

FILMES BIODEGRADÁVEIS ELABORADOS A PARTIR DE AMIDO DE MANDIOCA: UMA ANÁLISE DAS INOVAÇÕES SUSTENTÁVEIS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n1-257>

Data de submissão: 31/12/2024

Data de publicação: 31/01/2025

Silvana Neves de Melo
Doutoranda em Inovação Farmacêutica
Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: silvana.melo@ics.ufpa.br

Fabiana Cristina de Araújo Nascimento
Doutoranda em Inovação Farmacêutica
Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: fabiananascimento987@gmail.com

Nayara Maria Monteiro da Silva
Doutoranda em Inovação Farmacêutica
Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: nayara.monteiro.silva@ics.ufpa.br

Marcio Marcelo da Silva Pessoa
Doutoranda em Inovação Farmacêutica
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Gyselle dos Santos Conceição
Doutoranda em Inovação Farmacêutica
Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: gysa.com.y@gmail.com

Sandrynnne Carla Neves Guimaraes
Doutoranda em Inovação Farmacêutica
Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: sandrynnecng@gmail.com

Davi do Socorro Barros Brasil
Professor Doutor em Química
Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: dsbbrasil18@gmail.com

José de Arimateia Rodrigues do Rego
Professor Doutor em Química
Universidade Federal do Pará (UFPA)
E-mail: jr2regog@gmail.com

RESUMO

A busca por alternativas ao uso do plástico como embalagem, vem impulsionando a adoção de novos materiais, tem motivado o uso de materiais de fonte renovável e biodegradáveis. Este trabalho teve

por objetivo realizar um levantamento bibliográfico descritivo sobre pesquisas que se voltaram ao uso do amido de mandioca na produção de filmes biodegradável. O levantamento foi realizado através de consulta a quatro plataformas de dados: Web of Science, ScienceDirect, Pub med e Scopus. Tendo por palavras-chave de pesquisas os termos em inglês “Cassava starch and biodegradable film”. Foram selecionados os artigos publicados nos anos de 2018 a 2024, em periódicos com classificação Qualis A1 junto a CAPES, com acesso aberto aos artigos e o levantamento tendo sido realizado até o décimo nono dia do mês novembro do ano de 2024. Após consulta as plataformas, foram selecionados 15 estudos publicados com relevância ao tema desenvolvido. Eles relatam de forma individual a incorporação ao filme elaborado com amido de mandioca em diferentes concentrações de materiais como extrato de erva mate, casca e bagaço de mandioca, amido de milho e de mandioca, bagaço oriundo da produção de suco de mirtilo, kappa caragenina (extrato de algas vermelhas), metacaulim, nanoparticulas de lignocelulose de bagaço de mandioca, extrato de erva moura, aplicação de nanocompostos de metais como zinco e cério, *Ocimum tenuiflorum* e sub produto de própolis. E que após testados e caracterizados por diferentes técnicas, tais materiais mostraram-se interessantes como forma de promover a melhoria dos filmes a partir do amido de mandioca em relação a aplicabilidade como embalagem biodegradável.

Palavras-chave: Fécula. Bioplástico. Sustentabilidade. Embalagem.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento contínuo da população mundial inevitavelmente leva a um aumento na demanda por alimentos, impulsionando assim, o mercado global de materiais de embalagem (Mueller *et al.*, 2024). E atualmente, as embalagens plásticas de polímeros à base de petróleo não biodegradáveis, representam um problema ambiental significativo (GUO *et al.*, 2024).

A indústria de embalagens de alimentos é a que mais necessita de utilização de plásticos e que gera consequentemente uma alta quantidade de resíduos, necessitando assim, de desenvolvimento de novos materiais biodegradáveis (CEBALLOS *et al.*, 2020).

Para Barizão e colaboradores (2020) os filmes biodegradáveis têm sido uma ótima alternativa em relação às fontes não renováveis devido à sua citocompatibilidade e biodegradabilidade. Os autores citam ainda, que estas propriedades podem aumentar a vida de prateleira dos alimentos, reduzindo custos e perdas econômicas, além de reduzir a poluição ambiental promovida por embalagens.

Tem sido crescente conscientização dos consumidores em relação à sua saúde, valor nutricional dos alimentos e segurança alimentar. Como uma alternativa para reverter esses problemas, esses biopolímeros provenientes de fontes renováveis são considerados uma alternativa atraente por conta das suas características.

O amido é um polímero abundante na natureza, suas características, como baixo custo e biodegradabilidade, o tornam uma alternativa aos derivados do petróleo (Guo *et al.*, 2024). Além disso, possui a capacidade de formar filmes incolores, inodoros e não-tóxicos (THUPPAHIGE *et al.*, 2023).

O amido de mandioca pode atuar como transportador de antioxidantes e agentes antimicrobianos, viabilizando o desenvolvimento de embalagens ativas (LUCHESE *et al.*, 2018).

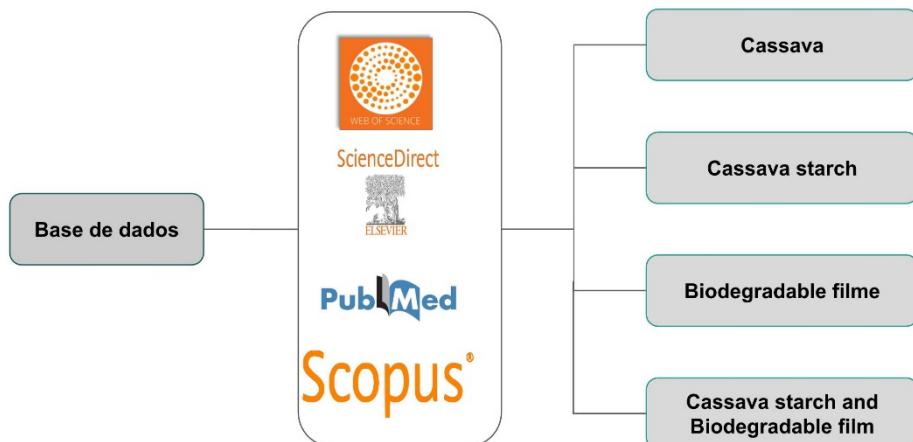
Devido sua versatilidade e relevância no cenário atual, o amido de mandioca aplicado em biofilmes será base para este estudo, com objetivo de avaliar a produção científica no período de 2018 a 2024, em revistas com classificação A1, com maior fator de impacto e de acesso livre e em síntese o que vem sendo produzido cientificamente sobre o assunto neste espaço de tempo e definições.

2 METODOLOGIA

2.1 LEVANTAMENTO POR PESQUISAS EM BANCOS DE DADOS

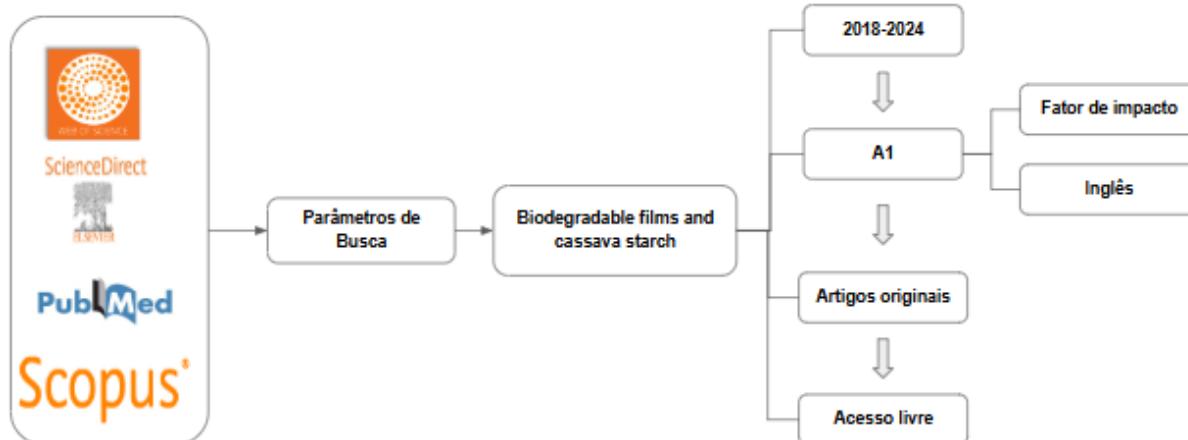
Foram realizadas pesquisas descritivas por meio de levantamentos bibliográficos em quatro bases de dados (Figura 1). As palavras em inglês definidas para as buscas foram “biodegradable films” and “cassava starch”, que em português significam “filmes biodegradáveis” e “amido de mandioca”.

Figura 1. Descritores e termos usados para busca de pesquisas nas bases de dados.



A periodicidade de publicações selecionada para a pesquisa contemplou os anos de 2018 à 2024. Como parâmetros, foram selecionados somente artigos de pesquisa em língua inglesa, publicados em revistas científicas com classificação Qualis A1, segundo Plataforma Sucupira CAPES - quadriênio 2017 – 2020 (Figura 2), de acesso aberto e com maior fator de impacto.

Figura 2. Descritores e refinamentos finais usados para busca de pesquisas na lista de bases



3 RESULTADOS

A pesquisa realizada por meio das quatro diferentes plataformas usando as palavras “cassava”; “starch”; “biodegradable film”; “cassava starch and biodegradable film” está demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados obtidos a partir da consulta a quatro diferentes bases de dados de acordo com os termos de pesquisa.

Bases de dados	Cassava	Cassava starch	Biodegradable film	Cassava starch and Biodegradable film
Web of Science	7493	3174	9688	456
ScienceDirect	33.992	15.264	109.258	3.653

Pubmed	5067	1383	17206	61
Scopus	20381	8987	2884	9035

Fonte: Plataforma Sucupira (2024).

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados, obtidos nas buscas nas bases de dados, que atenderam todos os parâmetros de busca e seus delimitadores finais usando as palavras “biodegradable film and cassava starch”, bem como os de relevância ao tema da pesquisa.

Tabela 2 - Resultados obtidos que atendem os parâmetros de busca e de relevância ao tema nas bases de dados consultadas.

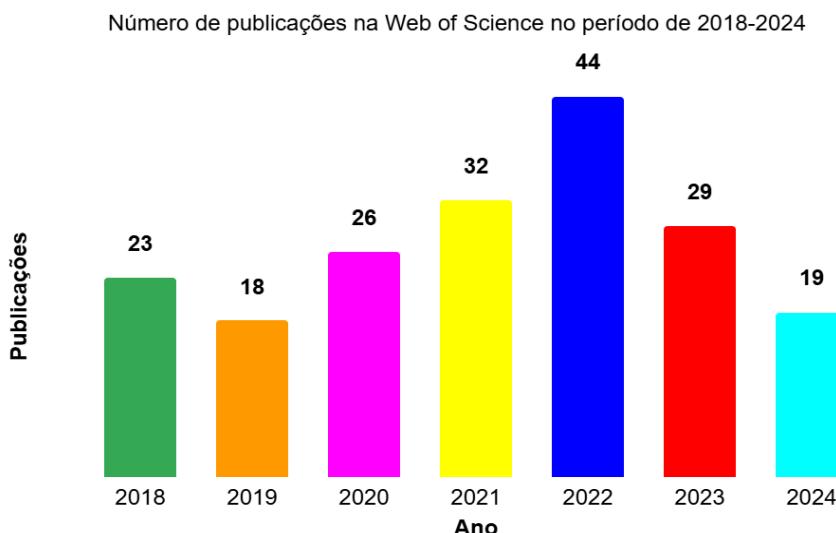
Palavras chaves	Bases de dados	Artigos de livre acesso	Qualis A1	Relevância ao tema
Biodegradable films and cassava starch	Web of Science	191	32	3
	ScienceDirect	226	50	3
	PubMed	33	5	5
	Scopus	78	7	6

Fonte: Plataforma Sucupira (2024).

Ao pesquisar as palavras chaves “biodegradable film” e “cassava starch” no período de 2018 a 2024, na base de dados Web of Science, obteve-se o total de 456 artigos e apenas 191 com acesso livre que foram selecionados e avaliados. No Gráfico 1 temos os 191 artigos e os respectivos anos de publicação destes.

No ano de 2018 foram 23 artigos publicados seguido do ano de 2019 com 18 artigos publicados, 2020 com 26 artigos, 2021 com 32 artigos, 2022 com o maior número de publicações com 44 artigos publicados, ano de 2023 com 29 artigos e 2024 com 19 artigos publicados, levando em consideração que a pesquisa de levantamento foi realizada até décimo nono dia do mês de novembro.

Gráfico 2 - Número de artigos de acesso livre na base de dados Web of Science



Os 32 artigos de Qualis A1 da base de dados Web of Science selecionados por meio de livre acesso, foram publicadas nas revistas segundo classificação de periódicos do quadriênio 2017-2020 CAPES, conforme observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Número de artigos A1 de acesso livre na base de dados Web of Science

Periódicos	Artigos
ACS Sustainable Chemistry e Engineering	2
Carbohydrate Polymers	2
Environmental Chemistry Letters	1
European Polymer Journal	1
Express Polymer Letters	1
Food Chemistry	3
Foods Hidrocolloids	4
Green Chemistry	1
International Journal of Biological Macromolecules	4
Journal of Applied Polymer Science	4
Journal of materials research and technology	2
Journal of Molecular Liquids	1
LTW-Food Science and Technology	3
Polymer Testing	1
Scientific Reports	1
Trends in food Science e Technology	1

Fonte: Plataforma Sucupira (2024).

Dentre os 32 artigos acima, apenas três foram selecionados pois estavam de acordo com o pretendido na pesquisa, sendo um artigo de 2020 publicado na revista Carbohydrate Polymers de fator de impacto de 11,2; artigo da revista LTW- Food Science and Technology de fator de impacto de 6 publicado em 2021 e da revista Food Chemistry de fator de impacto 8,8 publicado em 2023.

No estudo de Ceballos e colaboradores (2020) produziram filmes à base de amido de mandioca, glicerol, água e diferentes concentrações do extrato de erva mate obtidos por extrusão e seguido de compressão. Após 4 semanas, foram realizadas análises tanto químicas quanto específicas de propriedades dos filmes (CEBALLOS *et al.*, 2020).

O estudo acima destaca que o filme produzido do amido nativo (TPNS) exibiu uma superfície lisa, sem buracos ou rachaduras, decréscimo nos valores de lubrificação, umidade e permeabilidade ao vapor de água, maiores valores de módulo e tensão de ruptura do que TPHS.

A incorporação do extrato de erva mate levou a materiais biodegradáveis ativos e inteligentes já que foram liberados em diferentes meios e provocando a mudança de cor dos filmes quando expostos a diferentes valores de pH (CEBALLOS *et al.*, 2020).

O segundo artigo selecionado, Ordonez e colaboradores (2021) analisaram o efeito da incorporação de 1-2 % diferentes proporções de ácidos cinâmico e ferúlico em filmes termoplásticos

de amido de mandioca. Buscaram analisar propriedades funcionais dos filmes como material de embalagem bem como ação antimicrobiana dos filmes.

A incorporação de ácidos fenólicos não provocou mudanças notáveis no oxigênio e vapor d'água permeabilidade dos filmes de amido, mas estes tornaram-se menos solúveis em água (redução de 13-25%), mais extensíveis e menos resistente à quebra, especialmente com a maior concentração de ácido ferúlico (ORDONEZ *et al.*, 2021).

Filmes com 2% de qualquer dos dois ácidos inibiu o crescimento de *E. coli* e *L. innocua* em testes realizados em meio de cultura; sendo ácido cinâmico mais eficaz do que o ferúlico e *L. innocua* mais sensível do que *E. coli*. Nos alimentos como peito de frango e melão, os filmes com ácido cinâmico contra *L. innocua*, em peito de frango e melão fresco-corte (ORDONEZ *et al.*, 2021).

Ordóñez e colaboradores (2021) afirmam que os filmes de amido com 2% de ácido ferúlico ou cinâmico poderiam ser usados como camadas ativas para contato com alimentos combinados com propriedades complementares afim de se obter laminados ativos que poderiam fornecer notável capacidade antimicrobiana e, em particular, atividade antilisterial (ORDONEZ *et al.*, 2021).

Thuppahige e colaboradores (2023) investigaram o potencial de valorização da casca de mandioca e bagaço como agentes de reforço fibroso, bem como alternativa rica em amidos matrizes para o desenvolvimento de embalagens de alimentos biodegradáveis. Esses materiais foram caracterizados por MEV, EDS, DRX, FTIR, análise térmica por TGA (THUPPAHIGE *et al.*, 2023).

O estudo acima destaca que a morfologia dos grânulos de amido residual em casca de mandioca e bagaço eram quase semelhantes aos grânulos comerciais de amido de mandioca. A fase cristalina principal de α -amilose, sugeriu a presença de amido, enquanto o quartzo (SiO_2) e whewellite ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \text{ H}_2\text{O}$) em casca e bagaço sugeriram o Si e Ca nas amostras (THUPPAHIGE *et al.*, 2023).

Estes resultados também incentivam investigações complementares sobre a sua utilização direta e extração de amido em termos de desenvolvimento de embalagens de alimentos biodegradáveis (THUPPAHIGE *et al.*, 2023).

A consulta a plataforma ScienceDirect apresentou 2.661 resultados voltados aos termos “biodegradable film and cassava starch”. Entretanto, 770 eram review article, ou seja, artigos de revisão, 60 Encyclopédia, 509 books chapters, 1 conference abstracts, 4 case reports, 1 data articles, 2 discussion, 1 errata, 1 mini reviews, 1 News, 4 shorts communications e 51 classificados como Other.

Como já mencionado anteriormente para o refinamento deste estudo, foram considerados apenas artigos relacionados à pesquisa experimental, resultando em um total de 1.256 artigos. Após a análise, observou-se, apenas 495 foram publicados em revistas classificadas como Qualis A1,

segundo a classificação de periódicos do quadriênio 2017-2020 da CAPES. No entanto, somente 46 desses artigos possuíam acesso livre para leitura.

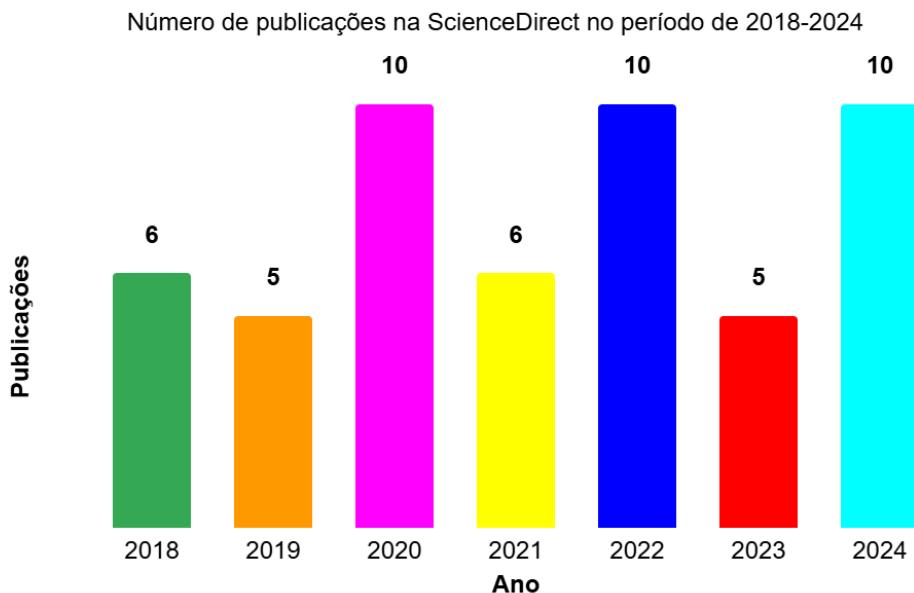
Quadro 2 - Revistas identificadas e publicadas com Qualis A1, segundo classificação de periódicos do quadriênio 2017-2020 CAPES

Periódicos	Qualis A1	Acesso livre
International Journal of Biological Macromolecules	328	21
Carbohydrate Polymer	78	12
Food Chemistry	57	4
Food Research International	16	-
Food Control	10	-
Polymer Testing	11	4
Ultrasonics Sonochemistry	3	3
South African Journal of Chemical Engineering	2	2
Total	495	46

Fonte: Plataforma Sucupira (2024)

No Gráfico 3 é possível observar a distribuição dos artigos de acesso livre de acordo com consulta a plataforma de pesquisa ScienceDirect referente aos anos de 2018 a 2024.

Gráfico 3 – Número de artigos com acesso aberto, com Qualis A1 na base de dados ScienceDirect.



Dos 46 artigos, foram selecionados apenas 4 (quatro), devido os demais estarem com os seus respectivos conteúdos, sem concordância com o estudo. As pesquisas se encontram publicadas no South Africa Journal of Chemical Engineering (2022) e International Journal of Biological Macromolecules (2018 e 2020). Possuindo, os periódicos como fator de impacto as notas 8,4 e 7,7.

Luchese e colaboradores (2018), queriam desenvolver um filme que apresentasse características renováveis e biodegradáveis e que viesse a valorizar os resíduos das indústrias de transformação alimentar. Então elaboraram um filme a partir do amido de mandioca incorporado com diferentes concentrações de bagaço de mirtilo, proveniente da fabricação de suco, e estudaram as propriedades funcionais (térmicas, ópticas e físico-químicas) dos filmes.

Os autores observaram ainda que os filmes com bagaço de mirtilo mostraram boas propriedades de barreira contra a luz, indicando seu efeito benéfico na prevenção da deterioração dos alimentos causada pela radiação UV e que poderiam ser aplicados em embalagens de alimentos. Atribuíram estes resultados a presença de compostos aromáticos do bagaço do mirtilo.

Segundo Luchese e colaboradores (2018), após análise do biofilme de CS e BP, os resultados mostraram maior estabilidade do biofilme mantendo sua integridade após 24h de imersão em água, com pouco inchaço resultante, liberação do composto bioativo no período de 10 dias com melhor resposta em meio acético do que etílico resultando em um produto com boa efetividade para produção em maior escala e para o mercado consumidor.

Travalini e Colaboradores (2019), produziram nanofibras de lignocelulose (LCNF), usando o bagaço de mandioca, um subproduto do processamento da fécula. As nanofibras foram incorporadas em biofilmes de amido de mandioca, e o produto obtido foi avaliado em suas propriedades estruturais, mecânicas e térmicas e os resultados comparados com os filmes de controle reforçados com nanoargila comercial (Nclay).

Foram produzidos cinco tipos diferentes de biofilmes de amido de mandioca, o que incluiu: 1 controle (sem reforço), 2 com reforço de LCNF e 2 reforçados com Nclay, cada um com 0,65 e 1,3% w/w. Os filmes foram analisados quanto a: espessura e desidade, opacidade e teor de umidade, absorção de água e solubilidade, permeabilidade e o vapor de água, FT-IR/ATR, MEV, DRX, DSC e TGA.

Travalini e colaboradores (2019), relatam que todos os filmes elaborados com amido de mandioca reforçados com LCNF ou NClay foram por fundição de solução com amido, glicerol e água e se apresentaram transparentes, flexíveis e sem bolhas. E as micrografias TEM revelaram que as nanopartículas tinham formato característico de nanofibras (diâmetro entre 3-15 nm e elevada razão de aspecto >85).

Os autores acima citam ainda que os valores de opacidade e absorção de água reduziram significativamente para todos os filmes com reforços, o valor de permeabilidade ao vapor de água foi reduzido para os filme LCNF 0,65% e Nclay 1,3, e uma concentração menor de LCNF resultou no menor valor de WVP.

As propriedades mecânicas e de barreira dos filmes mostraram que as nanofibras de lignocelulose do bagaço de mandioca podem ser empregadas para reforçar filmes de amido com usos potenciais em embalagem de alimentos (TRAVALINI et al., 2019).

Barizão e colaboradores (2020), produziram filmes biodegradáveis a partir de diferentes concentrações de kappa caragenina (extrato de algas vermelhas) e amido de mandioca e avaliaram suas propriedades físicas, térmicas e mecânicas, além de opacidade aparente e cor.

A partir dos resultados observaram que os filmes apresentaram alta transparência e que a amostra sem K - caragena apresentou alta solubilidade em água (39,22%) e baixo grau de absorção (391,6%). A menor permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi observada para a amostra com 50κ-c ($3,01 \times 10^{-8}$ g (Pa·m·s) $^{-1}$).

A amostra com 100κ-c e filmes de 75κ-c (com alto teor de κ-carragenina) apresentaram maior rigidez (19,23 e 25,88 MPa, respectivamente) que os filmes 25κ-c e 0κ-c com alongamento na ruptura (ϵ) de 21,60 e 67,65%, respectivamente.

Méité e colaboradores (2022), estudaram a incorporação de metacaulim em bioplásticos a base de amido de mandioca plastificados com glicerol, pois buscavam a formação de um material de bioembalagem que além de ser biodegradável representasse uma alternativa ao uso de polímeros sintéticos, apresentando simultaneamente boas propriedades de barreira de água e desempenho mecânico.

Os bioplásticos foram elaborados através do método casting-evaporação e nomeados de acordo com as diferentes concentrações de metacaulim (MKB) aplicadas aos mesmos (0, 5, 10 e 15%) ficando: BP (bioplástico 0%), BPMKB5 (bioplástico com 5% de metacaulim), BPMKB10 (bioplástico com 10% de metacaulim) e BPMKB15 (bioplástico com 15% de metacaulim) respectivamente.

Os autores observaram que o aumento da concentração de metacaulim ao material em estudo, favoreceu a retrogradação dos géis, consequentemente, a secagem, além de propiciar rigidez aos filmes, melhoria as propriedades mecânicas e de resistência a água, sendo a formulação com 10% de metacaulim (BPMKB10) a mais significativa com módulo de Young (195,78%) e de resistência mecânica (34, 54%).

Com isso, Méité et al (2022) sugerem que a concentração de 10% em peso de massa de metacaulim seria adequado para a elaboração de bioplástico com rigidez e ductilidade moderada, pois gerou um bioplástico com resistência mecânica aceitável para o uso em embalagem de alimentos biodegradáveis.

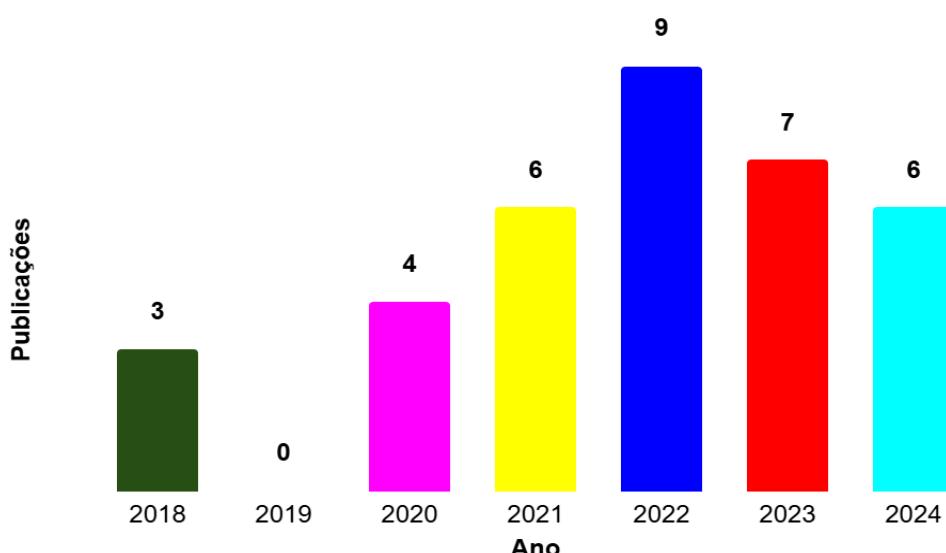
A consulta realizada na plataforma PubMed apresentou 35 resultados voltados aos termos “biodegradable film and cassava starch” entre os anos de 2018 e 2024. Porém, 1 era review, ou seja,

artigo de revisão, sendo este excluído, pois um dos caracteres adotados para refino deste estudo, seria o uso de somente aqueles relacionados à pesquisa experimental.

Quando refinada a pesquisa para artigos de livre acesso, o número se manteve em 35 artigos. No Gráfico 3 observamos esses 35 artigos e quais anos foram publicados. Destacamos o ano de 2022 com 9 artigos publicados, seguido de 2023 e empataos 2021 e 2024 com 6 artigos publicados em cada, 2020 e 2018 com 3 artigos publicados cada e 2019 com nenhuma publicação relacionada a pesquisa.

Gráfico 4 - Número de artigos de acesso livre na base de dados PubMed

Número de publicações na PubMed no período de 2018-2024



Destes após consulta, verificou-se que apenas 5 estavam publicados em revistas com Qualis A1, segundo classificação de periódicos do quadriênio 2017-2020 da CAPES, conforme Quadro 3.

Dentre os artigos obtidos após pesquisa de publicação em revistas de Qualis A1, 4 artigos foram selecionados assim como as demais pesquisas, padronizando e refinando na plataforma de busca, sendo assim, são de grande relevância para pesquisas abertas seja na PubMed ou em outras plataformas. Os artigos escolhidos foram publicados de 2018 à 2024, na revista Food Chemistry de fator de impacto de 8,5 e International Journal of Biological Macromolecules com fator de impacto 7,7.

Quadro 3 - Número de artigos Qualis A1 de acesso livre na base de dados PubMed

Periódicos	Qualis A1	Acesso Livre	
Food Chemistry	3	3	
International Journal of Biological Macromolecules	21	2	

Fonte: Plataforma Sucupira (2024).

La Fuente e colaboradores (2019), avaliaram em Ozonation of cassava starch to produce biodegradable films, o processo de ozonização do amido de mandioca em biofilmes comparando aos biofilmes sem o procedimento, quanto as suas propriedades mecânicas, de barreira e funcionais, morfologia, cristalinidade, cor e opacidade.

Utilizando as técnicas para avaliação estrutural e suas propriedades relevantes ao estudo aplicou-se análises de resistência à tração, módulo de Young, permeação de vapor de água e a permeação de oxigênio, em duas condições de ionização, não descritas nos métodos, resultando em três produtos (amido nativo, condição 1 e condição 2) comparativos para os testes descritos acima (LA FUENTE *et al* (2019)).

Após avaliação dos dados obtidos, La fuente et al (2019), concluíram que o processo de ozonização é efetivo para a formação de um biofilme de maior resistência com uma superfície mais hidrofílica e menor solubilidade no tempo de 24 h, resultando em biofilme com maior permeabilidade de vapor de água e oxigênio.

Em Characterization and application of active films based on commercial polysaccharides incorporating ZnONPs, produzidor por Bruni et al (2023), buscam aplicar nano partículas de óxido de Zinco (ZnONPs) com a finalidade de um biofilme antimicrobiano utilizando diferentes formulações para o método de fundição.

Utilizando parâmetros de análises físico-químicas e mecânicas, para os biofilmes de diferentes formulações nanométricas e comparando os resultados obtidos em Difração de raios X (DRX), espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e Dispersão dinâmica de luz (DLS) com teste de Tukey em todos os resultados sendo aplicado em morangos para avaliação antimicrobiana (BRUNI *et al* (2023)).

Como resultados Bruni e colaboradores (2023), obtiveram uma resposta antimicrobiana de 11 dias para o morango fresco recoberto pelo biofilme incorporado de ZbONPs, onde 1,5 e 2,0 % de nanopartícula apresentou a melhor resposta de resistência e atividade antimicrobiana, onde se obteve uma barreira UV, refreando o processo de maturação da fruta fresca.

O artigo de Jafarzadeh e colaboradores (2024), avalia o aprimoramento do biofilme de amido de mandioca incorporado a nanopartícula de estrutura metal-orgânica de Cério hidrofóbica (Ce-MOF), em concentrações de 0,5% a 4% p/p do sólido total por meio de fundição em solução para fins de embalagem biodegradável.

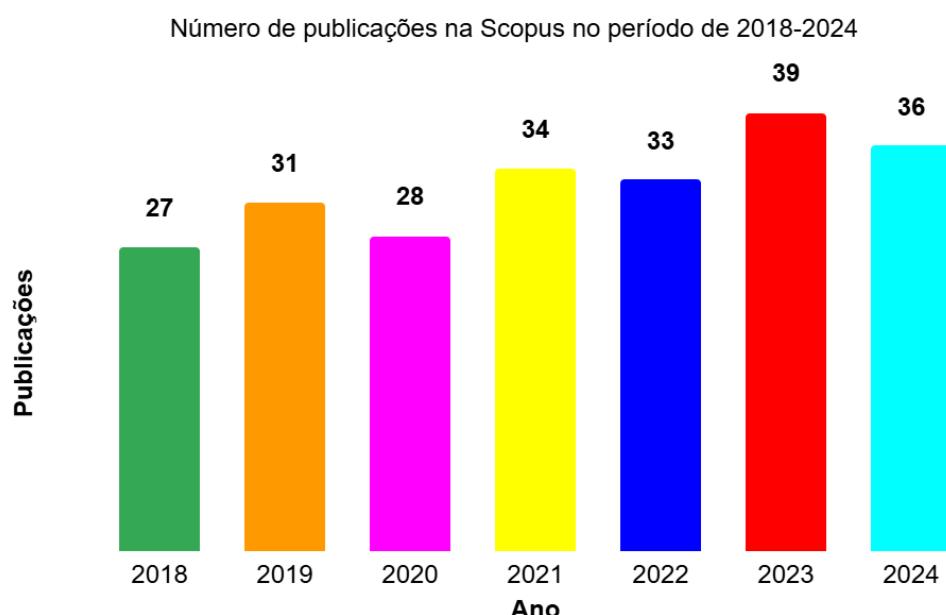
Para o estudo Jafarzadeh e colaboradores (2024) foram aplicadas análises morfológicas, térmicas e físico-químicas dos biofilmes produzidos, utilizando difração de raios X (DRX), A

espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), potencial Zeta, microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise termogravimétrica e microscopia de força atômica (AFM).

Os estudos comparativos das diferentes concentrações de Ce-MOF, demonstraram uma boa efetividade quanto a dispersão dos nanoenchimentos do composto, resultando em uma melhora significativa de cristalinidade, estabilidade térmica, atividade antioxidante, hidrofobicidade, podendo ser aplicado com resultados muito positivo em embalagens ativas de alimento (JAFARZADEH *et al* (2024)).

A pesquisa realizada na base de dados Scopus utilizando as palavras-chave “cassava starch and biodegradable film” encontrou 280 resultados, esse número foi reduzido entre os anos de 2018 e 2024, perfazendo um total de 228 documentos, como pode ser observado no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Artigos publicados entre os anos de 2018 e 2023 na base de dados Scopus



As revistas selecionadas de Qualis A1 da base de dados Scopus, estão demonstradas no Quadro 4, segundo classificação de periódicos do quadriênio 2017-2020 CAPES.

Quadro 4 - Revistas identificadas com Qualis A1 com acesso livre, segundo classificação de periódicos do quadriênio 2017-2020/CAPES.

Periódicos	Artigos
Food Chemistry	3
International Journal of Biological Macromolecules	2
LWT	1
Food Hydrocolloids	1

Fonte: Plataforma Sucupira (2024).

Avaliando os artigos de acesso livre, foram selecionados 3 artigos, onde estes estão fora do rol já descritos em outra plataforma e tenham um alto fator de impacto, resultando assim, em três artigos da LWT com fator de impacto 6,0 food Chemistry com fator de impacto 8,5 e Food Hydrocolloids com fator de impacto 11,0 para descrição.

Diante da necessidade de se colocar no mercado produtos que possam substituir os produtos que são produzidos a base de petróleo, vários pesquisadores vem desenvolvendo em suas pesquisas filmes biodegradáveis que ofereçam maior resistência a água; boa capacidade de barreira do oxigênio, com baixo custo, dentre outros benefícios.

Garcia, Vargas, Chiralt (2021) resolveram produzir e analisar as propriedades físicas e microestruturais dos filmes de amido fundido e moldado por compressão, de milho e mandioca, influenciados pela incorporação de goma xantana ou goma gelana. Ainda segundo os autores, o Poli (ácido lático) (PLA) e Poli (3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) (PHBV) são poliésteres biodegradáveis obtidos de recursos naturais que podem ser utilizados para fins de embalagem de alimentos.

Para a preparação dos filmes monocamadas de amido de milho (MS) e mandioca (CS), os pesquisadores utilizaram o poli (3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) (PHBV) ENMAT Y1000P com 3% de hidroxivalerato, o PLA 4060D amorfo, densidade de 1,24 g/cm³ e peso molecular médio de 106.226 D com 40% de fração de baixo peso molecular (275 D), amido de milho (MS, 27% de amilose) e o amido de mandioca (CS, 9% de amilose), goma xantana (X) (alto peso molecular, ~106 Da), goma gelana com baixo teor de acil (G) KELGOGEL F (MW 3-5x105 Da), carregada negativamente. O plastificante, poli (etilenoglicol) com peso molecular de 1000 Da (PEG1000), e o glicerol (GARCIA; VARGAS; CHIRALT, 2021).

As gomas eram somente parcialmente miscíveis com o amido e os domínios ricos em goma apareceram dispersos na fase contínua rica em amido. O diferente comportamento de criofratura da fase contínua de amido dos filmes revela a miscibilidade parcial das gomas na fase de amido, o que reforçou a matriz de amido, como revelado pela maior tenacidade estrutural deduzida dos parâmetros de tração dos filmes de mistura (GARCIA; VARGAS; CHIRALT, 2021).

Os resultados obtidos dos filmes de fécula de mandioca mostraram-se mais estáveis em suas propriedades mecânicas ao longo do tempo, principalmente aqueles que incorporam goma xantana. Em suas conclusões os autores expõem que a incorporação das gomas nos amidos, reduziu levemente a capacidade de adsorção de água nos filmes a base de milho, bem como aprimorou as propriedades mecânicas, por mais que a o filme de amido de mandioca tenha alcançado os maiores valores de EM e TS (GARCIA; VARGAS; CHIRALT, 2021).

A incorporação de gelana ou goma xantana diminuiu as permeabilidades ao vapor de água e ao oxigênio dos filmes de amido, sendo os filmes de fécula de mandioca com gomas os menos permeáveis ao oxigênio. Levando-se em consideração também a adesão da camada, a bicamada formada com a fécula de mandioca com goma gelana e a folha de PLA-PHBV apareceu como a melhor opção para fins de embalagem de alimentos (GARCIA; VARGAS; CHIRALT, 2021).

Gunathilake e Somendrika (2024), avaliaram em *Development of a biodegradable packaging with antimicrobial properties from cassava starch by incorporating *Ocimum tenuiflorum* extract*, onde se incorpora extrato metanoico da folha de *Ocimum tenuiflorum* em concentrações que variaram de 0 a 3% nos biofilmes produzidos com a mandioca.

Os biofilmes foram analisados quanto sua tração, ruptura, módulo de Young, espessura, cor, transmitância, solubilidade em água, teor de umidade, taxa de transmissão de vapor de água, efeito antimicrobiano, biodegradabilidade, estabilidade térmica, teor de cianeto, análise de compostos e tendência de migração de compostos foram avaliados nesses filmes em comparação com uma amostra de controle (GUNATHILAKE, SOMENDRIKA (2024)).

Após tratamento estatístico a inserção dos extratos tem significância ($p<0,05$), quanto ao alongamento de ruptura e transmitância, porém não ocorreu alteração significativa para a tração e módulo de Young quando comparados ao biofilme controle, na questão microbiana os extratos foram eficientes na barreira de proteção para recobrimento de fruta fresca utilizada no teste (GUNATHILAKE, SOMENDRIKA (2024)).

Bertotto e colaboradores (2022), buscando agregar valor à subproduto da própolis, utilizaram extrato metanoico do material para aumentar as propriedades antioxidantes e antibacterianas de biofilmes produzidos de fécula da mandioca para embalagens biodegradáveis de alimentos. O estudo utilizou testes mecânicos, químicos para os bioativos e composição do material com testes microbiológicos (BERTOTO *et al* (2022)).

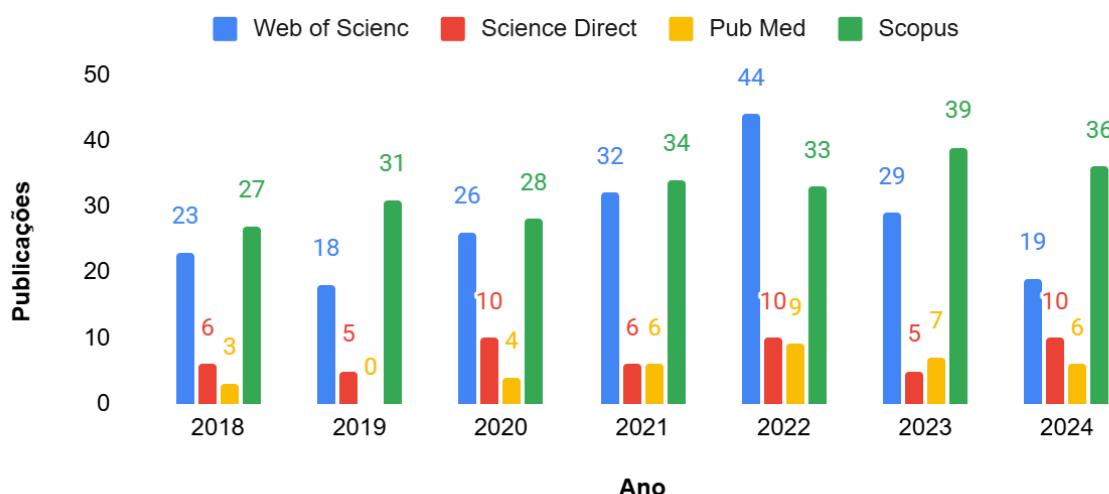
Avaliando as propriedades mecânicas o extrato foi inserido até a concentração de 4% no biofilme, pois segundo os autores, o subproduto tem um valor significativo de fibras que afetam na tração do biofilme seco, controlada a concentração, os testes mecânicos apresentaram melhorias em sua tração e elasticidade (BERTOTO *et al* (2022)).

Sob o ponto de vista químico e biológico, Bertoto et al (2022) tiveram resultados muito positivos com a inserção do extrato de subproduto de própolis, pois combateu os radicais livres, aumentou a propriedade bactericida e apresentou uma gama de composto voláteis de grande impacto nos estudos de subprodutos de própolis e como a utilização deste material pode trazer benefícios a sociedade.

Após avaliação em todas as plataformas, foi possível observar que tanto a Web of Science quanto a Scopus apresentam maior biblioteca de artigos vinculados a suas plataformas, sendo o ano de 2023 o mais expressivo na Scopus e o ano de 2022 o mais significativo para as demais revistas pesquisadas ao artigo, utilizando o termo “cassava starch and biodegradable film” (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Artigos publicados entre os anos de 2018 e 2023 na base de dados estudadas.

Comparativo de publicações nas plataformas de busca 2018-2024



4 CONCLUSÃO

O interesse no desenvolvimento de filmes biodegradáveis tem crescido consideravelmente. Os resultados dos estudos e pesquisas experimentais, comprovam isso. Ter acesso livre aos artigos de Qualis A1, foi de grande importância, pois contribuiu para se obter melhores informações, sobre o uso do amido da mandioca na produção de filmes biodegradáveis.

Avaliação de como podem ser feitas análises e caracterizações do material na construção de um conhecimento multidisciplinar, respondem a necessidade da sociedade por produtos que auxiliem em melhorias no recobrimento de frutos, de alimentos cárneos, de frango, como no processo de maturação e como podemos descartar filmes sem degradar o meio ambiente, aliado a tratamento de resíduos e nanotecnologia.

O uso do amido de mandioca, bem como as blendas desenvolvidas por alguns pesquisadores, possibilitou a inovação e criação de novas formulações para a produção de filmes biodegradáveis, com resultados satisfatórios. Investir em ciência e tecnologia irá contribuir para que no futuro os produtos não biodegradáveis sejam substituídos por embalagens biodegradáveis, os estudos e resultados são promissores, os artigos aqui pesquisados, comprovam isso.

REFERÊNCIAS

BARIZÃO, C. M.; CREPALDI, M. I.; JUNIOR, O. O. S.; OLIVEIRA, A. C; MARTINS, A. F.; GARCIA, P.; BONAFÉ, E. G. Biodegradable films based on commercial κ -carrageenan and cassava starch to achieve low production costs. **International Journal of Biological Macromolecules** 165 (2020) 582–590. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-biological-macromolecules>. Acesso em: 19 de novembro de 2024.

BERTOTTO, C., BILCK, A. P., YAMASHITA, F., ANJOS, O., SIDDIQUE, M. A. B., HARRISON, S. M., et al. (2022). Development of a biodegradable plastic film extruded with the addition of a Brazilian propolis by-product. **LWT**, 157, Article 113124. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113124>

BRUNI A.R, DE SOUZA A. FRIEDRICHSEN J., DE JESUS G., DA SILVA E., DA COSTA J.C.M., SOUZA P.R, DE OLIVEIRA SANTOS JUNIOR O., BONAFE E.G. Characterization and application of active films based on commercial polysaccharides incorporating ZnONPs. **International Journal Biological Macromolecules** 2023 Jan 1; 224:1322-1336. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.10.219. Epub 2022 Oct 25. PMID: 36306900.

CEBALLOS, R. L.; YEPESA, O. O.; GOYANESA, S.; BERNALB, C.; FAMAA, L. L. Effect of yerba mate extract on the performance of starch films obtained by extrusion and compression molding as active and smart packaging. **Carbohydrate Polymers**. v.244; p.1-12, 2020. Disponível em: Effect of yerba mate extract on the performance of starch films obtained by extrusion and compression molding as active and smart packaging - ScienceDirect. Acesso em: 20.set.2023.

GARCIA, E.H.; VARGAS, M.; CHIRALT, A. Thermoprocessed starch-polyester bilayer films as affected by the addition of gellan or xanthan gum. **Food Hydrocolloids**. v. 113, abr.2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.ez3.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X20328836?via%3Dihub>. Acesso em: 20.set.2023.

GUNATHILAKE, I., SOMENDRIKA, M., 2024. Development of a biodegradable packaging with antimicrobial properties from cassava starch by incorporating *Ocimum tenuiflorum* extract. **Food Chemistry**, 100658.

GUO X., WANG X., WEI Y., LIU P., DENG X, LEI Y., ZHANG J. Preparation and properties of films loaded with cellulose nanocrystals stabilized *Thymus vulgaris* essential oil Pickering emulsion based on modified tapioca starch/polyvinyl alcohol. **Food Chemistry**, v. 435, 1 march 2024. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/journal/food-chemistry/vol/435/suppl/C>. Acesso em 19 de novembro de 2024.

JAFARZADEH S., GOLGOLI M., AZIZI-LALABADI M., FARAHBAKHS J., FOROUGH M., RABIEE N., ZARGAR M. Enhanced carbohydrate-based plastic performance by incorporating cerium-based metal-organic framework for food packaging application. **International Journal of Biological Macromolecules**. 2024 Apr;265(Pt1):130899. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130899. Epub 2024 Mar 13. PMID: 38490375. Acesso em: 19 de novembro de 2024.

LA FUENTE C.I.A., DE SOUZA A.T, TADINI C.C, AUGUSTO P.E.D. Ozonation of cassava starch to produce biodegradable films. **International Journal Biological Macromolecules**. 2019 Dec 1;141:713-720. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.028. Epub 2019 Sep 5. PMID: 31494157.

LUCHESE, C. L.; GARRIDO, T.; SPADA, J. C.; TESSARO, I. C.; LA CABA, K. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace. **International Journal of Biological Macromolecules** 106 (2018) 834-839. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-biological-macromolecules>. Acesso em: 19 novembro 2024.

MÉITÉ N., KONAN, L.K, TOGNONVI, M.T, OYETOLA S. Effect of metakaolin content on mechanical and water barrier properties of cassava starch films. **South African Journal of Chemical Engineering** 40 (2022) 186-194, abr 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/south-african-journal-of-chemical-engineering/vol/40/suppl/C>. Acesso em: 19 de novembro de 2024.

ORDONEZ, R.; ATARÉZ, L.; CHIRALT, A. Physicochemical and antimicrobial properties of cassava starch films with ferulic or cinnamic acid. **LTW-Food Science and Technology**. V.144, jun 2021. Acesso em: 22 de novembro de 2024.

THUPPAHIGE, V. T. W.; MOGHADDAM, L.; WELSH, Z. G.; WANG, T.; KARIM, A. Investigation of critical properties of cassava (*Manihot esculenta*) peel and bagasse as starch-rich fibrous agroindustrial wastes for biodegradable food packaging. **Food Chemistry**. v.422, p. 1-12, 2023. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308010522009000>. Acesso em: 22 de novembro de 2023.

TRAVALLINI, A.P., LANMSAL, B., MAGALHÃES, W. L. E., DEMIATE, I, M, Cassava starch films reinforced with lignocellulose nanofibers from cassava bagasse. **International Journal of Biological Macromolecules** 139 (2019) 1151-1161. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-biological-macromolecules/vol/139/suppl/C>. Acesso em 24 de novembro de 2024.