinto bean starch-polyvinyl alcohol biodegradable films reinforced with cinnamon essential oil. **Polymers**, v. 13, n. 16, p. 2778, 2021.

KIM, Y.; WOO, K. S.; CHUNG, H. J. Starch characteristics of cowpea and mungbean cultivars grown in Korea. **Food Chemistry**, v. 263, p. 104-111, 2018.

KITIC, D.; JARDIM, D. C. P.; FAVETTO, G. J.; RESNIK, S. L.; CHIRIFE, J. Theoretical prediction of the water activity of standard saturated salt solutions at various temperatures. **Journal of Food Science**, v. 51, n. 4, p. 1037-1041, 1986.

KLEIN, D. **Organic Chemistry**. 3<sup>a</sup> edition. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2017. p. 609.

KOCH, K.; GILLGREN, T.; STADING, M.; ANDERSSON, R. Mechanical and structural properties of solution-cast high-amylose maize starch films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 46, n. 1, p. 13-19, 2010.

KUMAR, A.; SOOD, A.; HAN, S. S. Poly (vinyl alcohol)-alginate as potential matrix for various applications: a focused review. **Carbohydrate Polymers**, v. 277, p. 118881, 2022.

LEWICKI, P. P. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. **International journal of food science & technology**, v. 32, n. 6, p. 553-557, 1997.

LIM, J.; AHN, Y.; KIM, J. Optimal sorting and recycling of plastic waste as a renewable energy resource considering economic feasibility and environmental pollution. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 169, p. 685-696, 2023.

LIMA, K. O.; BIDUSKI, B.; SILVA, W. M. F.; FERREIRA, S. M.; MONTENEGRO, L. M. P.; DIAS, A. R. G.; BIANCHINI, D.; Incorporation of tetraethylorthosilicate (TEOS) in biodegradable films based on bean starch (*Phaseolus vulgaris*). **European Polymer Journal**, v. 89, p. 162-173, 2017.

LIU, X.; CHEN, L.; DONG, Q.; WANG, Z.; ZHANG, D.; HE, J.; YE, Y.; ZHOU, J.; ZHU, W.; HU, Z.; DIN, Z. U.; MA, T.; DING, W.; CAI, J. Emerging starch composite nanofibrous films for food packaging: facile construction, hydrophobic property, and antibacterial activity enhancement. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 222, p. 868-879, 2022.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 18, n. 2, p. 111-117, 1985.

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

LUCHESE, C. L.; FRICK, J. M.; PATZER, V. L.; SPADA, J. C.; TESSARO, I. C. Synthesis and characterization of biofilms using native and modified pinhão starch. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 203-210, 2015.

LUCIANO, C.G.; CHACON, W.D.C.; VALENCIA, G. A. Starch-based coatings for food preservation: a review. **Starch-Stärke**, p. 2100279, 2022.

MA, C.; TAN, C.; XIE, J.; YUAN, F.; TAO, H.; GUO, L.; CUI, B.; YUAN, C.; GAO, W.; ZOU, F.; WU, Z.; LIU, P.; LU, L. Effects of different ratios of mannitol to sorbitol on the functional properties of sweet potato starch films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, p. 124914, 2023.

MAITI, S.; RAY, D.; MITRA, D.; MUKHOPADHYAY, A. Isolation and characterisation of starch/polyvinyl alcohol degrading fungi from aerobic compost environment. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 82, p. 9-12, 2013.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; YAMASHITA, F. Starch films: production, properties and potential of utilization. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MALI, S.; SAKANAKA, L. S.; YAMASHITA, F.; GROSSMANN, M. V. E. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate polymers**, v. 60, n. 3, p. 283-289, 2005.

MALUCELLI, L. C.; LACERDA, L. G.; FILHO, M. A. S. C.; FERNÁNDEZ, D. E. R.; DEMIATE, I. M.; OLIVEIRA, C. S.; SCHNITZLER, E. Porous waxy maize starch: thermal,

structural and viscographic properties of modified granules obtained by enzyme treatment. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 120, p. 525-532, 2015.

MARQUARDT, D.W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. **Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics**, v. 11, n. 2, p. 431-441, 1963.

MARY, S. K.; KOSHY, R.R.; ARUNIMA, R.; THOMAS, S.; POTHEN, L.A. A review of recent advances in starch-based materials: bionanocomposites, pH sensitive films, aerogels and carbon dots. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, p. 100190, 2022.

MATHEUS, J. R. V.; FARIAS, P. M.; SATORIVA, J. M.; ANDRADE, C. J.; FAI, A. E. C. Cassava starch films for food packaging: Trends over the last decade and future research. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 225, p. 658-672, 2023.

MATTA M. D. J.; SARMENTO, S. B. S.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; ZOCCHI, S. S. Propriedades de barreira e solubilidade de filmes de amido de ervilha associado com goma xantana e glicerol. **Polímeros**, v. 21, p. 67-72, 2011.

MCLAUGHLIN, C. P.; MAGEE, T. R. A. The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 3, p. 267-280, 1998.

MENKOV, N. D. Moisture sorption isotherms of chickpea seeds at several temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 45, n. 4, p. 189-194, 2000.

MIGLIORANZA, B.M.G.; SPINELLI, F.R.; STOFFEL, F.; BARRETO, L.T.P. Biodegradable film for raisins packaging application: evaluation of physico-chemical characteristics and antioxidant potential. **Food Chemistry**, v. 365, p. 130538, 2021.

MIRANDA, J. A. T.; CARVALHO, L. M. J.; VIEIRA, A. C. M.; CASTRO, I. M. Scanning electron microscopy and crystallinity of starches granules from cowpea, black and carioca beans in raw and cooked forms. **Food Science and Technology**, v. 39, p. 718-724, 2019.

MOSER, P.; FERREIRA, S.; NICOLETTI, V. R. Buriti oil microencapsulation in chickpea protein-pectin matrix as affected by spray drying parameters. **Food and Bioproducts Processing**, v. 117, p. 183-193, 2019.

MUELLER, E.; HOFFMANN, G.; SCHMITZ, F. R. W.; HELM, C. V.; ROY, S.; BERTOLI, S. L.; SOUZA, C. K. Development of ternary polymeric films based on cassava starch, pea flour and green banana flour for food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 256, p. 128436, 2024.

MÜLLER, C. M. O.; LAURINDO, J. B.; YAMASHITA, F. Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 5, p. 1328-1333, 2009.

MÜLLER, P. S.; CARPINÉ, D.; YAMASHITA, F.; WASZCZYNSKYJ, N. Influence of pinhão starch and natural extracts on the performance of thermoplastic cassava starch/PBAT extruded blown films as a technological approach for bio-based packaging material. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 9, p. 2832-2842, 2020.

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the relationship between wather-satured state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch/Starke**, v.35, n.12, p.407-410, 1983.

NAZURAH, N. F. R.; HANANI, Z. A. N. Physicochemical characterization of kappa-carrageenan (*Euchema cottoni*) based films incorporated with various plant oils. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, n. 10, p. 1479-1487, 2017.

NOGUEIRA, G. F.; FAKHOURI, F. M.; OLIVEIRA, R. A. Effect of incorporation of blackberry particles on the physicochemical properties of edible films of arrowroot starch. **Drying Technology**, v. 37, n. 4, p. 448-457, 2018.

OCHOA-YEPES, O.; GIOGIO, L. D.; GOYANES, S.; MAURI, A.; FAMÁ, L. Influence of process (extrusion/thermo-compression, casting) and lentil protein content on physicochemical properties of starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 208, p. 221-231, 2019.

OLIVEIRA FILHO, J. G.; BERTOLO, M. R. V.; FERNANDES, S. S.; LEMES, A. C.; SILVA, G. C.; JUNIOR, S. B.; AZEREDO, H. M. C.; MATTOSO, L. H. C.; EGEEA, M. B. Intelligent and active biodegradable biopolymeric films containing carotenoids. **Food Chemistry**, p. 137454, 2024.

OLIVEIRA FILHO, J. H.; MANCINI, A. C. Aditivos e ingredientes e seus reflexos sobre as propriedades viscoamilográficas de amido de milho. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, p. 78-84, 2009.

OTHMAN, S. H.; SHAPI'I, R. A.; RONZI, N. D. A. Starch biopolymer films containing chitosan nanoparticles: a review. **Carbohydrate Polymers**, p. 121735, 2024.

OUN, A. A.; SHIN, G. H.; RHIM, J. W.; KIM, J. T. Recent advances in polyvinyl alcohol-based composite films and their applications in food packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 34, p. 100991, 2022.

OVANDO-MARTÍNEZ, M.; BELLO-PÉREZ, L. A.; WHITNEY, K.; OSORIO-DÍAZ, P. SIMSEK, S. Starch characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in different localities. **Carbohydrate polymers**, v. 85, n. 1, p. 54-64, 2011.

OYEYINKA, S. A.; KAYITESI, E.; OLUWAFEMI, A.A.; AJIBOLA, B.O.; OPEOLU, M.O.; ANTHONY, O.O.; PATRICK, B.N. A review on the physicochemical properties and potential food applications of cowpea (*Vigna unguiculata*) starch. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 1, p. 52-60, 2021a.

OYEYINKA, S. A.; OYEDEJI, A. B.; OGUNDELE, O. M.; OLUWAFEMI, A. A.; NJOBEH, P. B.; KAYITESI, E. Infrared heating under optimized conditions enhanced the pasting and swelling behaviour of cowpea starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 184, p. 678-688, 2021b.

PANDA, P. K.; SADEGHI, K.; SEO, J. Recent advances in poly (vinyl alcohol)/natural polymer based films for food packaging applications: A review. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, p. 100904, 2022.

PATIL, S.; BHARIMALLA, A. K.; MAHAPATRA, A.; DHAKANE-LAD, J.; ARPUTHARAJ, A.; KUMAR, M.; RAJA, A. S. M.; KAMBLI, N. Effect of polymer blending on mechanical and barrier properties of starch-polyvinyl alcohol based biodegradable composite films. **Food Bioscience**, v. 44, p. 101352, 2021.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S.; VYVYAN, J. R. **Introdução à espectroscopia**. Tradução da 4ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2010, p.15-97.

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

PÉREZ, S.; BERTOFT, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: a comprehensive review. **Starch-Stärke**, v. 62, n. 8, p. 389-420, 2010.

PETRY, J. M.; PELLÁ, M. C. G.; SILVA, O. A.; CAETANO, J.; DRAGUNSKI, D. C. Plasticizer concentration effect on films and coatings based on poly (vinyl alcohol) and cationic starch blends. **Food Chemistry**, v. 438, p. 137977, 2024.

PHATTARATEERA, S.; XIN, L.; AMPHONG, C.; LIMSAMRAN, V.; THREEPOPONATKUL, P. Comparative studies of starch blends on the properties of PVA films. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 6, p. 100340, 2023.

PINCELLI, I. P.; JÚNIOR, A.B.C.; MATIAS, M.S.; RUTKOWSKI, E.W. Post-consumer plastic packaging waste flow analysis for Brazil: the challenges moving towards a circular economy. **Waste Management**, v. 126, p. 781-790, 2021.

QIAO, J.; DONG, Y.; CHEN, C.; XIE, J. Development and characterization of starch/PVA antimicrobial active films with controlled release property by utilizing electrostatic interactions between nanocellulose and lauroyl arginate ethyl ester. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 261, p. 129415, 2024.

RAMMAK, T.; BOONSUK, P.; CHAMPOOCHANA, N.; HUTAMEKALIN, P.; KAEWTATIP, K. Effect of kaolin impregnated with calico plant extract on properties of starch films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 254, p. 127927, 2024.

RATNANINGSIH, N.; SUPARMO; HARMAYANI, E.; MARSONO, Y. Physicochemical properties, in vitro starch digestibility, and estimated glycemic index of resistant starch from cowpea (*Vigna unguiculata*) starch by autoclaving-cooling cycles. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 142, p. 191-200, 2020.

RIBEIRO, E.P.; SERAVALLI, E.A.G. **Química de Alimentos**. 2ª edição. São Paulo: Blucher, 2007. p.60-61.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. (Eds.). 2th ed. **Engineering Properties of Foods**. New York: Marcel Dekker, p. 223-309, 1995.

ROOS, Y. H. Glass transition temperature and its relevance in food processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 469-496, 2010.

SALGADO, S. M.; GUERRA, N.B.; ANDRADE, S.A.C.; LIVERA, A.V.S. Caracterização físico-química do grânulo do amido do feijão caupi. **Food Science and Technology**, v. 25, p. 525-530, 2005.

SCHMIELE, M.; SAMPAIO, U. M.; CLERICI, M. T. P. S. Basic principles: composition and properties of starch. In: **Starches for Food Application**. Academic Press, 2019. p. 1-22.

SHARABY, M. R.; SOLIMAN, E. A.; KHALIL, R. Halochromic smart packaging film based on montmorillonite/polyvinyl alcohol-high amylose starch nanocomposite for monitoring chicken meat freshness. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 258, p. 128910, 2024.

SHI, R.; JINGLIANG, B.; ZIZHENG, Z.; ZHU, A.; CHEN, D.; ZHOU, X.; ZHANG, L.; TIAN, W. The effect of citric acid on the structural properties and cytotoxicity of the polyvinyl

alcohol/starch films when molding at high temperature. **Carbohydrate Polymers**, v. 74, n. 4, p. 763-770, 2008.

SIDDARAMAIAH; R.; RAJ, B.; SOMASHEKAR, R. Structure–property relation in polyvinyl alcohol/starch composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 91, n. 1, p. 630-635, 2004.

SOARES, J.; MIGUEL, I.; VENÂNCIO, C.; LOPES, I.; OLIVEIRA, M. Public views on plastic pollution: knowledge, perceived impacts, and pro-environmental behaviours. **Journal of Hazardous Materials**, v. 412, p. 125227, 2021.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros**, v. 10, p. 24-30, 2000.

SOUZA, R. D.; LOPES, E. R.; RAMOS, E. M.; OLIVEIRA, T. V.; OLIVEIRA, C. P. Active packaging: Development and characterization of polyvinyl alcohol (PVA) and nitrite film for pork preservation. **Food Chemistry**, v. 437, p. 137811, 2024.

SREEKUMAR, P. A.; AL-HARTHI, M. A.; DE, S. K. Studies on compatibility of biodegradable starch/polyvinyl alcohol blends. **Polymer Engineering & Science**, v. 52, n. 10, p. 2167-2172, 2012.

SU, C.Y.; DONG, L.; WANG, L.J.; WANG, Y. Biodegradation behavior and digestive properties of starch-based film for food packaging – a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1-23, 2022.

SUN, X.; LU, C.; LIU, Y.; ZHANG, W.; ZHANG, X. Melt-processed poly (vinyl alcohol) composites filled with microcrystalline cellulose from waste cotton fabrics. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 642-649, 2014.

TANG, S.; ZOU, P.; XIONG, H.; TANG, H. Effect of nano-SiO<sub>2</sub> on the performance of starch/polyvinyl alcohol blend films. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 3, p. 521-526, 2008.

TANWAR, R.; GUPTA, V.; KUMAR, P.; KUMAR, A.; SINGH, S.; GAIKWAD, K. K. Development and characterization of PVA-starch incorporated with coconut shell extract and sepiolite clay as an antioxidant film for active food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 185, p. 451-461, 2021.

TALJA, R. A.; HELÉN, H.; ROOS, Y. H.; JOUPPIA, K. Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. **Carbohydrate Polymers**, v. 67, n. 3, p. 288-295, 2007.

TIAN, H.; YAN, J.; RAJULU, V.; XIANG, A.; LUO, X. Fabrication and properties of polyvinyl alcohol/starch blend films: effect of composition and humidity. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 96, p. 518-523, 2017.

TINUS, T.; DAMOUR, M.; RIEL, V. V.; SOPADE, P. A. Particle size-starch-protein digestibility relationships in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Journal of Food Engineering**, v. 113, n. 2, p. 254-264, 2012.

TUDORACHI, N.; CASCAVAL, C.N.; RUSU, M.; PRUTEANU, M. Testing of polyvinyl alcohol and starch mixtures as biodegradable polymeric materials. **Polymer Testing**, v. 19, n. 7, p. 785-799, 2000.

VANIER, N. L.; ZAVARESE, E. R.; PINTO, Z. V.; KLEIN, B.; BOTELHO, F. T.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. Physicochemical, crystallinity, pasting and morphological properties of bean starch oxidised by different concentrations of sodium hypochlorite. **Food Chemistry**, v. 131, n. 4, p. 1255-1262, 2012.

VERSINO, F.; LOPEZ, O. V.; GARCIA, M. A.; ZARITZKY, N. E. Starch-based films and food coatings: an overview. **Starch-Stärke**, v. 68, n. 11-12, p. 1026-1037, 2016.

VIEIRA, O.; RIBEIRO, R.S.; TUESTA, J.L.D.; GOMES, H.T.; SILVA, A.M.T. A systematic literature review on the conversion of plastic wastes into valuable 2D graphene-based materials. **Chemical Engineering Journal**, v. 428, p. 131399, 2022.

VU, H. P. N.; LUMDUBWONG, N. Starch behaviors and mechanical properties of starch blend films with different plasticizers. **Carbohydrate Polymers**, v. 154, p. 112-120, 2016.

WU, F.; ZHOU, Z.; LI, N.; CHEN, Y.; ZHONG, L.; LAW, W. C.; TANG, C. Y. Development of poly (vinyl alcohol)/starch/ethyl lauroyl arginate blend films with enhanced antimicrobial and physical properties for active packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 192, p. 389-397, 2021.

WU, X.; YAN, X.; ZHANG, J.; WU, X.; LUAN, M.; ZHANG, Q. Preparation and characterization of pH-sensitive intelligent packaging films based on cassava starch/polyvinyl alcohol matrices containing *Aronia melanocarpa* anthocyanins. **LWT**, p. 115818, 2024.

XU, H.; CHENG, H.; MCCLEMENTS, D. J.; CHEN, L.; LONG, J.; JIN, Z. Enhancing the physicochemical properties and functional performance of starch-based films using inorganic carbon materials: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 295, p. 119743, 2022.

YARI, S.; MOHAMMADI-ROVSHANDEH, J.; SHAHROUSVAND, M. Preparation and optimization of Starch/Poly vinyl alcohol/ZnO nanocomposite films applicable for food packaging. **Journal of Polymers and the Environment**, p. 1-16, 2021.

YURYEV, V. P.; KOZLOV, S. S.; NODA, T.; BERTOFT, E.; BLENNOW, A. Influence of diferente GBSS I and GWD combinations on the amylose localization within wheat and potato starch granules. In: YURYEV, V. P.; TOMASIK, P.; BERTOFT, E. (Eds). **Starch: Achievements in Understanding of Structure and Functionality**. New York: Nova Science Publishers, pp 1-47, 2007.

ZANELA, J.; BILCK, A.P.; CASAGRANDE, M.; GROSSMANN, M.V.E.; YAMASHITA, F. Oat fiber as reinforcement for starch/polyvinyl alcohol materials produced by injection molding. **Starch-Stärke**, v. 70, n. 7-8, p. 1700248, 2018.

ZANELA, J.; CASAGRANDE, M.; REIS, M. O.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Biodegradable sheets of starch/polyvinyl alcohol (PVA): effects of PVA molecular weight and hydrolysis degree. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, p. 319-326, 2019.

ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 317-328, 2011.

ZAVAREZE, E. R.; PINTO, V. Z.; KLEIN, B.; EL HALAL, S. L. M. ; ELIAS, M. C.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; DIAS, A. R. G. Development of oxidised and heat–moisture treated potato starch film. **Food Chemistry**, v. 132, n. 1, p. 344-350, 2012.

ZIA, F.; ZIA, K. M.; ZUBER, M.; KAMAL, S.; ASLAM, N. Starch based polyurethanes: A critical review updating recent literature. **Carbohydrate polymers**, v. 134, p. 784-798, 2015.