
Biopolímeros obtidos a partir de amido de batata doce e colágeno de peixe

| **Wellington Wolf Oenning**
UNEMAT

| **Marieli Rosseto**
UFSM

| **Cesar Vinicius Toniciolli Riguetto**
UFSM

| **Sumaya Ferreira Guedes**
UNEMAT

| **Claudinéia Aparecida Queli Geraldi**
UNEMAT

| **Raquel Aparecida Loss**
UNEMAT

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar um levantamento bibliométrico e bibliográfico acerca da aplicação de amido de batata doce e colágeno de peixe para a elaboração de filmes biodegradáveis, destacando as principais técnicas de obtenção, propriedades, além das vantagens na utilização de filmes compostos (amido e colágeno) para aplicações para a indústria de alimentos. A análise bibliométrica mostrou que a temática de filmes de amido e colágeno está em ascensão. A República Tcheca e o Brasil lideram as publicações de estudos relacionados. As propriedades dos filmes mais relatadas nos estudos são solubilidade e propriedades mecânicas. Além disso a utilização da combinação entre colágeno de peixe e amido de batata doce ainda não foi reportada, o que justifica este estudo, considerando que de uma forma geral, a utilização de filmes compostos proporcionou melhorias nas propriedades mecânicas, de solubilidade em água e permeabilidade ao vapor de água, quando comparado com filmes elaborados a partir de um biopolímero.

Palavras-chave: Filmes, Obtenção, Propriedades, Aplicação.

■ INTRODUÇÃO

Os polímeros sintéticos são produzidos em massa há cerca de 70 anos, superando a maioria dos materiais feitos pelo homem (Geyer, 2020), aproximando-se de 300 milhões de toneladas anualmente (Plastic Oceans, 2020). Destes, cerca de 10% são reciclados, 14% incinerados, enquanto os 76% restantes são destinados a aterros ou ambiente natural, se a tendência se manter em 2050 atingirá 1,1 bilhão de toneladas de resíduos disponibilizados no meio ambiente (Geyer, 2020).

Essa tendência é preocupante, considerando impactos ambientais, tanto pela utilização de fontes não renováveis (petróleo), como pelo tempo que esse material leva para se degradar no ambiente (Lopes *et al.*, 2020).

Devido a isso, há um interesse crescente na utilização de materiais de embalagem de origem renovável e biodegradável (polissacarídeos, lipídeos ou proteínas) para substituir embalagens sintéticas na indústria de alimentos (Ballesteros-Mártinez; Pérez-Cervera; Andrade-Pizarro, 2020). Além disso, os hábitos alimentares dos consumidores mudaram, eles buscam produtos alimentícios naturais, frescos, saudáveis e prontos para o consumo, e os filmes comestíveis podem contribuir com essa demanda (Dash *et al.*, 2019).

Dentre as fontes de polissacarídeos e proteínas, o amido e o colágeno se destacam devido à alta disponibilidade e baixo custo para sua produção (Rosseto *et al.*, 2021). Ambos possuem fontes de obtenção diversificada, sendo que o amido pode ser oriundo do milho, batata-doce, mandioca, trigo, batata, entre outros (Dai *et al.*, 2019). Enquanto o colágeno é obtido de peles e ossos de bovino, suíno, frango e peixes (Nuñez *et al.*, 2020).

Uma fonte de amido que tem se destacado é a batata doce, devido à grande quantidade de amido em sua composição (60% de seu peso seco) (Ballesteros-Mártinez; Pérez-Cervera; Andrade-Pizarro, 2020). Além de possuir grande concentração de fibras dietéticas, minerais, vitaminas e antioxidantes, como compostos fenólicos, antocianinas, tocoferol, β -caroteno, e ácido ascórbico, possibilitando a incorporação desses nutrientes ao alimento ao qual vai ser aplicado (Issa *et al.*, 2018). Outra oportunidade se refere a valoração de resíduos oriundos dessa produção, pois cerca de 10% a 15% da produção mundial acaba se perdendo por conta da sua dificuldade de armazenamento (Ballesteros-Mártinez; Pérez-Cervera; Andrade-Pizarro, 2020).

Já para o colágeno, a extração oriunda de peixes tem se destacado, uma vez que o setor de aquicultura apresentou crescimento de aproximadamente 25% nos últimos 5 anos (Valenti *et al.*, 2021), sendo significativamente maior do que outras fontes de proteína de origem animal (avicultura, suinocultura e bovinocultura) (Fernandes *et al.*, 2021). Além disso, o colágeno de peixe se destaca das demais fontes, devido a restrições religiosas para produtos oriundos de bovino e suíno, como por exemplo, judeus e muçulmanos têm restrições



religiosas para produtos suínos, enquanto os hindus rejeitam produtos bovinos (Goyal *et al.*, 2013). No entanto, as indústrias de processamento de pescado geram cerca de 50-80% de resíduos sólidos (cabeça, pele, ossos e escamas) e líquidos durante várias etapas de processamento (Bhuimbar *et al.*, 2019).

Essa grande quantidade de resíduos, tanto da batata doce, como do colágeno apresenta potencial para aplicação em filmes biodegradáveis. Além disso, combinação de proteínas (colágeno) e polissacarídeos (amido) é um processo utilizado para desenvolver novos materiais e aperfeiçoar as propriedades do polímero, resultando em materiais com melhores propriedades quando comparados com aqueles feitos de componentes puros (Agama-Acevedo; Bello-Perez, 2017; Sionkowska *et al.*, 2020). Com base nisso, o objetivo deste estudo é abordar uma revisão bibliométrica e bibliográfica acerca da produção de filmes a partir de amido de batata doce e/ou colágeno de peixe, destacando os resultados mais promissores reportados em estudos recentes, além de apresentar correlações bibliométricas acerca do tema em estudo.

■ METODOLOGIA

O levantamento dos artigos baseou-se na busca de documentos a partir da inserção de determinados termos na base de dados Scopus. Inicialmente, foram pesquisados artigos que abordassem no título os termos (“FILM” AND “STARCH” AND “COLLAGEN”). O período de pesquisa foi de 2017 a 2021, apenas com artigos experimentais, totalizando 22 artigos encontrado. Os resultados das buscas preliminares no Scopus foram analisados para eliminar artigos com conteúdo sobreposto, para recategorizar determinados artigos ao método considerado mais adequado com base em seu conteúdo, e quase importante, para excluir artigos que não se enquadravam no escopo deste trabalho. A partir dos levantamentos e análise de conteúdo, os artigos selecionados foram explorados pelos autores por meio da ferramenta “Bibliometrix” do software RStudio® versão 7.6, como forma de sistematizar o estado da arte e, principalmente, tecer discussões que gerem novos conhecimentos sobre a temática desse estudo.

■ ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

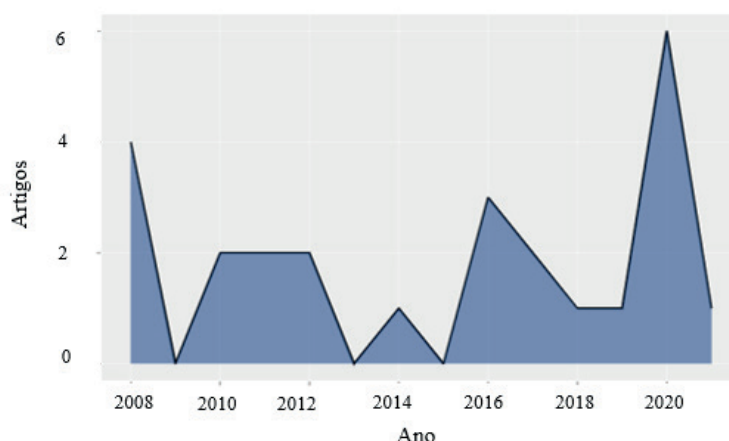
Pela análise bibliométrica, observa-se que o interesse pelo tema filmes compostos elaborados a partir de amido e colágeno é crescente. Além disso, nota-se que um crescimento acentuado de publicações ocorreu no ano de 2019, com maior pico atingido em 2020 (Figura 1a). O país que mais publica artigos voltados para temática de estudo é a República Tcheca, seguida do Brasil, China e Índia (Figura 1b).



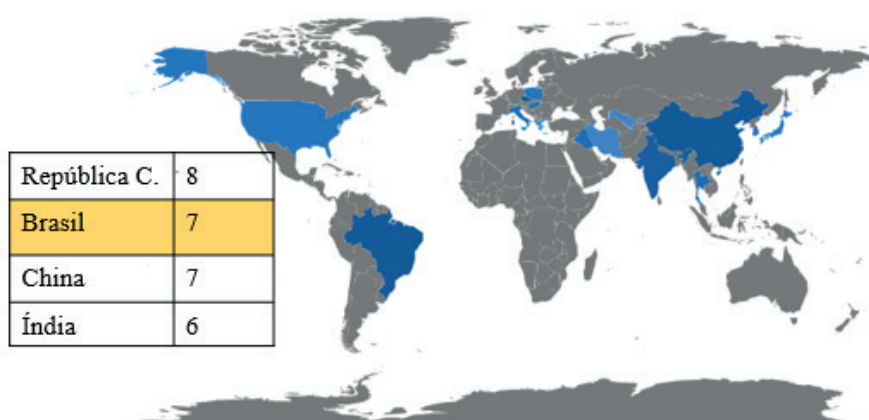


Figura 1. a) Produção científica global anual de artigos relacionados a filmes de amido e colágeno, b) Produção científica de artigos por país, c) Nuvem de palavras com as 50 palavras mais citadas nas palavras-chave dos artigos analisados.

a)



b)



c)



Na nuvem de palavras gerada com as 50 palavras mais citadas nas palavras-chave dos artigos analisados (Figura 1c), fica evidente que as principais características avaliadas nos filmes são propriedades mecânicas, antimicrobianas e de solubilidade em água. As principais aplicações envolvem filmes ativos, biodegradáveis e comestíveis. A utilização de biocompósitos é elencada e os principais materiais estudados juntamente com amido e colágeno





são celulose e gelatina. Além disso a possibilidade de reticulação (ligações cruzadas), e reaproveitamento de resíduos para obtenção dos biopolímeros.

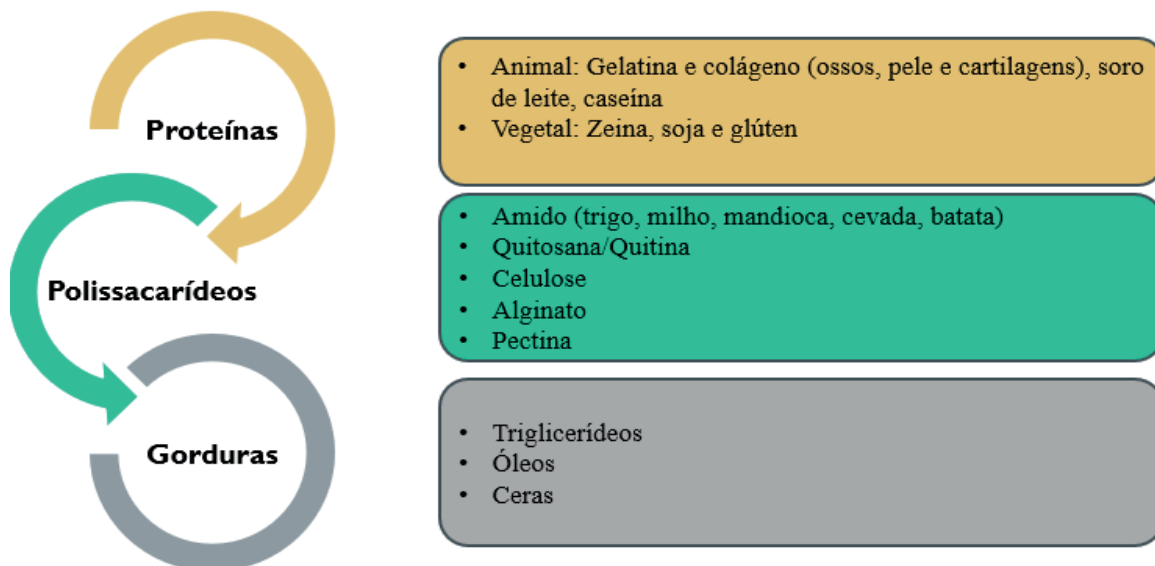
■ REVISÃO DE LITERATURA

Os filmes biodegradáveis na indústria de alimentos podem ser utilizados para uma variedade de propósitos, incluindo fornecer proteção e estender a vida útil dos alimentos embalados, bem como fornecer uma superfície para o adicionar informações sobre o conteúdo nutricional, armazenamento e manuseio do material de embalagem após o uso (Daniloski *et al.*, 2021).

São classificados de acordo com sua origem em três classes: polímeros renováveis (produzidos naturalmente), polímeros sintéticos (derivados de recursos renováveis e de recursos baseados em petróleo) (Ashter, 2016).

Os biopolímeros oriundos de fontes renováveis são atrelados a sustentabilidade ambiental, se destacando dos polímeros sintéticos que levam anos para se degradar. As principais fontes utilizadas para elaboração de filmes são as que apresentam maior disponibilidade, e estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2. Biopolímeros oriundos de fontes renováveis.



Como são amplamente utilizadas nas indústrias alimentícia, farmacêutica, agrícola e outras, as pesquisas de materiais vêm sendo desenvolvidas na busca de recuperar/extrair biopolímeros a partir de resíduos agroindustriais, (Rosseto *et al.*, 2019^a), como amido de resíduos de batata doce e de colágeno de peixe, atrelado a grande perda de amido por deterioração de tubérculos durante o armazenamento, e a quantidade de resíduos de peixe gerada durante a industrialização. Esta valorização de resíduos agroindustriais gera renda para indústrias e produtores rurais, além de contribuir com a sustentabilidade tanto com a





redução de resíduos disponibilizados no ambiente, como por substituir polímeros sintéticos, degradando-se rapidamente após sua utilização (Rosseto *et al.*, 2021).

A elaboração de filmes envolve a utilização de macromoléculas (biopolímeros), além de solvente (geralmente água), aditivos com atividades específica (antimicrobiano, reticulante, antioxidante) e plastificantes. Os plastificantes reduzem as interações entre as moléculas adjuntas, aumentando assim a flexibilidade do filme (Godwin, 2017). Os plastificantes sintéticos mais utilizados em estudos são o glicerol e sorbitol (Rosseto *et al.*, 2019^b; Ballesteros-Mártinez; Pérez-Cervera; Andrade-Pizarro, 2020). Mas podem ser utilizados plastificantes oriundos de recursos naturais como óleo vegetal, ácido graxo, isossorbida, ácido cítrico e cardanol (Ma *et al.*, 2020).

Quanto aos métodos de obtenção dos filmes, a Abiblast (2019) cita como principais técnicas utilizadas em escala industrial a extrusão (65,9%), injeção (32,9%), rotomoldagem (0,5%) e termoformação a vácuo (0,7%). No entanto para estudos em pequena escala, em nível laboratorial, geralmente se utiliza o método de *casting*, que é baseado no espalhamento da solução sobre uma superfície sólida inerte e resistente (placa de petri) e submetida a secagem para evaporação do solvente (Galdeano *et al.*, 2014).

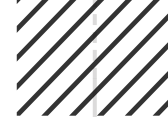
Além da aplicação como embalagem, os filmes podem ser aplicados como revestimento comestível em carne, peixe, leite, ovos e muitas frutas e vegetais crus (Díaz-Montes, 2021). Neste caso a aplicação é realizada diretamente sobre a superfície do alimento, e segundo Suhag *et al.*, (2020) pode ser por pulverização (pulverizar a solução filmogênica sobre o alimento), imersão (imersão da amostra de alimento na solução filmogênica), processamento em leite fluidizado (aplica camadas finas de material de revestimento para secar partículas de densidade baixa) e panorâmica (dispõe o alimento a ser revestido em um grande recipiente giratória, conforme vai girando, distribui a solução de revestimento uniformemente na superfície do produto).

As principais características consideradas nos filmes biodegradáveis aplicados na indústria de alimento são propriedades de barreiras, mecânicas, térmicas, estabilidade microbiológica, propriedades físico-química e bioquímica, ausência de componentes tóxicos, tecnologia simples, baixo custo e não poluentes (Jiang *et al.*, 2019; Shahrampour *et al.*, 2020).

Amido de Batata Doce

A China é o maior produtor de batata-doce, teve uma produção anual de 53.245.657 toneladas em 2018 (57,9% da produção mundial) (Faostat, 2020). Enquanto no Brasil, no ano de 2017 produziu aproximadamente 776,3 mil toneladas (Embrapa, 2021). Ou seja, a no Brasil ainda há muito para explorar, tanto abordando cultivo como produtividade e consumo (Wang; Nie; Zhu, 2016).





A utilização de amido de batata doce para elaborar filmes biodegradáveis é uma alternativa interessante devido ao teor de amilose que este amido contém (24,1–35,55%), semelhante aos amidos de milho (28–33%) e trigo (30–32%), e mais alto do que o amido de mandioca (16–19%) (Ballesteros-Mártinez; Pérez-Cervera; Andrade-Pizarro, 2020). A alta proporção de amilose tende a ocasionar a retrogradação e produzir géis rígidos e filmes mais resistentes devido à proximidade das cadeias (Tabasum *et al.*, 2019).

Colágeno de Peixe

O colágeno de peixe é um biomaterial, como uma alternativa aos colágenos convencionais de mamíferos, como colágenos bovinos e suínos (HSU *et al.*, 2016). Pode ser adquirido pele, ossos e nadadeiras de peixes, tem uma temperatura de desnaturação baixa (25-30 ° C para a maioria das espécies de peixes) em comparação com o colágeno de mamíferos (39-40 ° C) (Raman; Gopakumar, *et al.*, 2018; Jafari *et al.*, 2020).

Os tipos e propriedades moleculares do colágeno variam de acordo com a fonte, o habitat do peixe, o processo de extração e outros fatores (Benjakul *et al.*, 2012). Geralmente é caracterizado por ter uma estrutura interna em tripla hélice, o que lhe confere resistência mecânica e propriedades de retenção de umidade (Nuñez *et al.*, 2020).

A procedência do colágeno de peixe pode ser variada, incluindo resíduos, escamas e bexiga natatória (palavras circuladas em verde). A valoração desses resíduos torna-se interessante na expectativa de obter maior custo benefício, visando viabilizar a produção, uma vez que um dos fatores que limitam o aumento da escala dos filmes biodegradáveis é o alto custo de implantação e/ou obtenção (Pérez-Vergara *et al.*, 2020).

Além disso, o colágeno possui biocompatibilidade com outros materiais, evidenciados em estudos que apresentam a utilização de colágeno com várias outras fontes para a elaboração de filmes, sendo amido de jacatupé (Zhuang *et al.*, 2019), amido de milho, (Wang *et al.*, 2017), quitosana (Kaczmarek; Sionkowska; Skopinska-Wisniewska, 2018) e goma guar (Jana *et al.*, 2016). Neste caso torna-se interessante a elaboração de filmes compostos de amido e colágeno.

Filmes Compostos (Amido e Colágeno)

Os filmes elaborados a partir de amido são amplamente aplicados por serem transparentes, inodoros e com boa barreira de CO₂ e O₂ (Jiang *et al.*, 2011). No entanto, devido à sua hidrofobicidade apresentam propriedades de solubilidade em água e barreira ao vapor de água fracas (Hassan *et al.*, 2018). Enquanto os filmes de proteínas (colágeno), possuem facilidade de interações com outros materiais, gerando filmes mais resistentes e menos





permeáveis a vapores, líquidos e gases, sendo considerados bloqueadores de oxigênio altamente eficazes (Han, 2014; Hassan *et al.*, 2018).

Na expectativa de contemplar as características abordadas nos biopolímeros elencados (amido e colágeno), a abordagem de elaboração de filmes compostos é interessante. A mistura de polímeros é um processo bem conhecido usado para desenvolver novos materiais e otimizar as propriedades do polímero, resultando em materiais com melhores propriedades quando comparados com aqueles feitos de componentes puros, se destacam por aprimorar a estabilidade da blenda, ocasionando melhorias nas propriedades físicas, térmicas e químicas dos filmes. (Liu *et al.*, 2016; Agama-Acevedo; Bello-Perez, 2017; Rosseto *et al.*, 2021).

As misturas de polímeros, que são utilizadas em muitos processos tecnológicos, sofrem diversas influências térmicas, químicas, mecânicas e assim por diante, e fornecem produtos com características que dependem do estado de fase inicial do sistema, além da caracterização dos filmes de acordo com sua aplicabilidade (Ptitchkina *et al.*, 2000).

Dentre as propriedades mais avaliadas em filmes biodegradáveis são solubilidade em água, alongação e resistência. Sendo que a solubilidade está relacionada a capacidade do filme em permanecer intacto (insolúvel) durante o uso em ambientes úmidos, está associada a estrutura química dos materiais e interfere diretamente na degradação (Jiang *et al.*, 2019; Peng *et al.*, 2021). As propriedades de resistência é a capacidade do filme manter sua integridade sob tensões que podem ocorrer durante o processamento e aplicação, e a alongação está relacionada a flexibilidade e extensão do filme, interessante para algumas aplicações, ambas relacionadas a interação entre os materiais que compõe o filme (Shi *et al.* 2017; Malinconico *et al.*, 2017).

A Tabela 1 apresenta as propriedades de solubilidade em água, resistência a tração e alongação de filmes elaborados com amido de batata doce, colágeno de peixe e filmes compostos de amido e colágeno oriundos de diferentes fontes, uma vez que não foram encontrados na literatura estudos que utilizam a combinação de colágeno de peixe e amido de batata doce.



Tabela 1. Estudos sobre a temática de filmes de amido de batata doce, colágeno de peixe e filmes compostos de amido e colágeno.

Fonte de amido e/ou colágeno	Materiais incorporados e/ou tratamentos realizados	Caracterização			Autores
		Solubilidade em água a 25°C (%)	Resistência a tração (MPa)	Elongação (%)	
Amido de batata doce	Ácido linoleico e glicerol	-	4,4	16	Liu et al. (2016)
	Pectina de resíduos de limão e glicerol	28,64	22,35	12,96	Dash et al. (2019)
	Glicerol	33	1,76	9,84	Ballesteros-Mártinez; Pérez-Cervera; Andrade-Pizarro (2020)
	Polissacarído <i>Benth Mesona chinensis</i> , carbonato de sódio e glicerol	26,3	13,37	10,02	Ren et al. (2021)
Colágeno de peixe	Glicerol	-	35,85	47,7	Tang et al. (2015)
	Quitosana e acetato de cálcio	36,80	7,48	15,7	Elango et al. (2015)
	Quitosana	17,64	55	5,67	Slimane; Sadok (2018)
	Sorbato de potássio e álcool polivinílico	23	6,8	5,28	Liang et al. (2019)
Colágeno extraído de resíduos de couro curtido ao cromo III e amido de milho	Glicerol	-	13,97	60,11	Scopel et al. (2016)
Colágeno de pele bovina e amido de milho	Glicerol	36,13	20,99	3,91	Wang et al. (2017)
Colágeno de pele de peixe (tilápia) e amido de jacatupé	Glicerol	27	50,97	12,62	Zhuang et al. (2019)
Colágeno de tendões de cauda de rato e amido dialdeído comercial	Quitosana e ácido hialurônico	-	95	-	Sionkowska et al. (2020)

As propriedades selecionadas para avaliação dos estudos possuem objetivos relacionados a aplicação do filme e estão diretamente relacionadas a estrutura química e interação dos materiais (Malinconico *et al.*, 2017; Rosseto *et al.*, 2021; Peng *et al.*, 2021). Dessa forma, as diferentes composições dos filmes abordadas na Tabela 1 interferem para as oscilações nos resultados.

A solubilidade se manteve na faixa de 17 a 36 % independente do material utilizado. Já para as propriedades de resistência, a combinação de amido e colágeno apresentaram melhores resultados quando comparados aos estudos que avaliaram apenas um dos biopolímeros estudados. Além disso, pode ser evidenciado que tanto os filmes elaborados com amido de batata doce, como os filmes elaborados com colágeno de peixe geralmente utilizam outros materiais para reforçar a matriz polimérica. Enquanto os filmes compostos de amido e colágeno, apresentam características similares utilizando apenas plastificante, mostrando que essa combinação possui características que permitem a aplicação do filme de amido e colágeno na indústria de alimentos, especialmente para aplicações em alimentos



que possuem rápido ciclo de vida, como por exemplo embalagens ativas para carnes resfriados e revestimentos de frutas (Díaz-Montes, 2021).

■ CONCLUSÕES

De acordo com o exposto nesse review, pode-se concluir que a produção de filmes compostos elaborados a partir de amido de batata doce e colágeno de peixe pode ser considerada assertiva, devido aos resultados promissores encontrados em filmes de amido e colágeno de outras fontes. Inclusive, pode-se obter resultados ainda melhores, devido a presença de antocianinas presentes no amido de batata doce, que pode proporcionar ao filme, capacidade antioxidante e antimicrobiana, ampliando a sua aplicação na indústria de alimentos.

Por fim, cabe ressaltar que o aproveitamento de matérias-primas alimentícias para obtenção de produtos de valor agregado que podem ser aplicados na área de alimentos, podem impactar positivamente em diversos dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Organização das Nações Unidas (ONU), principalmente o ODS 2 (Fome Zero) e ODS 12 (Consumo e Produção responsáveis).

■ AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade do Estado do Mato Grosso (UNEMAT), pela oportunidade e incentivo na busca constante de conhecimento, e a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Mato Grosso (FAPEMAT 0236591/2021).

■ REFERÊNCIAS

1. Abiplast. Perfil 2019. Indústria de Transformação de Material Plástico. São Paulo, 2019.
2. Agama-Acevedo, E.; Bello-Perez, L.A. Starch as an emulsions stability: the case of octenyl succinic anhydride (OSA) starch. *Current Opinion in Food Science*, 13, 78-83, 2017.
3. Ashter, A.S. Introduction to Bioplastics Engineering. *Plastics Design Library*, 1-17, 2016.
4. Ballesteros-Martinez, L; Perez-Cervera, C; Andrade-Pizarro, R. Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. *NFS Journal*, 20, 1-9, 2020.
5. Benjakul, S.; Nalinanon, S.; Shahidi, F. Fish collagen. *Food biochemistry and food processing*, 365-387, 2012.
6. Bhuiambar, M.V.; Bhagwat, P.K.; Dandge, P.B. Extraction and characterization of acid soluble collagen from fish waste: Development of collagen-chitosan blend as food packaging film. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, 102983, 2019.





7. Dai, L.; Zhang, J.; Cheng, F. Effects of starches from different botanical sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films. *International journal of biological macromolecules*, 132, 897-905, 2019.
8. Daniloski, D.; Petkoska, A.T.; Lee, N.A.; Bekhit, A.E.D.; Carne, A.; Vaskoska, R.; Vasiljevic, T. Active edible packaging based on milk proteins: A route to carry and deliver nutraceuticals. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 688- 705, 2021.
9. Dash, K.K; Ali, N.A; Das, D.; Mohanta, D. Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nano-titania inclusions for food packaging applications. *International journal of biological macromolecules*, 139, 449-458, 2019.
10. Diaz-Montes, E; Castro-Munoz, R. Edible Films and Coatings as Food-Quality Preservers: An Overview. *Foods*, 10, 2, 249, 2021.
11. Elango, J.; Robinson, J.S; Geevaretnam, J.; Rupia, E.J; Arumugam, V.; Durairaj, S.; Wenhui, W. Physicochemical and Rheological Properties of Composite Shark Catfish (*P angasius pangasius*) Skin Collagen Films Integrated with Chitosan and Calcium Salts *Journal of Food Biochemistry*, 40, 3, 304-315, 2016.
12. Embrapa. Embrapa Hortaliças – Batata doce. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/hortaliças/batata-doce/cultivares/>>. Acesso em 07 abr.2021
13. Faostat. Statistics Division of Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QC>>. Acesso em 10 abr, 2021.
14. Fernandes, D.V.G.S.; Carvalho, R.C.T.; Castro, V.S.; Cunha-Neto, A.; Muller, B.; Carvalho, F.T.; de Souza Figueiredo, E. E. Salmonella in the processing line of farmed Tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*) in Mato Grosso, Brazil: serotypes of occurrence and antimicrobial profile. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 1-7, 2021.
15. Galdeano, M.C.; Wilhelm, A.E.; Grossmann, M.V.E.; Mali, S. Efeito do processamento e das condições ambientais nas propriedades de materiais biodegradáveis de amido de aveia. *Polímeros*, 24, 80-87, 2014.
16. Geyer, R. Production, use, and fate of synthetic polymers. In: *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press, 13-32, 2020.
17. Godwin, A.D. Plasticizers. In *Applied plastics engineering handbook*. William Andrew Publishing, 533-553, 2017.
18. Goyal, D.; Goyal, A.; Brittberg, M. Consideration of religious sentiments while selecting a biological product for knee arthroscopy. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21, 1577-1586, 2013.
19. Han, J.H. Edible films and coatings: a review. *Innovations in food packaging*, 213-255, 2014.
20. Hassan, B.; Chatha, S.A.S.; Hussain, A.I.; Zia, K.M.; Akhtar, N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International journal of biological macromolecules*, 109, 1095-1107, 2018.
21. Hsu, H.H.; Uemura, T.; Yamaguchi, I.; Ikoma, T.; Tanaka, J. Chondrogenic differentiation of human mesenchymal stem cells on fish scale collagen. *Journal of bioscience and bioengineering*, 122, 219-225, 2016.





22. Issa, A.T.; Schimmel, K.A.; Worku, M.; Shahbazi, A.; Ibrahim, S.A.; Tahergorabi, R. Sweet potato starch-based nanocomposites: Development, characterization, and biodegradability. *Starch-Stärke*, 70, 7-8, 1700273, 2018.
23. Jafari, H.; Lista, A.; Siekapen, M.M.; Ghaffari-Bohlouli, P.; Nie, L.; Alimoradi, H.; Shavandi, A. Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials Engineering. *Polymers*, 12, 2230, 2020.
24. Jana, P.; Mitra, T.; Selvaraj, T.K.R.; Gnanamani, A.; Kundu, P.P. Preparation of guar gum scaffold film grafted with ethylenediamine and fish scale collagen, cross-linked with ceftazidime for wound healing application. *Carbohydrate polymers*, 153, 573-581, 2016.
25. Jiang, Z.; Wang, C.; Li, T.; Sun, D.; Gao, H.; Gao, Z.; Mu, Z. Effect of ultrasound on the structure and functional properties of transglutaminase-crosslinked whey protein isolate exposed to prior heat treatment. *International Dairy Journal*, 88, 79-88, 2019.
26. Jiang, Z.; Neetoo, H.; Chen, H. Efficacy of freezing, frozen storage and edible antimicrobial coatings used in combination for control of *Listeria monocytogenes* on roasted turkey stored at chiller temperatures. *Food microbiology*, 28, 1394-1401, 2011.
27. Kaczmarek, B.; Sionkowska, A.; Skopinska-Wisniewska, J. Influence of glycosaminoglycans on the properties of thin films based on chitosan/collagen blends. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 80, 189-193, 2018.
28. Liang, X.; Feng, S.; Ahmed, S.; Qin, W.; Liu, Y. Effect of potassium sorbate and ultrasonic treatment on the properties of fish scale collagen/polyvinyl alcohol composite film. *Molecules*, 24, 2363, 2019.
29. Liu, P.; Sun, S.; Lu, H.; Hou, H.; Dong, H. Effect of the ways of adding stearic acid on properties of sweet potato starch and sweet-potato-starch-based films. *Starch-Stärke*, 68, 76-83, 2016.
30. Lopes, K.S.R.; Santos, G.P.; de Lima, J.E.A.; Holz, J.P. Estudo sobre a poluição plástica e análise de micropartículas na água tratada de Porto Alegre/RS. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 9, 570-587, 2020.
31. Ma, Y.; Song, F.; Hu, Y.; Kong, Q.; Liu, C.; Rahman, M.A.; Jia, P. Highly branched and nontoxic plasticizers based on natural cashew shell oil by a facile and sustainable way. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119597, 2020.
32. Malinconico, M. (Ed.). *Soil degradable bioplastics for a sustainable modern agriculture*. Springer, 2017.
33. Nuñez, S.M.; Guzmán, F.; Valencia, P.; Almonacid, S.; Cárdenas, C. Collagen as a source of bioactive peptides: A bioinformatics approach. *Electronic Journal of Biotechnology*, 48, 101-108, 2020.
34. Peng, L.; Wang, H.; Dai, H.; Fu, Y.; Ma, L.; Zhu, H.; Zhang, Y. Preparation and characterization of gelatin films by transglutaminase cross-linking combined with ethanol precipitation or Hofmeister effect. *Food Hydrocolloids*, 113, 106421, 2021.
35. Pérez-Vergara, L.D.; Cifuentes, M.T.; Franco, A.P.; Pérez-Cervera, C.E.; Andrade-Pizarro, R.D. Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. *NFS Journal*, 21, 39-49, 2020.





36. Plastic Oceans. The facts. Disponível em: < <https://plasticoceans.org/the-facts/>>. Acesso em 06 abr. 2021.
37. Ptitchkina, N.; Panina, N.; Khomutov, I. Phase separation and structure of films formed from the gelatin-starch-water system. En *Hydrocolloids*. Elsevier Science, 177-181, 2000.
38. Raman, M.; Gopakumar, K. Fish collagen and its applications in food and pharmaceutical industry: A review. *EC Nutr*, 13, 752-767, 2018.
39. Ren, Y.; Wu, Z.; Shen, M.; Rong, L.; Liu, W.; Xiao, W.; Xie, J. Improve properties of sweet potato starch film using dual effects: Combination Mesona chinensis Benth polysaccharide and sodium carbonate. *LWT*, 140, 110679, 2021.
40. ^aRosseto, M.; Rigueto, C.V.T.; Krein, D.D.C.; Balbé, N.P.; Massuda, L.A.; Dettmer, A. Biodegradable Polymers: Opportunities and Challenges. In: *Bio-based Polymers*. IntechOpen, 2019.
41. ^bRosseto, M.; Krein, D.D.C.; Balbé, N.P.; Dettmer, A. Starch–gelatin film as an alternative to the use of plastics in agriculture: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 15, 6671-6679, 2019.
42. Rosseto, M.; Rigueto, C.V.T.; Krein, D.D.C.; Massuda, L.A.; Ostwald, B.E.P.; Colla, L.M.; Dettmer, A. Accelerated Aging of Starch-Gelatin Films with Enzymatic Treatment. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 1063-1075, 2021.
43. Scopel, B.; Lamers, D.; Matos, E.; Baldasso, C.; Dettmer, A. Collagen hydrolysate extraction from chromed leather waste for polymeric film production. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 111, 30-40, 2016.
44. Shahrapour, D.; Khomeiri, M.; Razavi, S.M.A.; Kashiri, M. Development and characterization of alginate/pectin edible films containing *Lactobacillus plantarum* KMC 45. *LWT*, 118, 108758, 2020.
45. Shi, B.; Liang, L.; Yang, H.; Zhang, L.; He, F. Glycerol-plasticized spirulina–poly (vinyl alcohol) films with improved mechanical performance. *Journal of Applied Polymer Science*, 134, 2017.
46. Sionkowska, A.; Michalska-Sionkowska, M.; Walczak, M. Preparation and characterization of collagen/hyaluronic acid/chitosan film crosslinked with dialdehyde starch. *International journal of biological macromolecules*, 149, 290-295, 2020.
47. Slimane, E.B.; Sadok, S. Collagen from cartilaginous fish by-products for a potential application in bioactive film composite. *Marine drugs*, 16, 211, 2018.
48. Suhag, R.; Kumar, N.; Petkoska, A.T.; Upadhyay, A. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582, 2020.
49. Tabasum, S.; Younas, M.; Zaeem, M.A.; Majeed, I.; Majeed, M.; Noreen, A.; Zia, K.M. A review on blending of corn starch with natural and synthetic polymers, and inorganic nanoparticles with mathematical modeling. *International journal of biological macromolecules*, 122, 969-996, 2019.
50. Tang, L.; Chen, S.; Su, W.; Weng, W.; Osako, K.; Tanaka, M. Physicochemical properties and film-forming ability of fish skin collagen extracted from different freshwater species. *Process Biochemistry*, 50, 148-155, 2015.
51. Valenti, W.C.; Barros, H.P.; Moraes-Valenti, P.; Bueno, G.W.; Cavalli, R.O. Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, 19, 100611, 2021.





52. Wang, K.; Wang, W.; Ye, R.; Liu, A.; Xiao, J.; Liu, Y.; Zhao, Y. Mechanical properties and solubility in water of corn starch-collagen composite films: Effect of starch type and concentrations. *Food chemistry*, 216, 209-216, 2017.
53. Wang, S; Nie, S; Zhu, F. Chemical constituents and health effects of sweet potato. *Food Research International*, 89, 90-116, 2016.
54. Zhuang, Y.; Ruan, S.; Yao, H.; Sun, Y. Physical Properties of Composite Films from Tilapia Skin Collagen with Pachyrhizus Starch and Rambutan Peel Phenolics. *Marine drugs*, 17, 662, 2019.

