

O uso de amido como proposta para embalagens biodegradáveis – Uma revisão

The use of starch as a proposal for biodegradable packaging – A review

El uso del almidón como propuesta de empaque biodegradable – Una revisión

Recebido: 03/10/2022 | Revisado: 20/10/2022 | Aceitado: 21/10/2022 | Publicado: 27/10/2022

Jéssica Souza Alves Friedrichsen

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3909-3617>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: jessicasouza.uem@gmail.com

Cintia Stefhany Ripke Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1055-6558>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: cintiafefhany@hotmail.com

Giovana Frigo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1600-2102>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: giovanafrigo@hotmail.com

Elieana da Silva Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4657-4459>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: elieana2108@gmail.com

Jaqueline Ferreira Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5271-3182>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: jaquelinesferreirasilva@gmail.com

Pauline Godoi Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2473-479X>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: pauline.godoi@gmail.com

Nathali Miranda Piacquadio

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8092-7580>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: nathalipiacquadio@gmail.com

Elder dos Santos Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3151-8403>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: elderdsa@yahoo.com.br

Oscar Oliveira Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9631-8480>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: oosjunior@uem.br

Resumo

Apesar das embalagens plásticas serem parte da vida do homem, muito tem-se falado em alternativas para substituir a produção das que são provenientes do petróleo. Como estratégia interessante, o amido, em especial, o de mandioca se destaca como fonte biodegradável, que quando comparado com o material de origem fóssil apresenta alta biodegradabilidade e vantagens mediante ao uso. Muitos estudos já demonstraram algumas vantagens e limitações desta matéria-prima, contudo, mais informações acerca do tema se torna relevante uma vez que, o Brasil é um grande produtor de amido e a produção de embalagens renováveis é de interesse mundial. Assim, o objetivo desta revisão bibliográfica narrativa foi abordar sobre as embalagens biodegradáveis como alternativa promissora para conter o avanço desenfreado da produção de lixo não degradável, demonstrando diferentes aplicações de filmes e revestimentos comestíveis de caráter biodegradável à base de amido de mandioca. Nesse contexto, diversos achados atuais foram inseridos nesta revisão para expor o conceito das embalagens biodegradáveis, além de demonstrar que a biodegradabilidade de uma embalagem pode ser afetada pelas características do polímero utilizado, e nesse sentido o amido demonstrou um tempo de degradação menor do que outros materiais poliméricos e vantagens para seu uso em embalagens. Assim, esta revisão pode servir para uma ampla gama de oportunidade de conhecer o amido de mandioca como biopolímero disponível a ser utilizado em escala industrial, garantindo assim uma maior biodegradabilidade de materiais provenientes desta matriz polimérica e conseqüentemente uma menor dano ao ambiente.

Palavras-chave: Embalagem sustentável; Biodegradabilidade; Filmes biodegradáveis; Amido.

Abstract

Despite plastic packaging being part of human life, much has been said about alternatives to replace the production of those that come from oil. As an exciting strategy, starch, especially cassava starch, stands out as a biodegradable source, which, when compared to the material of fossil origin, has high biodegradability and advantages through use. Many studies have already demonstrated some advantages and limitations of this raw material, however, more information on the subject becomes relevant since Brazil is a major producer of starch and the production of renewable packaging is of global interest. Thus, the objective of this narrative literature review was to address biodegradable packaging as a promising alternative to contain the unbridled advance of non-degradable waste production, demonstrating different applications of edible films and coatings of a biodegradable character based on cassava starch. In this context, several current findings were included in this review to expose the concept of biodegradable packaging, in addition to demonstrating that the biodegradability of packaging can be affected by the characteristics of the polymer used, and in this sense, starch showed a shorter degradation time than others. polymeric materials and advantages for their use in packaging. Thus, this review can serve for a wide range of opportunities to know cassava starch as a biopolymer available to be used on an industrial scale, thus ensuring greater biodegradability of materials from this polymer matrix and consequently less damage to the environment.

Keywords: Sustainable packaging; Biodegradability; Biodegradable films; Starch.

Resumen

A pesar de que los envases de plástico forman parte de la vida humana, mucho se ha hablado de alternativas para sustituir la producción de los que provienen del petróleo. Como estrategia interesante, el almidón, especialmente el almidón de yuca, se destaca como una fuente biodegradable, que en comparación con el material de origen fósil, tiene alta biodegradabilidad y ventajas a través del uso. Muchos estudios ya han demostrado algunas ventajas y limitaciones de esta materia prima, sin embargo, más información sobre el tema se vuelve relevante ya que Brasil es un importante productor de almidón y la producción de envases renovables es de interés mundial. Así, el objetivo de esta revisión bibliográfica narrativa fue abordar los envases biodegradables como una alternativa promisorio para contener el avance desenfrenado de la producción de residuos no degradables, demostrando diferentes aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles de carácter biodegradable a base de almidón de yuca. En este contexto, en esta revisión se incluyeron varios hallazgos actuales para exponer el concepto de empaque biodegradable, además de demostrar que la biodegradabilidad de un empaque puede verse afectada por las características del polímero utilizado, y en ese sentido, el almidón mostró un menor tiempo de exposición. tiempo de degradación que otros materiales poliméricos y ventajas para su uso en envases. Por lo tanto, esta revisión puede servir para una amplia gama de oportunidades para conocer el almidón de yuca como un biopolímero disponible para ser utilizado a escala industrial, asegurando así una mayor biodegradabilidad de los materiales de esta matriz polimérica y, en consecuencia, un menor daño al medio ambiente.

Palabras clave: Embalaje sostenible; Biodegradabilidad; Películas biodegradables; Almidón.

1. Introdução

Atualmente, a transição do uso de plásticos sintéticos para materiais poliméricos naturais ecologicamente corretos, como os filmes biodegradáveis, está se tornando uma tendência para o mercado industrial. Isto se deve ao fato de que os plásticos de origem sintética têm como matéria-prima o petróleo, uma fonte não renovável com biodegradabilidade limitada (Ayyubi & Purbasari, 2022). Apesar destes materiais serem uma parte fundamental na vida humana, no Brasil se produziu mais de 11,3 milhões de toneladas de materiais plásticos no ano de 2019, e, isto é um dado preocupante, pois, os que são provenientes de origem fóssil tem característica de ser altamente estável e de difícil degradação no ambiente natural (Souza et al., 2021; Tateiwa et al., 2022).

Deste modo, plásticos com caráter biodegradável apresentam uma solução promissora para a diminuição da poluição global que afeta todos os ecossistemas, além da vida humana e seu dia a dia (Emadian et al., 2017). Plásticos biodegradáveis são materiais que se decompõe naturalmente por atividade de microorganismos, pois, sua formulação conta com componentes naturais advindos de plantas (Ayyubi & Purbasari, 2022). Dentre esses componentes, o amido se destaca como um biopolímero adaptável para uso em materiais plásticos, como as embalagens convencionais, porque confere vantagens frente ao uso, sendo elas: alta taxa de degradação, preço acessível, disponibilidade em escala industrial e fácil processabilidade (Bangar et al., 2022; Zhou et al., 2021).

Contudo, é válido ressaltar que, existem diferentes fontes de amido como o de batata, o de milho e o de mandioca (Promsorn & Harnkarnsujarit, 2022), e, dependendo da funcionalidade que se almeja alcançar esses biopolímeros podem ser

utilizados de forma individual ou combinados com outras matrizes poliméricas (Liu et al., 2022). Um achado de Adjouman et al. (2018) elucida que diferentemente dos outros tipos de amido, os filmes biodegradáveis à base do amido de mandioca são flexíveis e contam com uma espessura fina, garantindo a obtenção de filmes transparentes. Em concordância Assis et al. (2017) também descrevem a formação de filmes a partir da fécula de mandioca para a produção de embalagens biodegradáveis devido à boa homogeneidade e rápida biodegradação que eles apresentam.

Além disso, o amido de mandioca é uma alternativa interessante uma vez que, possui ampla produção no Brasil, sendo considerado o segundo produtor mundial de mandioca (Leal et al., 2019; Rocha et al., 2014). Logo, o desempenho em desenvolver embalagens renováveis a partir de biopolímeros, como o amido de mandioca está sendo cada vez mais estudada, pois, auxilia a reduzir o desperdício de alimentos, o acúmulo de resíduos vindos de embalagens de origem fóssil, como o petróleo (Liu et al., 2022).

Diante o exposto, objetiva-se através de uma revisão bibliográfica narrativa investigar o potencial de embalagens biodegradáveis oriundas de amido, em específico de fontes de mandioca, como uma alternativa para a substituição de materiais plásticos de origem fóssil, além disso busca-se demonstrar as funcionalidades do amido para produção de embalagens biodegradáveis.

2. Metodologia

O presente estudo trata-se de uma revisão bibliográfica narrativa sobre embalagens biodegradáveis à base de amido. Realizou-se uma revisão de trabalhos já descritos na literatura por meio de uma busca metodológica qualitativa (Pereira et al., 2018) pelas bases eletrônicas *Web of Science*, *Google Scholar*, *Scopus* e *Science Direct*. As palavras-chaves utilizadas foram: *starch*, *cassava starch*, *biodegradable packaging*, *film* e *plastic pollution*. Portanto, para o presente estudo realizou-se a inclusão de trabalhos publicados no período entre 2014 e 2022 (últimos oito anos) em português e inglês relevantes sobre o tema em estudo. O parâmetro de exclusão foi considerado pela incompatibilidade com o assunto abordado no trabalho.

3. Resultados e Discussão

3.1 Embalagens biodegradáveis

Historicamente, uma embalagem convencional desempenha proteção (química, física e/ou biológica), comunicação (informação nutricional, marketing e rótulo) e distribuição de mercadorias, desde a produção até o consumo final (Kalpana, Priyadarshini, Leena, Moses, Anandharamakrishnan, 2019). Os materiais de embalagem habituais constituem de vidro, papel, e plásticos derivados do petróleo (Thulasingh et al., 2021). Geralmente, essas embalagens convencionais possuem uso único, resultando um descarte imediato, o que desencadeia o impacto ambiental adverso (Thuppahige, & Karim, 2022).

Embalagens devem atender certas condições de degradação para impedir consequências ao meio ambiente. Deste modo, embalagens biodegradáveis provenientes de polímeros naturais tornam-se uma alternativa aos efeitos causados pelas embalagens convencionais. O termo “biodegradável” é empregue para descrever aqueles materiais que podem ser degradados por agentes biológicos, ou seja, pela ação enzimática e microbiológica; resultando em condições anaeróbicas produtos finais hidrocarbonetos, metano e biomassa; ou em condições aeróbicas, o CO₂, H₂O e biomassa (Filiciotto, & Rothenber, 2021; Jaramillo et al., 2016).

Com este intuito, pesquisas foram iniciadas sobre a degradação térmica e biodegradabilidade no solo, que indicam o quanto embalagens naturais são capazes de suportar, isso deve ser fundamental na avaliação de sua capacidade de tornar-se uma embalagem no mercado (Jaramillo et al., 2016). A biodegradabilidade de uma embalagem pode ser afetada pelas características do polímero estabelecido na confecção da embalagem, origem e condições ambientais como luz, temperatura e umidade, do local de onde é depositada (Thulasingh et al., 2021).

Foi demonstrado em estudos anteriores, que o tempo de degradação de produtos à base de amido é menor do que outros materiais poliméricos (Jiang et al., 2020). Um tempo de degradação minimizado, representa uma redução significativa do volume de resíduos e, portanto, torna uma grande vantagem ao meio ambiente (Schyns, & Shaver, 2021). Por sua vez, foram observadas a ocorrência da biodegradabilidade de filmes a base de amido em torno de 100 dias, onde, apontam que o peso molecular interfere a resposta do processo (Jaramillo et al., 2016). Entretanto, a adição de antioxidantes naturais provoca alterações nos parâmetros de degradação térmica de filmes a base de amido (Jaramillo et al., 2016).

São exibidos o sucesso do desenvolvimento e comercialização de muitos produtos à base de amido, como filmes, cápsulas e espuma (Jiang et al., 2020). Nesse sentido, a característica hidrofílica diante a natureza polimérica que o amido é constituído deve ser indagada, pois sua sensibilidade à umidade induz uma fragilidade distinguida (Agarwal, 2021). Vale ressaltar que, a estrutura formada em embalagens a base de amido enfrenta desafios, como baixa propriedade mecânica, apesar disso agentes naturais de reforço, como fibras naturais ou cristais celulósicos em nanoescala vem sendo investigados para esse fim, uma vez que impulsiona uma interface uniforme. Demais explorações acerca das peculiaridades do uso de amido em embalagens biodegradáveis devem ser incentivados (Jiang et al., 2020).

3.2 Propriedades do amido para embalagens biodegradáveis

O amido é o constituinte mais abundante em raízes e tubérculos, bem como cereais e leguminosas. Independentemente da origem, a composição de amido é dada por dois polímeros: amilose (estrutura linear e simples) e amilopectina (estrutura ramificada e complexa). Os principais fatores que influenciam as propriedades do amido são: (1) proporção e (2) comprimento das cadeias de amilose e amilopectina; e (3) a forma como a amilopectina é empacotada dentro dos grânulos de amido (Vanier et al., 2017).

A amilose é um polímero de estrutura linear essencialmente formado por unidades de α -D-glicopiranosose ligadas em α -(1,4), com poucas ligações α -(1,6), e peso molecular de aproximadamente 1×10^6 g mol⁻¹, em ordem de 250–1000 unidades d-glicose (Szwengiel et al., 2018). Já a amilopectina é uma molécula altamente ramificada com unidades α -d-glucopiranosil ligadas em (1→4) em cadeias unidas por ligações α -1,6, considerada uma das maiores moléculas encontradas na natureza, com peso molecular de 1×10^7 a 1×10^9 g mol⁻¹, da ordem de 5.000-50.000 unidades de d-glicose (Vanier et al., 2017; Apriyanto et al., 2022).

Um dos desafios à ciência é solucionar o impacto ambiental, originado pelo grande desperdício de resíduos sólidos, que denomina o ato de descartar materiais após o uso, onde quanto mais considerável é o consumo, maior é a geração de resíduos (Nizzy, & Kannan, 2022). Filmes biodegradáveis estimulam a redução de resíduos sólidos, devido a funcionalidade dos constituintes de sua composição filmogênica geralmente naturais apresentar biodegradabilidade adequada (Said, Howell, & Sarbon, 2022). Propostas como o emprego de polímeros naturais tornam-se um planejamento para substituição de embalagens convencionais originadas do petróleo (Nanda et al., 2021). Neste âmbito, o amido é bastante estimado devido sua ampla disponibilidade, acessibilidade, biocompatibilidade, e fácil degradação (Barizão et al., 2020).

Para favorecer a escolha da aplicação é necessário compreender as características estruturais do amido, deste modo, as proporções dos constituintes amilose e amilopectina exibem diferenças nas propriedades estruturais, físico-químicas e funcionais, uma vez que diversificam a modificação química e física de soluções filmogênicas, exibindo alteração da viscosidade, poder de intumescimento, além de exigir maior temperatura de gelatinização (Thomas et al., 2022). Comumente durante a produção de embalagens/filmes biodegradáveis, os grânulos devem ser gelatinizados em meio aquoso em temperaturas entre 60 a 80 °C. A viscosidade final da solução de amido demonstra maior tendência à retrogradação, devido a recristalização das moléculas de amilose (Donmez et al., 2021; Timm et al., 2020). Depois que os grânulos de amido são

gelatinizados, são moldados e secos, nos quais os grupos hidroxila entre as moléculas são combinados por meio de ligações de hidrogênio intermoleculares capazes de formar filme (Cui, Ji, Wang, Xiong, & Sun, 2021).

O processo de retrogradação do amido envolve mudanças da fração cristalina da amilopectina e amilose. A recristalização inicial ocorre no primeiro dia após resfriamento, reconhecida pela amilose, enquanto a amilopectina apresenta recristalização tardia, responsável pela deterioração do amido para embalagens (Jaramillo, Gutiérrez, Goyanes, Bernal, & Famá, 2016).

O amido em geral apresenta limitações em seu estado natural, esse fato restringe específicas temperaturas de gelatinização, digestibilidade, propriedades de viscosidade e resistência, cristalinidade, absorção de água específica; o que pode tornar seu uso complexo (Bhatt et al., 2022). No entanto, para objetivos particulares, dentre as variadas fontes de amido, o de mandioca possui grande destaque, pois exhibe vantagens em comparação com outras culturas, apresentando multiplicidade de uso, seja para consumo humano, animal ou industrial, atribuído a sua maior capacidade de rendimento de amido nas suas raízes, baixo custo, além de produção durante todo o ano devido sua adaptação a condições desfavoráveis de clima e solo (Wang, Mhaske, Farahnaky, Kasapis, & Majzoobi, 2022). Diante disso, a mandioca é um dos alimentos mais consumidos no mundo, principalmente nas regiões tropicais, onde o cultivo ocorre em maior intensidade (Mukuze, Magut, & Mkandawire, 2019).

Além disso, o amido de mandioca possui uma alta capacidade de absorção de água, dada como superior à do amido de batata e milho. Ainda, apresentam elevado poder de intumescimento e solubilidade, induzidos pelo seu alto teor de amilose (~20 a 35%). Já evidenciado com potencial na indústria de plásticos para a produção de filmes plásticos biodegradáveis, certificando habilidade de uso em escala industrial, agregando valor a essa matéria-prima pois beneficia o meio ambiente (Désiré, Charlemagne, Claver, Achille, & Marianne, 2021; Wang, Mhaske, Farahnaky, Kasapis, & Majzoobi, 2022).

4. Considerações Finais

Esta revisão reúne informações sobre o uso do amido para a produção de embalagens biodegradáveis com enfoque em fonte de mandioca. Os resultados das buscas bibliográficas realizadas neste estudo apontam que estas embalagens podem oferecer diversos benefícios à vida humana e aos ecossistemas, pois, conta com uma biodegradabilidade facilitada acarretando na diminuição de resíduos plásticos no mundo, e, conseqüentemente vem sendo uma alternativa para substituição de derivados do petróleo.

Deste modo, este estudo evidenciou que o amido é um biopolímero interessante na produção de embalagens biodegradáveis devido a sua ampla disponibilidade, baixo custo, fácil processabilidade e rápida biodegradação, demonstrando ser possível sua produção em escala industrial. Além disso, expõem-se que dentre as fontes de amido existentes o de mandioca é o mais promissor, possuindo uma alta capacidade de absorção de água, sendo superior à do amido de batata e milho, além de que conta com alto poder de formação de filmes transparentes. Logo, se pode reforçar a compreensão e eficácia da produção de embalagens biodegradáveis à base de amido, e assim, o presente trabalho pode servir como base para pesquisas futuras demonstrando a importância da substituição dos materiais plásticos de origem sintética. Novos trabalhos devem ser realizados para descobrir sobre vantagens e desvantagens de se empregar a produção de embalagens biodegradáveis, expondo relação ao custo-benefício a partir de fontes de amido, como o de batata, milho e também investigar outras características do amido de mandioca.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Referências

- Adjouman Yao, D., Nindjin, C., Konan Brou, R., Coulibaly, S., N'Guessan, G. A., Sindic, M., & Fabrice, A. T. (2018). Effect of glycerol, peanut oil and soybean lecithin contents on the properties of biodegradable film of improved cassava starches from Côte d'Ivoire. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(4).
- Agarwal, S. (2021). Major factors affecting the characteristics of starch-based biopolymer films. *European Polymer Journal*, 160, 110788.
- Apriyanto, A., Compart, J., & Fettke, J. (2022). A review of starch, a unique biopolymer—Structure, metabolism and in planta modifications. *Plant Science*, 111223.
- Assis, R. Q., Lopes, S. M., Costa, T. M. H., Flôres, S. H., & de Oliveira Rios, A. (2017). Active biodegradable cassava starch films incorporated lycopene nanocapsules. *Industrial Crops and Products*, 109, 818-827.
- Ayyubi, S. N., & Purbasari, A. (2022). The effect of composition on mechanical properties of biodegradable plastic based on chitosan/cassava starch/PVA/crude glycerol: Optimization of the composition using Box Behnken Design. *Materials Today: Proceedings*, 63 (1), 78-83.
- Bangar, S. P., Whiteside, W. S., Dunno, K. D., Cavender, G. A., & Dawson, P. (2022). Pearl millet starch-based nanocomposite films reinforced with Kudzu cellulose nanocrystals and essential oil: Effect on functionality and biodegradability. *Food Research International*, 111384.
- Barizão, C. L., Crepaldi, M. I., Oliveira, S. O., Oliveira, A. C., Martins, A. F., Garcia, P. S., & Bonafé, E. G. (2020). Biodegradable films based on commercial κ -carrageenan and cassava starch to achieve low production costs. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 582-590.
- Bhatt, P., Kumar, V., Goel, R., Sharma, S. K., Kaushik, S., Sharma, S., ... & Tesema, M. (2022). Structural Modifications and Strategies for Native Starch for Applications in Advanced Drug Delivery. *BioMed Research International*, 2022.
- Cui, C., Ji, N., Wang, Y., Xiong, L., & Sun, Q. (2021). Bioactive and intelligent starch-based films: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 854-869.
- da Cruz Sousa, J. V. L., de Carvalho Alves, J., Pimentel, M. M. N. S. C., Andrade, R. C., Figueredo, C. S., Viana, S. N. A., & Pereira, T. D. R. S. (2021). Filmes biodegradáveis a base de amido—Mapeamento tecnológico. *Brazilian Journal of Development*, 7(9), 87635-87646.
- Désiré, A. Y., Charlemagne, N., Claver, K. D., Achille, T. F., & Marianne, S. (2021). Starch-based edible films of improved cassava varieties Yavo and TMS reinforced with microcrystalline cellulose. *Heliyon*, 7(4), e06804.
- Donmez, D., Pinho, L., Patel, B., Desam, P., & Campanella, O. H. (2021). Characterization of starch–water interactions and their effects on two key functional properties: Starch gelatinization and retrogradation. *Current Opinion in Food Science*, 39, 103-109.
- Emadian, S. M., Onay, T. T., & Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste management*, 59, 526-536.
- Filiciotto, L., & Rothenberg, G. (2021). Biodegradable plastics: Standards, policies, and impacts. *ChemSusChem*, 14(1), 56-72.
- Jaramillo, C. M., Gutiérrez, T. J., Goyanes, S., Bernal, C., & Famá, L. (2016). Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. *Carbohydrate polymers*, 151, 150-159.
- Jiang, T., Duan, Q., Zhu, J., Liu, H., & Yu, L. (2020). Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), 8-18.
- Kalpna, S., Priyadarshini, S. R., Leena, M. M., Moses, J. A., & Anandharamkrishnan, C. (2019). Intelligent packaging: Trends and applications in food systems. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 145-157.
- Leal, I. L., da Silva Rosa, Y. C., da Silva Penha, J., Cruz Correia, P. R., da Silva Melo, P., Guimaraes, D. H., & Machado, B. A. S. (2019). Development and application starch films: PBAT with additives for evaluating the shelf life of Tommy Atkins mango in the fresh-cut state. *Journal of applied polymer science*, 136(43), 48150.
- Liu, Y., Liu, M., Zhang, L., Cao, W., Wang, H., Chen, G., & Wang, S. (2022). Preparation and properties of biodegradable films made of cationic potato-peel starch and loaded with curcumin. *Food Hydrocolloids*, 130, 107690.
- Luchese, C. L., Abdalla, V. F., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2018). Evaluation of blueberry residue incorporated cassava starch film as pH indicator in different simulants and foodstuffs. *Food Hydrocolloids*, 82, 209-218.
- Mukuze, S., Magut, H., & Mkandawire, F. L. (2019). Comparison of Fructose and Glycerol as Plasticizers in Cassava Bioplastic Production. *Advanced Journal of Graduate Research*, 6(1), 41-52.
- Nanda, S., Patra, B. R., Patel, R., Bakos, J., & Dalai, A. K. (2021). Innovations in applications and prospects of bioplastics and biopolymers: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 1-17.
- Nizzy, A. M., & Kannan, S. (2022). A review on the conversion of cassava wastes into value-added products towards a sustainable environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [eBook]. Santa Maria. Ed. UAB / NTE / UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

- Promsorn, J., & Harnkarnsujarit, N. (2022). Pyrogallol loaded thermoplastic cassava starch based films as bio-based oxygen scavengers. *Industrial Crops and Products*, 186, 115226.
- Rocha, G. O., Farias, M. G., Carvalho, C. W. P. D., Ascheri, J. L. R., & Galdeano, M. C. (2014). Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. *Polímeros*, 24, 587-595.
- Said, N. S., Howell, N. K., & Sarbon, N. M. (2021). A review on potential use of gelatin-based film as active and smart biodegradable films for food packaging application. *Food Reviews International*, 1-23.
- Schyns, Z. O., & Shaver, M. P. (2021). Mechanical recycling of packaging plastics: A review. *Macromolecular rapid communications*, 42(3), 2000415.
- Szwengiel, A., Lewandowicz, G., Górecki, A. R., & Błaszczak, W. (2018). The effect of high hydrostatic pressure treatment on the molecular structure of starches with different amylose content. *Food chemistry*, 240, 51-58.
- Tateiwa, J., Kimura, S., Kasuya, K. I., & Iwata, T. (2022). Multilayer biodegradable films with a degradation initiation function triggered by weakly alkaline seawater. *Polymer Degradation and Stability*, 200, 109942.
- Thomas, E., Panjagari, N. R., Singh, A. K., Sabikhi, L., & Deshwal, G. K. (2022). Alternative food processing techniques and their effects on physico-chemical and functional properties of pulse starch: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 1-20.
- Thulasingh, A., Kumar, K., Yamunadevi, B., Poojitha, N., SuhailMadharHanif, S., & Kannaiyan, S. (2021). Biodegradable packaging materials. *Polymer Bulletin*, 1-30.
- Thuppahige, V. T. W., & Karim, M. A. (2022). A comprehensive review on the properties and functionalities of biodegradable and semibiodegradable food packaging materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(1), 689-718.
- Timm, N. S., Ramos, A. H., Ferreira, C. D., Biduski, B., Eicholz, E. D., & de Oliveira, M. (2020). Effects of drying temperature and genotype on morphology and technological, thermal, and pasting properties of corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 354-364.
- Vanier, N. L., El Halal, S. L. M., Dias, A. R. G., & Zavareze, E. R. (2017). Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A review. *Food chemistry*, 221, 1546-1559.
- Wang, Z., Mhaske, P., Farahnaky, A., Kasapis, S., & Majzoobi, M. (2022). Cassava starch: Chemical modification and its impact on functional properties and digestibility, a review. *Food Hydrocolloids*, 107542.
- Zhou, Y., Wu, X., Chen, J., & He, J. (2021). Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 574-583.