
Aplicações sustentáveis do aproveitamento de subprodutos do processamento do pinhão

Sustainable applications for the use of by-products from pine nut processing

Camila De Rocco

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9655-8608>
Instituto Federal do Paraná - Campus Palmas, Brasil
E-mail: camiladerocco@gmail.com

Ivan Silvestro Goulart

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6508-1756>
Instituto Federal do Paraná - Campus Palmas, Brasil
E-mail: ivang.professor@gmail.com

Aline Tiecher Marin

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1442-4748>
Instituto Federal do Paraná - Campus Palmas, Brasil
E-mail: alinetiecher42@gmail.com

Michele Rosset

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4652-1018>
Instituto Federal do Paraná - Campus Colombo, Brasil
E-mail: michele.rosset@ifpr.edu.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi conduzir uma revisão sistemática da literatura para descrever aplicações sustentáveis do aproveitamento de subprodutos do processamento do pinhão, especificamente a casca do pinhão. As buscas foram realizadas nas bases de dados *Scielo*, *Pubmed* e *Science Direct* e o termo utilizado foi “*pine nut shell*”, mediados pelo operador *booleano AND* e compreenderam o período de Janeiro de 2019 a Maio 2024. Foram encontrados um total de 2.765 estudos nas referidas bases de dados e no final 10 artigos foram incluídos nos resultados da presente revisão sistemática. Os principais achados indicam que a casca de pinhão pode ser inserida em diferentes áreas de reutilização, como produção de filtros fluviais, embalagem filme de quitosana comestível, produção de poliuretano, produção de carbono poroso e ainda pode ser utilizado como componente funcional para formulação de produtos alimentares desportivos. Sendo assim, conclui-se que a reutilização da casca de pinhão, considerada um resíduo, pode ser um potencial subproduto a ser utilizado para produção de inúmeros itens a serem explorados no comércio, influenciando aplicações sustentáveis.

Palavras-chave: sustentabilidade; economia circular; *Araucaria Angustifolia*; casca-de-pinhão; subproduto;

ABSTRACT

The objective of this study was to conduct a systematic literature review to describe sustainable applications for the use of by-products from pine nut processing, specifically pine nut shells. The searches were carried out in the Scielo, Pubmed and Science Direct databases and the term used was "pine nut shell", mediated by the Boolean operator AND and covered the period from January 2019 to May 2024. A total of 2,765 studies were found. In the aforementioned databases and in the end 10 articles were included in the results of this systematic review. The main findings indicate that pine nut shells can be inserted in different areas of reuse, such as production of river filters, edible chitosan film packaging, and production of polyurethane, production of porous carbon and can be used as a functional component for the formulation of sports food products. Therefore, it is concluded that the reuse of pine nut shells, considered a waste, can be a potential by-product to be used for production. of countless items to be explored in commerce, influencing sustainable applications.

Keywords: sustainability, circular economy, *Araucaria Angustifolia*, pine nut shell, subproduct.

INTRODUÇÃO

Criar oportunidades de mercado achando novos produtos que aliem economia e que não prejudiquem o meio ambiente vem sendo algo de muito interesse de estudo. A Organização das Nações Unidas Para a Alimentação e Agricultura - FAO (2022) diz que no mundo são perdidos 14% dos alimentos da colheita até a venda do produto, e em torno de 17% do desperdício acontece nas casas e restaurantes. Segundo Vaz Junior (2020), no Brasil são 451 milhões de toneladas de resíduos gerados da produção de alimentos. O aproveitamento desses resíduos, é uma forma de diminuir os problemas ambientais, gerando uma produção mais sustentável. Esse estudo tem como objetivo uma pesquisa para entender como a casca do pinhão pode ser aproveitada.

O pinhão é extraído da *Araucaria Angustifolia* conhecida como araucária, pinheiro brasileiro ou pinheiro do Paraná (Zanette *et al.*, 2017) e no Brasil, é encontrado em maior quantidade nos estados de Santa Catarina, Paraná, e Rio Grande do Sul. A produção acontece entre os meses de abril a setembro (Anselmini; Zanette, 2008) sendo que o pinhão é a semente da araucária. Tem casca de cor marrom avermelhada e precisa ser cozido para consumo, pois a sua polpa é firme quando crua (Koch; Corrêa, 2002).

Sobre a pinha, Zanette *et.al.* (2017), diz que é apresentada em três tipos: o pinhão cheio usado no consumo humano e animal, o pinhão não foi fecundado e as falhas. De acordo com Carvalho (2002), os pinhões são juntados do chão, ou as pinhas são

derrubadas da árvore e os pinhões são retirados da pinha de forma manual. Segundo IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022) foram produzidas no Brasil 13.376 toneladas de pinhão, sendo Santa Catarina o estado com maior produção.

A casca do pinhão costuma ser jogada no lixo e demora muito para se decompor. Lima, *et.al*, (2007) diz que o Brasil produz aproximadamente 10 toneladas de resíduos de pinhão por ano. A casca geralmente é jogada fora e representa 20% do peso total do pinhão (Lima et al., 2007; Henríquez *et al.*, 2008). De acordo com Nascimento Filho, W.B; Franco, C.R, (2015), os compostos antioxidantes e pigmentos podem ser encontrados em maior quantidade nas cascas e sementes.

Quando analisa-se o pinhão de uma forma ampla, é possível aliar a sustentabilidade nos seus três eixos (ambiental, econômico e social), já que tem influências nas perspectivas econômicas e sociais, quando se pode visualizar famílias de baixa renda que realizam a colheita e venda como fonte de renda. No pilar ambiental, também quando entende-se que esse alimento é consumido por muitos animais e pássaros no inverno (Zanette *et al.*, 2017).

O aproveitamento sustentável dos subprodutos, como os retirados do pinhão, pode trazer vantagens quando faz parte de um modelo de economia circular. O Parlamento Europeu (2023) afirma que a economia circular é a reutilização, renovação e a reciclagem de materiais e produtos para que durem mais tempo, reduzindo desperdício de resíduos. As vantagens desse tipo de economia estão na criação de valor, sendo que fazer a reutilização dos produtos é importante para reduzir a dependência em usar os recursos naturais.

De acordo com Valente (2015) encontrar novas formas de usar esses subprodutos pode fazer com que as empresas gerem novas oportunidades de negócios sustentáveis. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi conduzir uma revisão sistemática da literatura para descrever aplicações sustentáveis do aproveitamento de subprodutos do pinhão.

METODOLOGIA

Para determinar os bancos de dados, palavras-chave e sintaxes utilizadas na presente pesquisa, foram realizadas reuniões envolvendo a equipe de pesquisadores responsáveis pela coleta de dados foram realizadas. A partir das reuniões, optou-se por utilizar o termo "pine nut shell". As buscas foram realizadas nas bases de dados Scielo, Pubmed e Science Direct. As listas de referências dos artigos encontrados em cada base pesquisada foram extraídas e incluídas no sistema Rayyan QCRI, no qual foi realizado o processo de seleção. O sistema Rayyan foi utilizado para gerir o processo de seleção, realizado por pares e de maneira cega em todas as fases.

Foram incluídos na presente revisão a) artigos originais; b) realizados no período de 2019 a 2024; c) publicados nos idiomas português, inglês ou espanhol; d) que tenham incluído em sua pesquisa a casca de pinhão como objeto de estudo. Foram excluídas as pesquisas que não objetivavam a reutilização da casca de pinhão.

Na primeira etapa das buscas foram incluídos todos os estudos encontrados nas bases de dados a partir das sintaxes utilizadas. Neste estágio foram encontrados um total de 2.765 estudos nas seguintes bases de dados: Scielo n=2, Pubmed n=32 e Science Direct n= 2.731, como pode ser observado na Figura 01. Após a aplicação dos filtros acerca do tipo de documento (artigos) dos idiomas (português, inglês ou espanhol) e período de buscas (2019 a 2024), o número de documentos encontrados foi reduzido para 594 (Scielo n=1, Pubmed n=16 e Science Direct n= 577), os quais foram extraídos das bases de dados e incluídos no sistema Rayyan QCRI para gestão do processo de seleção.

Após as buscas, na primeira reunião de consenso, foram excluídos 6 estudos duplicados, restando 588 para a fase de leitura dos títulos. Um total de 574 artigos foram excluídos após a leitura dos títulos, restando 14 artigos para leitura dos resumos. Após a leitura dos resumos, 1 artigo foi descartado por não atender os critérios de inclusão, também foram descartados 3 artigos por não estarem disponíveis para leitura, restando 10 artigos para leitura na íntegra. Após encerrada a leitura na íntegra, um total de 10 artigos foram incluídos nos resultados da presente revisão sistemática.

Dois autores (Camila De Rocco e Ivan Silvestro Goulart) extraíram os dados dos artigos incluídos na revisão de maneira independente. Foi utilizado um formulário padrão

de extração de dados, que incluía obter as seguintes informações dos estudos: autores e data de publicação, local de publicação, título, tratamento da casca do pinhão, objetivo e conclusão.

RESULTADOS

Após o processo de seleção dos artigos foram incluídos dez estudos na revisão sistemática, onde seis dessas publicações são derivadas da China (02; 03, 05; 06; 07; 08), duas do Brasil (01; 10), uma da Rússia (04) e uma de Portugal (09).

As formas de tratamento da casca de pinhão para reutilização se dividem em peneiramento e prensagem (01), secagem natural, moagem e peneiramento (02), pirólise (03; 06 e 07) , ultrafiltração do extrato da casca de pinhão triturado seguido de secagem por pulverização (04), carbonização (05), lavagem, moagem, peneiramento e forno abafador (08), carbonização, moagem, peneiramento e ativação adicional do vapor (09) e módulo de filtração frontal com membranas planas, acoplado a um compressor LimaTec, modelo LT40BVC, um agitador mag-netic DiagTech, modelo DT3120H, e uma balança semianalítica IONLAB, modelo BL-320AB-BI (10).

Os estudos 03, 05 e 06 extraíram e qualificaram as fontes de carbono derivados da casca do pinhão quanto a sua capacidade energética. Enquanto os estudos 08, 09 e E10 buscaram aplicações para transformar cascas de pinhão em um filtro eficiente e reciclável, sendo utilizado em tratamento de água residual realizando a remoção de ácidos, corantes e produtos farmacêuticos.

O estudo 07 trouxe o comportamento e comparações de diferentes processos de pirólise com a casca de pinhão. O estudo 02 trabalhou com extratos vegetais da casca de pinhão, casca de amendoim e folha de jujuba para melhorar a capacidade antioxidante e a permeabilidade com filmes de quitosana.

O estudo 01 avaliou o efeito do tamanho da casca de pinhão nas propriedades mecânicas, físicas e térmicas de compósitos feitos de poliuretano de mamona e casca de pinhão. Já o estudo 04 encontrou resultados que colocam o processamento de cascas de pinhão como componente funcional da formulação de produtos alimentares desportivos.

Tendo em comum a utilização da casca do pinhão, todos os estudos têm também a sustentabilidade como um dos pilares para a realização dos trabalhos e neste quesito a reutilização de subprodutos como uma proposta inovadora, positiva, barata e benéfica ao meio ambiente. As principais informações acerca dos estudos incluídos na revisão são contextualizadas na figura 1 e apresentadas nas tabelas 1 e 2.

Figura 1 - Reaproveitamento das cascas de pinhão



Fonte: Dos autores com dados da pesquisa

Tabela 1: Identificação, autor, data, local, títulos e tratamento.

Identificação	Autor/Data	Local	Título	Tratamento
01	Protzek1 <i>et al</i> , 2019	Brasil	A influência do tamanho da fibra no comportamento da casca de pinhão Araucaria/compósito PU	Peneirados através de peneiras de malha 30 e 50. Os compósitos foram moldados por mistura mecânica dos componentes seguidos por prensagem a quente.
02	Zhang, 2019	China	Extratos vegetais como casca de pinhão, casca de amendoim e folha de jujuba melhoraram a capacidade antioxidante e a permeabilidade ao gás dos filmes de quitosana	As amostras foram secas naturalmente após a limpeza para peso constante e foram moídas em pó usando um misturador moedor). Todo o pó seco foi colocado para passar por uma malha de 0,125 mm e armazenado em saco plástico à temperatura ambiente
03	Qin <i>et al</i> , 2019	China	Carbono poroso derivado de casca de pinhão preparado por ativação a vapor para material de eletrodo supercapacitor	Pirólise como um método termoquímico pode eficazmente converter biomassa em biochar.
04	Babich <i>et al</i> , 2019	Rússia	Estudo in vivo do potencial do complexo carboidrato-mineral de cascas de pinhão como ingrediente de produtos alimentares funcionais	O complexo carboidrato-mineral foi obtido por ultrafiltração do extrato da casca de pinhão triturado seguido de secagem por pulverização.
05	Li <i>et al</i> , 2020	China	Dopagem de nitrogênio de eletrodos de carbono poroso derivados de casca de pinhão para supercapacitores de alto desempenho	Primeiro, as cascas de pinhão coletadas foram lavadas com álcool e colocadas em um forno de secagem a. Depois a amostra pré-carbonizada foi misturada com hidróxido de potássio e uréia A mistura foi agitada continuamente à temperatura ambiente e colocada em uma câmara de secagem por 24 horas. A mistura seca foi ativada a uma taxa de aquecimento de 3 'C' /min em nitrogênio a 600 a 800 'C'.
06	Qin <i>et al</i> , 2020	China	Propriedades de armazenamento de carga supercapacitiva de carbonos porosos derivados de casca de pinhão	Antes do uso, as cascas de pinhão foram lavadas com água deionizada para remover a sujeira e posteriormente secas a 75 C por 24 h. As cascas foram pirolisadas a 500 C por 15 min para obter o biochar.
07	Qin <i>et al</i> , 2020	China	Influência de componentes de biomassa, temperatura e pressão no comportamento de pirólise e propriedades bioquímicas de cascas de pinhão	As cascas de pinhão foram trituradas em pó fino antes da pirólise.. Além disso, os teores de cinzas e matéria volátil (VM) foram determinados de acordo com a Norma Nacional Chinesa GB/T 212-2001. A fração de carbono fixo (FC) foi calculada subtraindo-se os teores de cinzas e VM.
08	Wang, Wang e Gao 2020	China	Biochar magnético modificado com brometo de cetil trimetil amônio a partir de cascas de pinhão para remoção eficiente do ácido cromo azul K	As cascas de pinhão são lavadas com água deionizada, secas e esmagadas em forma de pó, que foi registrado como P. Depois de passar a tela fina de 80 mesh, o pó de casca de pinhão é derramado no cadinho e aquecido no forno abafador a 700, com a taxa de aquecimento chegando a 10 @CAP_ALL\$c min-1. O biochar da casca de pinhão é obtido e registrado como C.
09	Mestre <i>et al</i> , 2022	Portugal	Carbonos ativados derivados de casca de pinhão projetados para melhor remoção de produtos farmacêuticos recalcitrantes no tratamento de águas residuais urbanas	Seguiu-se um processo de aquecimento em duas etapas: carbonização (do resíduo de biomassa para produzir o carvão), moagem e peneiramento do carvão com ativação adicional do vapor.
10	Gama <i>et al</i> 2023	Brasil	Processo de membrana e adsorção em casca de pinhão para remoção de corante de águas residuais sintéticas	Foi utilizado um módulo de filtração frontal para separação das membranas depois acoplado a um compressor LimaTec. As membranas foram compactadas com água não lavrada a uma pressão de 3 bar por 30 min. A permeabilidades hidráulicas das membranas foram desencorajadas também com água destilada.

Fonte: Dos autores com dados da pesquisa.

Tabela 2: Identificador, autor/data, objetivo, resultados e conclusões.

Autor/Data	Objetivo	Conclusão
01 Protzek <i>et al</i> , 2019	Avaliar o efeito do tamanho da casca de pinhão nas propriedades mecânicas, físicas e térmicas de compósitos feitos de poliuretano de mamona e casca de pinhão.	A densidade foi maior para com fibras mais finas, e a absorção de água aumentou com o tempo, teor de fibra e diminuição do tamanho das partículas. Resistência à flexão foi maior para compósitos com maior quantidade de fibras e tamanhos menores. Uma boa interface fibra-matriz, bem como a presença de micro bolhas, que são inerentes ao processo produtivo, foi demonstrado pelas micrografias de MEV
02 Zhang, 2019	Desenvolver o filme de embalagem antioxidante e de permeabilidade ao gás, foram estudados os efeitos de três extratos vegetais (casca de pinhão, casca de amendoim e folha de jujuba) sobre as propriedades físicas, antioxidantes e estruturais de filmes biodegradáveis à base de quitosana.	A casca de pinhão, a casca de amendoim e a folha de jujuba de inverno podem ser usadas para fabricar filmes compostos de quitosana que exibem uma boa atividade antioxidante. A adição de três extratos de plantas diminuiu significativamente o grau de inchamento dos filmes em água e as propriedades mecânicas, e aumentou a capacidade dos filmes de permear vapor de água, oxigênio e dióxido de carbono. Isso será útil para desenvolver uma embalagem de atmosfera modificada ativa de frutas e legumes. Três extratos de plantas também alteraram a microestrutura, a estrutura química e as propriedades térmicas dos filmes.
03 Qin <i>et al</i> , 2019	Fornecer uma abordagem para preparar carvão ativado poroso da casca de pinhão como um material de eletrodo de alto desempenho e alcançar a utilização de bioresíduos de alto valor agregado	O carvão ativado poroso derivado de resíduos de biomassa (PNS) foi preparado por ativação de vapor ecológico combinado com pirólise contínua. O CAP possui estruturas porosas hierárquicas interligadas bem desenvolvidas que consistem em microporosos, mesoporosos e macroporosos, que encurtam a via de transporte de íons eletrólitos.. Após 10000 ciclos do teste, a taxa de retenção da capacidade do PAC foi mantida em 98% em uma densidade atual de 5 A g-1 , sugerindo a boa capacidade da taxa. Uma abordagem fácil para conversão de alto valor agregado e aplicação de PNS como material de eletrodo foi demonstrada.
04 Babicha <i>et al</i> , 2019	Avaliar a segurança <i>in vivo</i> e a presença do efeito do aumento da resistência no uso de produtos transformados da casca de pinhão.	No estudo <i>in vivo</i> , a segurança e o efeito expresso das amostras experimentais do complexo carboidrato-mineral no aumento na resistência física foram provados, que torna possível a utilização deste produto do processamento de cascas de pinhão como componente funcional da formulação de produtos alimentares desportivos. Incluindo receitas para produtos lácteos fermentados com propriedades pré-bióticas, cereais instantâneos, e granulados secos. Assim, surge a perspectiva de utilizar os produtos do processamento de cascas de pinhão como ingrediente alimentar e como um estimulador eficaz da atividade física para uso na prática esportiva, inclusive em condições de aumento do esforço físico.
05 Li <i>et al</i> , 2020	Buscar por novas energias renováveis e equipamentos de armazenamento de energia ecologicamente corretos.	Boa estabilidade de ciclo tornam o material de carbono poroso de casca de pinhão um potencial material de eletrodo de supercapacitor.
06 Qin <i>et al</i> , 2020	Obter materiais porosos de carbono de alto desempenho e fornecer um método potencial para a utilização de resíduos de casca de pinhão de alto valor.	Excelentes carbonos porosos de casca de pinhão foram preparados por KOH, H3PO4 e vapor ativação e exibiu uma estrutura 3DNP, estrutura de camada em forma de fenda e estrutura hierárquica regular dos poros, respectivamente. Os diferentes ativadores influenciaram claramente a estrutura, os grupos funcionais de superfície e os elementos de conteúdo. A densidade de energia do supercapacitor K-AC-S atingiu 23,45 Wh/kg, que é maior do que a maioria dos derivados de biomassa supercapacitores simétricos montados em carbono poroso. Este é um material de eletrodo para supercapacitores.

07	Qin <i>et al</i> , 2020	Comparar os rendimentos, composição centesimal, estrutura e morfologia superficial de biocarvão derivado de lignina, celulose, hemicelulose e casca de pinhão. Os biocarvões de C. PNS obtidos em diferentes pressões de pirólise na faixa de 0,1-2,0 MPa também foram estudados.	As propriedades das cascas de pinhão foram significativamente afetadas pela temperatura e pressão da pirólise. Análises comparativas indicam que a lignina e a celulose contribuíram principalmente para a produção e SSA dos biocarvões, respectivamente. O aumento da temperatura de pirólise teve um efeito positivo sobre o HHV do biochar, e o aumento da pressão de pirólise aumentou o rendimento do biochar, os grupos funcionais de superfície e as características de combustão. As cascas de pinhão apresentaram excelente capacidade de adsorção para Pb ²⁺ , com valor máximo de 237,3.
08	Wang, Wang e Gao 2020	Utilizar os recursos de resíduos agrícolas e reduzir a poluição ambiental, transformando cascas de pinhão em um adsorvente eficiente e reciclável	De acordo com os resultados do experimento, a adsorção do CTAB-MC para AK conformou-se ao modelo cinético de pseudo-segunda ordem e ao modelo isotérmico de Langmuir. CTAB-MC pode ser usado repetidamente por três vezes. No geral, o CTAB-MC é considerado um adsorvente econômico adequado para tratamento de águas residuais e tem uma ampla perspectiva de aplicação.
09	Mestre <i>et al</i> , 2022	Demonstrar medidas para melhorar o controle de Phcs em AS-WTPs urbanas, nomeadamente estratégias baseadas na adsorção de ativados em pó para soluções eficazes, de baixo investimento e eficientes em termos de recursos que promovam a economia circular	Os resíduos de produção de pinhão (pinhas - PC e casca de pinhão - PNS) revelaram-se valiosos precursores para a síntese de carvões ativados em pó (PACs) de alto desempenho. Os novos ativados em pó tiveram um desempenho melhor do que os benchmarks comerciais amplamente utilizados de origem mínima, para a remoção de matéria orgânica dissolvida (DOM) e Phcs de águas residuais urbanas, através da adição de PAC ao licor misto do reator biológico da ETAR ou a jusante, pós-tratamento do efluente secundário. Além disso, os materiais CAP derivados da casca de pinhão alcançaram redes porosas hierárquicas mais desenvolvidas do que as já relatadas na literatura.
10	Gama <i>et al</i> , 2023	Avaliar o processo de separação por membrana e adsorção em casca de pinhão, separadamente e sequencialmente, para remoção de corante reativo azul 5G de um efluente sintético.	O processo de separação por membrana foi mais eficiente com a membrana de celulose regenerada, a uma pressão de 0,5 bar, com agitação, atingindo uma remoção máxima de 35,9% com um fluxo de permeado estabilizado de aproximadamente 140 kg h ⁻¹ m ² . O processo combinado de separação por membranas, obtido por adsorção sobre casca de pinhão, apresentou resultados superiores aos processos isolados, obtendo uma remoção de corante de 98,7% e uma solução final de 0,6 ppm. Assim, essa combinação torna-se uma alternativa viável ao tratamento de efluentes têxteis contendo o corante reativo azul 5G, devido ao baixo custo de implantação de ambos os processos e à utilização de um adsorvente alternativo considerado resíduo.

Fonte: Dos autores com dados da pesquisa

DISCUSSÃO

Esta revisão sistemática buscou descrever os registros da literatura de artigos científicos que tenham investigado, nos últimos cinco anos (2019 – 2024), as possíveis formas de reutilizar as cascas do pinhão de maneira sustentável. Após o processo de busca e seleção, chegou-se a um total de dez estudos incluídos. Os principais achados da presente revisão sistemática indicam A) diferentes métodos de tratamento para reutilização da casca de pinhão; B) o produto final do reaproveitamento das cascas de pinhão; C) a China como maior interessada no resíduo casca de pinhão.

Nos estudos apresentados é possível observar diferentes métodos no tratamento das cascas de pinhão, os dez estudos se dividem em 9 métodos que se mostram positivos de acordo com os resultados das pesquisas. Observa-se também, que alguns estudos apresentam métodos que têm a mesma linha de ação, mas se divergem por variantes que corroboram para sua pesquisa, como por exemplo os estudos 01, 02, 05, 07, 08 e 09 tem a moagem e peneiramento em comum, em contrapartida, utilizam peneiras e formas de secagem diferentes, o que muda totalmente o produto final e sua utilização.

Já os estudos 03 e 06 trazem a pirólise sem nenhum tipo de modificação na estrutura das cascas do pinhão anterior a aplicação do método, enquanto os estudos 04 e 10 realizam tratamentos totalmente distintos para extração de elementos presentes na casca do pinhão, onde o primeiro realiza ultrafiltração do extrato da casca de pinhão, e o segundo utiliza módulo de filtração frontal com membranas planas.

Em relação ao produto final das cascas do pinhão os estudos trazem inovações através desse subproduto, sendo que, com os achados desta revisão sistemática, entende-se que é possível utilizar as cascas de pinhão para diversos fins. Para os estudos 03, 05, 06, 07 podem ser utilizados na produção de energia renovável quando transformada em carbono poroso, o que é importante na interação com economia circular, onde as fontes de energia se regeneram naturalmente com o tempo. A Organização das Nações Unidas (ONU) considera a energia renovável como aquela derivada de fontes naturais, que vão se renovando ao passar do tempo.

Tem-se também a produção de filtros fluviais através da casca do pinhão, enquanto o estudo 08 desenvolveu um absorvente utilizando brometo de metil-

trimetilamônio modificado com material biochar magnético da casca do pinhão para o cromo ácido trazendo ótimos resultados o estudo 09 trabalhado com o carvão ativado como base para o tratamento de resíduos farmacêuticos e o estudo 10 trouxe a transformação da casca de pinhão em membrana para a remoção de corantes de água residual de empresas têxteis. Com o achado do último estudo podemos enfatizar sua importância dentro da sustentabilidade, levando em conta que uma das grandes geradoras de poluição são as efluentes aquosas, mais especificamente os corantes, como por exemplo as indústrias têxteis (CASSEMIRO, 2014).

Em uma ideia dentro da indústria alimentícia o estudo 02 traz a proposta de construção de uma embalagem filme de quitosana comestível antioxidante e de permeabilidade aos gases naturais utilizando a casca de pinhão, a casca de amendoim e a folha de jujuba de inverno, enquanto o estudo 04 mostra a segurança do complexo carboidrato-mineral retirado das cascas do pinhão, o que transforma esse sub resíduo em um componente funcional da formulação de produtos alimentares desportivos, o estudo ainda enfatiza que existirá uma nova pesquisa com a formulação de produtos derivados da casca do pinhão. Neste sentido, tem-se os benefícios funcionais e nutricionais da casca do pinhão que não geram nenhum mal ao consumidor. Silva *et.al.*, (2015) traz que a quitosana é um polímero atóxico, biodegradável, em que as propriedades vêm sendo exploradas em aplicações nas indústrias e tecnologias.

Existe também o estudo 01 que buscou utilização da casca do pinhão na produção de poliuretano, comparando diferentes tamanhos de fibras na análise de propriedades mecânicas, físicas e térmicas de compósitos feitos de poliuretano de mamona, onde as fibras finas se mostraram mais eficientes neste processo. De acordo com Soares (2011), os polióis líquidos gerados por oxipropilação de subprodutos possuem propriedades que podem ser usados para economizar na produção de vários materiais, como por exemplo poliuretanos e poliésteres, sendo que explorar estes subprodutos, torna-se uma matéria-prima acessível e renovável.

Outro aspecto a ser observado são as origens das publicações, uma da Rússia (04), uma de Portugal (09) e duas do Brasil (01; 10) já a China traz um total de seis (02; 03; 05; 06; 07 e 08) dos estudos incluídos. Embora se tenha três trabalhos de um mesmo autor da China (03; 06 e 07) ainda são três autores da China o que classifica esta região como

maior interessada na reutilização das cascas de pinhão, seguida do Brasil com dois autores. A China é um grande consumidor de pinhão, são 10.000 toneladas de pinhões que o Afeganistão exporta para a China por ano (Monitor Mercantil, 2022). Por esse motivo pode-se afirmar que a casca de pinhão é um subproduto gerado em grande quantidade, o que leva a China a ter um grande interesse nessa reutilização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi conduzir uma revisão sistemática da literatura para descrever aplicações sustentáveis do aproveitamento de subprodutos do processamento do pinhão. Por meio dos achados identificam-se diferentes métodos de tratamento para reutilização da casca de pinhão, frequentemente considerada um resíduo, pode ser um subproduto reutilizado de várias maneiras sustentáveis.

A utilização de forma sustentável promove a economia circular e a conservação ambiental. Pode-se dizer que dentre os produtos finais do reaproveitamento de cascas de pinhão estão: filtros fluviais, embalagem filme de quitosana comestível, produção de poliuretano, carbono poroso, componente funcional para formulação de produtos alimentares desportivos.

Também utiliza-se a casca de pinhão para contribuir na redução de desperdícios de biomassa, gerando energia renovável, utilizando de forma eficiente os recursos naturais. Sendo que, a utilização eficiente dos recursos, gera benefícios aliados ao desenvolvimento sustentável.

Com o estudo foi possível compreender que tem lacunas ainda a serem investigadas, que poderiam ser pesquisas interessantes, inclusive que tivessem investimentos, que fossem descobertos novos usos para a casca do pinhão, como ingredientes para cosméticos naturais, produtos farmacêuticos ou indústria alimentícia.

REFERÊNCIAS

- ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F. Development and growth curve of the pinecones of *Araucaria angustifolia*, in the region of Curitiba. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p.665-669, 2008.
- BALBICH, Olga; *et.al.* In vivo study of the potential of the carbohydrate-mineral complex from pine nut shells as an ingredient of functional food products. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**,v. 18, Russia, abr 2019.
- BRDE. Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul. **Cultivo da Araucaria angustifolia: análise de viabilidade econômico-financeira**. Florianópolis, p. 53, 2005.
- CASSEMIRO, Heitor de Assis. **Estudo da remoção de corante de indústria têxtil de soluções aquosas por adsorção em resíduo agrícola**. 2014. 4 f. Iniciação científica (ENGENHARIAS, ENGENHARIAS E ARQUITETURA)- Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Vales Do Jequitinhonha E Mucuri, 2014.
- CARVALHO, P. E. R. **Pinheiro-do-paraná**. (Circular Técnica, 60), EMBRAPA FLORESTAS, p.1-17, 2002.
- COCHRANE. Preparing, maintaining and promoting the accessibility of systematic reviews of the effects of health care interventions. 2012. **The Cochrane Collaboration**. [S. l.]: Library, 2012.
- EMBRAPA. **Co-produtos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agroindustria-de-alimentos/co-produtos/portal-antigo>> Acesso em 30 Mai 2024
- FILHO, Wilson B.; FRANCO, Carlos Ramon. **Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil**. Revista Virtual de Química, v. 6, p. 1968-1987, 2015.
- FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **FAO comemora Dia Internacional de Conscientização sobre a Perda e o Desperdício de Alimentos com chamado à ação**, 2022. Disponível em:<https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1607352/> Acesso em: 27/05/2024
- PARLAMENTO EUROPEU. **Economia circular: definição, importância e benefícios**, 2023. Disponível em: <<https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20151201STO05603/economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios>> Acesso em: 28 Mai 2024
- VALENTE, Joana Miguel Leite Duarte. **Subprodutos Alimentares: Novas Alternativas e Possíveis Aplicações Farmacêuticas.2005**. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas.)Universidade Fernando Pessoa Disponível em:

https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5312/1/PPG_23519.pdf. Acesso em 28 de maio 2024

LIMA, E.C.; ROYER, B.; VAGHETTI, J.C.P.; BRASIL, J.L.; SIMON, N.M.; JUNIOR, A. S.; PAVAN, F.A.; DIAS, S.L.P.; BENVENUTTI, E.V.; SILVA, E.A. Adsorption of Cu(II) on Araucaria angustifolia wastes: Determination of the optimal conditions by statistic design of experiments. **Journal of Hazardous Materials**, v.140, p.211-220, 2007.

HENRÍQUEZ, C.; ESCOBAR, B.; FIGUEROLA, F.; CHIFFELLE, I.; SPEISKY, H.; ESTÉVEZ, A.M. **Characterization of piñon seed (Araucaria araucana (Mol) K. Koch) and the isolated starch from the seed.** Food Chemistry. v.107, p.592- 601, 2008.

KOCH, Z.; CORRÊA, M.C. **Araucária: a floresta do Brasil meridional.** Curitiba: Olhar Brasileiro. p.148. 2002

SOARES, B.I.G. . **“Valorização de subprodutos industriais por oxipropilação.”**Tese de mestrado em Engenharia Química.” Departamento de Química. Universidade de Aveiro. 2011

SILVA, M. G. ; SILVA, S. B. ; SILVA, J. ; SANTIN, C. K. ; SOUZA, D. ; FROTA JR, M. **Caracterização de filmes à base de quitosana.** 2015

NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. O que são energias renováveis? Disponível em <<https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2022/11/o-que-sao-energias-renovaveis>> Acesso em 01 Jun 2024.

IBGE. 2022 **Produção de pinhão.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pinhao/br>>. Acesso em 04 Jun 2024.

NASCIMENTO FILHO, W.B.; FRANCO, C.R. **Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil.** Revista Virtual de Química, v.7, n.6, p.1969-1974, 2015.

MESTRE, Ana S; VIEGAS, Rui M.C; MESQUITA, Elsa; ROSA, Maria João; CARVALHO, Ana. Engineered pine nut shell derived activated carbons for improved removal of recalcitrant pharmaceuticals in urban wastewater treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 437, Portugal, jun 2022.

MONITOR MERCANTIL. **Paixão dos chineses por pinhões ajuda exportadores afegãos.** Disponível em: <<https://monitormercantil.com.br/paixao-dos-chineses-por-pinhoes-ajuda-exportadores-afegaos/>>. Acesso em 04 Jun 2024.

QIN, Liyuan; WU, Yang; HOU Zhiwei; JIANGA, Enchen. Influence of biomass components, temperature and pressure on the pyrolysis behavior and biochar properties of pine nut shells. **Bioresource Technology**, v. 313, China, out 2020.

GAMA, Lucas, *et al.* Membrane process and adsorption on pine nut shell for removal of dye from synthetic wastewater. **Environmental Technology**, Brasil, dez. 2023.

LI, Jinghua, *et al.* Nitrogen Doping of Porous Carbon Electrodes Derived from Pine Nut Shell for High-Performance Supercapacitors, **International Journal of Electrochemical Science**, v. 15, China, p.6041-6051 jul. 2020.

ZHANG, Xiaoyan, *et al.* Plant extracts such as pine nut shell, peanut shell and jujube leaf improved the antioxidant ability and gas permeability of chitosan films, **Jornal Internacional de Macromoléculas Biológicas**, v. 148, China, p. 1242-1250, abr 2020.

QIN, Liyuan, *et al.* Porous Carbon derived from Pine Nut Shell prepared by Steam Activation for Supercapacitor Electrode Material. **International Journal of Electrochemical Science**, v.14, China, p. 8907-8918, sep. 2019.

QIN, Liyuan; HOU Zhiwei; ZHANG, Shihui; ZHANG Wei; JIANG, Enchen. Supercapacitive charge storage properties of porous carbons derived from pine nut shells. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 866, China, jun. 2020.

PROTZERK, Ribeiro, *et al.* The influence of fiber size on the behavior of the araucaria pine nut shell/PU composite. **Polímeros: Ciência e Tecnologia, Brasil**, jun. 2019.

VAZ JUNIOR, S. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável**. Brasília/DF: Embrapa, 2020.

ZANETTE, F, *et al.* **Particularidades e biologia reprodutiva de Araucaria angustifolia**. Cap.1. In: Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios / Ivar Wendling, Flávio Zanette, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

WANG, Huan; WANG, Shan; GAO, Yihong. Cetyl trimethyl ammonium bromide modified magnetic biochar from pine nut shells for efficient removal of acid chrome blue K. **Journal Pre-proofs**, v. 312, China, may 2020.