12º INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECHNOLOGICAL INNOVATION
NOVEMBER, 27TH TO 29TH
ARACAJU/ SERGIPE/BRAZIL

SITUAÇÃO PATENTÁRIA DA PIRÓLISE DE RESÍDUOS DO COCO PARA GERAÇÃO DE BIOENERGIA E BIOPRODUTOS

Hortência E. P. Santana – hortencia010@hotmail.com
Programa de Doutorado da Rede Nordeste de Biotecnologia, Universidade Federal de Sergipe
Kelly Anne Santos do Nascimento – kelly.cefet@gmail.com
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Propriedade Intelectual, Universidade Federal de Sergipe
Isabelly Pereira Silva – isabellypereira@outlook.com
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe
Denise Santos Ruzene - ruzeneds@hotmail.com
Programa de Doutorado da Rede Nordeste de Biotecnologia, Universidade Federal de Sergipe
Daniel Pereira Silva - silvadp@hotmail.com
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Propriedade Intelectual, Universidade Federal de Sergipe

***Resumo*—**Com a urgente necessidade em desenvolver um sistema produtivo sustentável, a biomassa lignocelulósica tem emergido como matéria-prima chave nesse processo. O aproveitamento dessa biomassa para fins energéticos além de ser uma fonte abundante e de baixo custo também contribui com o manejo adequado de resíduos oriundos das produções agrícolas como a do coco (*Cocos nucifera*), os quais são de lenta degradação e geralmente acabam como poluentes no ambiente. Para promover esse mercado, a tecnologia de pirólise é empregada para converter os polímeros que compõem a lignocelulose em compostos sólidos, líquidos e gasosos de qualidade melhorada, sendo úteis para a produção de químicos e combustíveis. Como forma de verificar e analisar em quais contexto a combinação da pirólise e resíduos do coco tem sido utilizada para expansão das biorrefinarias, efetuou-se por meio de prospecção tecnológica nos bancos de patentes das bases World Intellectual Property Organization (WIPO) e Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) a avaliação da situação patentária na temática. Os resultados demonstraram que a principal destinação da pirólise dos resíduos do coco tem sido para formulação do biocavão e biocarbono como intermediários ou parte do processo em uma diversidade de setores industriais, entretanto ainda não há patentes destinadas a obtenção dos produtos voláteis da pirólise (bio-óleo e gás pirolítico).

***Palavras-chaves*—**pirólise, coco, patente, prospecção tecnológica.

***Abstract*—** Due to the urgent need to develop a sustainable production system, lignocellulosic biomass has emerged as a key element of this process. The use of this biomass for energy purposes, besides being an abundant and low-cost source, also contributes to adequate agricultural waste management such as from coconut (Cocos nucifera) production, which are slowly degraded and generally end up as pollutants in the environment. To promote this market, pyrolysis technology is used to convert the polymers from lignocellulose into solid, liquid and gaseous compounds of upgraded quality, being useful for the production of chemicals and fuels. To track and analyze in which context the combination of pyrolysis and coconut waste has been used to expand biorefineries, by means of technological prospecting in the World Intellectual Property Organization (WIPO) and National Institute of Industrial Property (INPI) databases it was analyzed the status of the patents on the subject. The results demonstrated that the leading destination for the pyrolysis of coconut waste has been for the formulation of biochar and biocarbon as intermediates or part of the process in a variety of industrial sectors, however, no patents were identified for obtaining the volatile pyrolysis products (bio-pyrolytic oil and gas).

***Keywords*—** pyrolysis, coconut, patent, technological prospecting.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia concomitante com os problemas relacionados a intensa degradação ambiental tem motivado uma busca mundial por alternativas aos combustíveis fósseis (OSMAN et al., 2023). Sendo um material de natureza orgânica, a biomassa vegetal está entre as fontes renováveis de maior importância para expandir a capacidade de energia produzida com mínima emissão de gases do efeito estufa. A biomassa lignocelulósica, em particular, que inclui resíduos agrícolas e florestais, é uma matéria-prima favorável a um quadro de economia circular neutro em carbono e com segurança energética, tanto por ser abundantemente encontrada na natureza quanto por ser disponível a baixo custo (DING et al., 2023). Em vista desses atributos, o emprego da biomassa lignocelulósica como base das biorrefinarias tem sido tópico de interesse na academia científica e setores industriais (PAONE; TABANELLI; MAURIELLO, 2020; USMANI et al., 2020).

A matéria lignocelulósica representa 90% de toda biomassa vegetal disponível na crosta terrestre (YOGALAKSHMI et al., 2023), acumulando um volume de $200x10^9$ toneladas por ano das quais estima-se que 998 milhões de toneladas são na forma de resíduos agrícolas e agroindustriais (AWOGBEMI; KALLON, 2022; SAINI; SAINI; TEWARI, 2015). Tais resíduos são geralmente queimados ou descartados inadequadamente no meio ambiente, de maneira que acabam por causar um impacto negativo no solo, ar e água, sobretudo em locais de intensa produção agrícola (AWOGBEMI; KALLON, 2022). Nesse contexto, o cultivo de coco está entre os que mais geram preocupação globalmente devido a proporção de resíduos gerados. Além de ser de lenta degradação (cerca de 10 anos), a parte não comestível do coco constitui cerca de 62-65% do peso do fruto, (SINGH et al., 2022). Comumente descartados em praias e terrenos baldios, a destinação dos resíduos do coco, seja do fruto maduro ou ainda verde, é tema de discussão no Brasil e demais países de clima tropical, como Indonésia e Índia. Dessa forma, sendo as cascas e fibras do coco um material de origem lignocelulósica com propriedades fitoquímicas, estes tem sido estudados e explorados para a produção de energia e bioprodutos, como para: polímero de glicose (ABDESHAHIAN et al., 2021), compostos a base de fósforo (DE SOUSA NASCIMENTO et al., 2023), carvão ativado como adsorvente (FREITAS; NOGUEIRA; FARINAS, 2019), entre outros. Sendo assim uma forma de contribuir com a expansão de um sistema renovável de base biológica e de dar uma destinação adequada a possíveis poluentes (SOUSA et al., 2018).

Os materiais lignocelulósicos tem como base uma composição química de celulose, lignina e hemicelulose, e menores quantidades de componentes como pectina, proteínas, extrativos e inorgânicos (BASU, 2018). A celulose é um polissacarídeo de glicose em ligações β (1–4), a hemicelulose um polissacarídeo ramificado e heterogêneo de monômeros de açúcares com seis e cinco carbonos, e a lignina um componente de perfil aromático composto por unidades de álcool coniferílico, álcool p-cumarílico e álcool sinapílico. Juntas essas macromoléculas são responsáveis pela estrutura da parede celular vegetal e constituem de polímeros com potencial para a conversão em variadas formas de energia (eletricidades e combustíveis) e compostos químicos utilizados na indústria química, farmacêutica e alimentícia (BASU, 2018; VU et al., 2020).

A energia da biomassa pode ser obtida por meio de diferentes processos bioquímicos e termoquímicos, como fermentação, combustão, gaseificação e pirólise, cuja tecnologia empregada depende do tipo e propriedade da biomassa e do produto energético de interesse (KUMAR et al., 2020). Dentre esses, a pirólise pode ser citada como uma das tecnologias mais bem estabelecidas e flexíveis, gerando combustíveis líquido, sólido e gasoso. A pirólise refere-se a um processo termoquímico que ocorre em atmosfera livre de oxigênio e sob diferentes circunstâncias operacionais, sendo que a depender das taxas de aquecimento, temperaturas, tempos de residência empregados pode ser classificada como lenta, intermediária ou rápida (RAHIMI; ANAND; GAUTAM, 2022).

Durante o processo pirolítico a biomassa é submetida a mudanças físicas e uma complexidade de reações termoquímicas simultâneas de desoxigenação, craqueamento, aromatização, cetonização, condensação aldólica, hidrotratamento e de reforma, as quais promovem a decomposição de sua estrutura química e a formação de uma diversidade de compostos orgânicos mais densos energeticamente que irão compor as frações de bio-óleo, biogás e biocarvão (biochar) (YU et al., 2021).

O biocarvão é um composto sólido formado basicamente por carbono, grupos funcionais ricos em radicais livres, minerais e traços de metais, sendo caracterizado por sua reatividade, estrutura porosa, capacidade de troca catiônica e absorção. As aplicações do biochar incluem: eletrodo para baterias de lítio e supercapacitores, catalisador para reações de oxi-redução, remediação de solos, na remoção e estabilização de poluentes (QIN et al., 2022). O gás pirolítico é uma mistura de gases, como H_2, CO e CO_2, e hidrocarbonetos como metano, etileno, propano, propileno, butano e butileno, os quais são gases combustíveis (LEE et al., 2023). O bio-óleo, por sua vez, é um composto líquido de hidrocarbonetos, hidrocarbonetos alifáticos, compostos fenólicos, furanos, ácidos orgânicos, ésteres, álcoois, éteres, aldeídos, cetonas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH), e açúcares (CHEN et al., 2022). O bio-óleo pode ser utilizado em turbinas e caldeiras para geração de calor e eletricidade, ser melhorado para combustíveis de transporte “drop-in”, bem como fonte de diversos produtos químicos com alto valor agregado entre os quais levoglicosana, hidroximetilfurfural, furfural, ácido acético e ácido fórmico (KUMAR et al., 2020).

Assim, baseado no exposto quanto a viabilidade de se aproveitar os resíduos da cultura de coco como matéria-prima de biorrefinarias e do potencial do processo de pirólise em converter a biomassa lignocelulósica em compostos mais densos energeticamente e com valor de mercado, o presente trabalho tem por objetivo efetuar uma busca em banco de patentes a fim de se verificar a situação patentária do emprego da pirólise para conversão dos resíduos do coco e com isso avaliar como as aplicabilidades desta tecnologia estão sendo exploradas e quais as lacunas e oportunidades deste mercado a nível mundial e nacional.

2 METODOLOGIA

Para consultar a atual situação patentária da pirólise dos resíduos do coco para síntese energética foi realizada uma prospecção tecnológica em patentes por meio de buscas nas bases Patentscope da World Intellectual Property Organization (WIPO) e do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). A pesquisa foi conduzida utilizando a combinação de palavras-chaves, caracteres e operadores booleanos que abrangessem o maior número possível de documentos relacionados a temática: ("pyrolysis*" AND ("coconut*" OR "nucifera" OR "coco*")) no WIPO; ("pirólise*" AND ("coco*" OR "nucifera*") no INPI.

Na plataforma da WIPO a pesquisa dos termos foi realizada em ‘*simple search*’ e selecionada “*front page*” dos documentos depositados como campo de busca, enquanto na plataforma do INPI as buscas foram conduzidas utilizando a busca avançada com palavras-chave inseridas no campo “resumo”. Dos documentos encontrados foram extraídas informações em relação ao ano de publicação, país de origem e Classificação Internacional de Patente (CIP). Em seguida foi realizada uma análise e interpretação das publicações em termos de aplicabilidade e relação a temática.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da busca performada com o *query* definido, conforme descrito na metodologia, foram encontrados um total de 2 publicações na plataforma nacional INPI e 41 na WIPO, sendo o volume maior deste último esperado por se tratar de uma base de nível mundial.

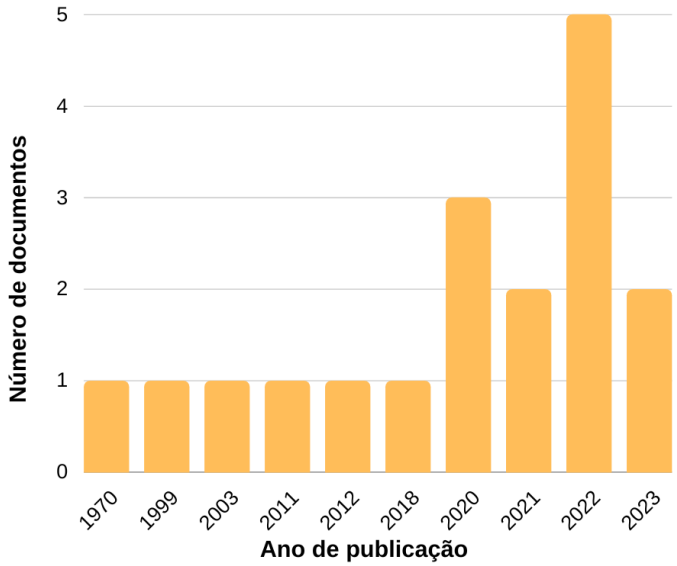
Em relação aos resultados da plataforma do INPI, verificou-se que nenhum dos dois documentos recuperados tratavam sobre a pirólise de resíduos de coco. O PI9806361 refere-se a um processo e forno para pirólise de biomassa de madeira visando a obtenção de biocarvão, recuperação de voláteis ou obtenção de madeira anidra, tendo este sido encontrado em razão de um trecho do resumo que comenta sobre um tipo de

reator para biomassas de pequena dimensão, tal qual a casca de coco. O segundo documento, o PI0900731, refere-se a um método e aparelho de pirolise, tendo sido encontrado devido o termo pesquisado "coco*" e o termo "cocorrente" que caracteriza o tipo de circulação do material no reator em questão.

Para as publicações obtidas na WIPO, após análise individual das descrições e reinvindicações observou-se que 21 dos 41 documentos não tratavam da pirólise de resíduos do coco, sendo estas reivindicações grosseiramente abrigadas em três linhas: (1) pirólise de outros tipos de biomassa para produção de biocarvão ou compostos químicos em paralelo ao uso direto (ou após tratamento físico) de resíduos do coco ou óleo de coco para produção de substratos e meio de culturas, melhoramento de inseticida e pomada, síntese de cerâmicas, e composição aditiva de decomposição; (2) Métodos e aparelhos de gaseificação em reator concorrente (*cocurrent*, em inglês) em que utilizam de sistemas multiestágios com separação de zona da pirólise e zona de gaseificação, estes foram encontrados devido ao uso do termo "coco*"; (3) pirólise de casulo de bicho da seda (*silk cocoon*, em inglês) para produção de pilhas e sistema de pneu de junção, sendo estes encontrados também devido ao uso do termo "coco*" presente no query. Além dos depósitos que fugiam da proposta, também foi observado que 3 documentos se referiam ao mesmo pedido de patente, de maneira que apenas um deles foi considerado para a discussão, restando assim 18 documentos distintos e recuperados pela busca realizada no WIPO. Estes serão destrinchados a seguir.

A Figura 1 apresenta a distribuição das publicações por ano, em relação aos 18 documentos distintos e recuperados pela busca realizada e compreendidos realmente na temática alvo deste trabalho. Observa-se que, desde a primeira patente o intervalo entre os anos com publicações foi diminuindo ao longo do tempo, tornando-se recorrente desde 2020 e tendo o pico de publicação em 2022 (5 documentos). Ainda é possível perceber que embora a primeira publicação tenha ocorrido há mais de 50 anos o período que compreende de 1970 – 2018 detém apenas 6 destas. Esse aumento em anos mais recentes corrobora também com a tendência crescente de publicações de artigos científicos relacionados a tecnologias de pirólise e a exploração de resíduos de biomassa na economia circular, conforme evidenciado nos estudos de Spreafico, Russo e Spreafico (2021) e Ranjbari et al. (2022).

Figura 1. Quantidade de depósitos de patentes por ano sobre a pirólise dos resíduos do coco no WIPO[1]

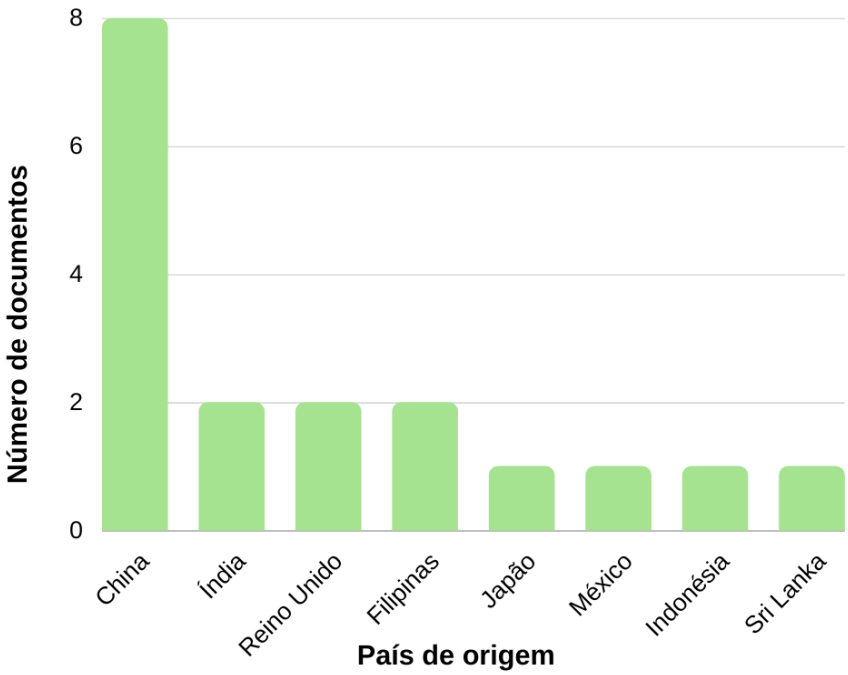


[1] resultados da busca com o query ("pyrolysis*" AND ("coconut*" OR "nucifera" OR "coco*")) e após análise de cada documento

Fonte: autores

No tocante aos países de origem, observa-se que a China detém a maior quantidade de depósito de patentes (8 documentos) correspondendo a quase 50% do total publicado, em seguida tem-se Reino Unido, Índia e Filipinas, com 2 documentos cada; e Indonésia, Japão, Sri Lanka e México, com uma publicação cada. Cabe comentar que Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanka são os quatro maiores produtores de coco mundial e juntos contemplam quase 80% da produção total, e o México está presente no ranking dos 10 maiores produtores, justificando assim o interesse desses países em aproveitar os resíduos desse cultivo (FAO, 2023). O grande destaque referente a China é possivelmente justificado pelo país ser o maior importador de coco e líder em pedidos de patentes em setores estratégicos como os de tecnologia energética e biotecnologia, os quais englobam a temática pesquisada (SALITSKII; SALITSKAYA, 2022).

Figura 2. Quantidade de depósitos de patentes por país sobre a pirólise dos resíduos do coco no WIPO[1]

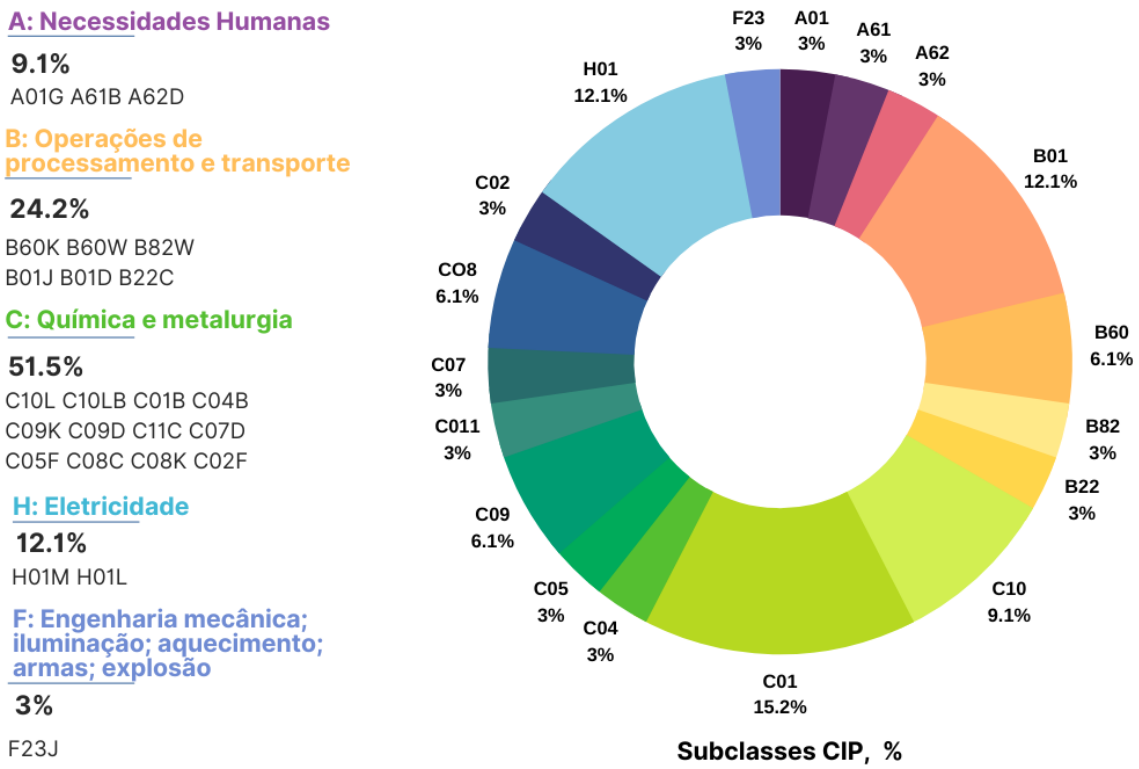


[1] resultados da busca com o query ("pyrolysis*" AND ("coconut*" OR "nucifera" OR "coco*")) e apósanálise de cada documento
Fonte: autores

Acerca da Classificação Internacional de Patentes (CIP), em que agrupa os pedidos com base na área tecnológica, foi possível verificar que os documentos recuperados estão contemplados em 5 grandes áreas/seções: (A) Necessidades Humanas; (B) Operações de processamento, Transporte; (C) Química e Metalurgia; (H) Eletricidades; e (F) Engenharia mecânica, iluminação, aquecimento, armas, explosão, sendo que mais de 50% dos pedidos estão inseridos na área de Química e Metalurgia (Figura 3). Em razão da pirólise ser um processo termoquímico empregado para conversão de materiais orgânicos em combustíveis e compostos de melhor conteúdo energético, o maior volume de publicações foi enquadrado entre as áreas de Química e Metalurgia, e Operações de processamentos, conforme esperado.

Na Figura 3 também é possível visualizar os campos mais específicos da aplicabilidade dos processos e produtos dos pedidos de patentes de acordo com a distribuição entre as subclasses e grupos, cuja descrição desses últimos estão dispostas na Tabela 1. As classes que aparecem em destaque são a C01B - elementos não metálicos e seus compostos, com ênfase na preparação ou purificação de carbono ativo (5 documentos); H01M - processos ou meios para a conversão direta de energia química em energia elétrica, com uso específico de eletrodos contendo ou consistindo compostos ativos (3 documentos); e B01J - processos químicos ou físicos especificamente para filtração e preparação de catalisadores (3 documentos).

Figura 3. Classificação Internacional de Patentes (CIP) dos depósitos de patentes sobre a pirólise dos resíduos do coco no WIPO[1]



[1] resultados da busca com o query ("pyrolysis*" AND ("coconut*" OR "nucifera" OR "coco*")) e após análise de cada documento

Fonte: autores

Partindo para a análise individual da descrição e reivindicações de cada documento é possível confirmar o enquadramento dos documentos nas classes e subclassses identificadas no CIP. Em grande parte, as patentes descrevem o emprego dos resíduos do coco (fibra e/ou casca) no processo pirolítico para produção de biocarvão/carbono poroso. Embora na literatura científica os estudos mais recentes de pirólise, NO GERAL, têm sido direcionados para maximizar a obtenção de bio-óleo, essa tecnologia foi, a princípio, desenvolvida para a obtenção do biocarvão, que em escala comercial, ainda é o produto pirolítico de maior aplicabilidade. Assim, o melhoramento das características e usos do biocarvão continuam a ser investigados, sendo, portanto, esperado que seja particular foco de patentes para o coco e outras biomassas.

Em revisão da literatura sobre a produção, desenvolvimento e aplicação de biocarvão obtidos de diferentes biomassas, Danesh et al. (2023) e Amalina et al. (2022), revelaram o uso desse produto na adsorção de contaminantes ambientais da água; melhoramento das propriedades físico-químicas do solo; como aditivo composto para o processo de compostagem; catalisador de reações para geração de combustíveis e compostos químicos; aplicações em ferramentas eletroquímicas como supercapacitadores e baterias; como combustível

sólido alternativo; e no sequestro de carbono, já que funciona como semidouro de gases do efeito estufa. Os estudos com biocarvão são, dessa forma, desenvolvidos para melhorar suas propriedades de teor de carbono, estabilidade, aromaticidades, densidade, pH, capacidade de troca catiônica, e área superficial específica, de acordo com a destinação de interesse (NOVOTNÝ, et al. 2023).

Para as aplicações do biochar obtido do resíduo de coco, a literatura científica reporta, além dos usos gerais mencionados, a imobilização de metais pesados em solo, o uso como substituto parcial do cimento, e material de enchimento no desenvolvimento de compósitos plásticos (IGHALO et al. 2023). Em relação aos documentos de patentes avaliados, o biocarvão foi reportado como o produto de interesse final (CN375992291; CN371156000; GB350364521) ou produto intermediário destinado para diferentes finalidades entre as quais: formulação de biobriquetes (IN394088988); tratamento de gás de alta temperatura (JP267931616); síntese de catalisador granular (JP267931616); preparação de material compósito (CN327303004); produção de material concreto permeável (PH353367050); preparação de carvão ativo microporoso (CN85406641); obtenção de revestimento hidrofóbico para cimento (PH3338597819); e revestimento de titanato de lítio em baterias (CN371156000).

As demais patentes com base na pirólise de resíduos de coco são: novo método para preparação de material de carbono que compreende em realizar a carbonização da pirólise no revestimento de uma solução tensoativa para obter um carbeto (CN349220213); purificação de água potável com pó de carbono da pirólise de fibra do coco (WO/2023/166331); uso de óleo de casca de coco obtido por destilação seguida de pirólise para formulação de borracha com plastificantes de base biológica (IN311134949); processamento de borracha natural utilizando fumaça líquida de pirólise de resíduos de casca de palma e coco (WO2004029148); fabricação de biocarbono (MX300038112); e biocarbono para melhoramento do processo de fundição (GB135367085). Vale comentar que 5 desses documentos incluem os resíduos do coco como opção de matéria-prima, mas não sendo específicos para tal.

Com base na busca e análise dos documentos de patentes recuperados é possível notar a relevância e versatilidade do aproveitamento dos resíduos de coco principalmente como matérias-primas para o melhoramento de diversos produtos de interesse da indústria química, farmacêutica e energética. Ao mesmo tempo, também foi observado que o uso de tais resíduos é quase basicamente destinado a produção de biocarvão, biocarbono ou compostos sólidos, não tendo sido identificado patentes visando a produção ou uso do bio-óleo e biogás, que são compostos intermediários para combustíveis e compostos químicos líquidos e gasosos equivalentes aos derivados de petróleo. Dessa forma fica também evidenciado que há uma lacuna quanto a exploração dos voláteis possíveis de serem gerados pela pirólise dos resíduos de coco para melhor adentrar essa tecnologia no mercado de combustíveis sustentáveis, os chamados “drop-in”. Cabe ainda ressaltar que há falta de patente do banco nacional INPI dentro da temática, o que evidencia a oportunidade e necessidade em explorar essa via no Brasil, uma vez que o cultivo de coco está entre as maiores culturas do país, sobretudo na região Nordeste.

4 CONCLUSÃO

A busca por depósito de patentes em bancos nacionais e internacionais relacionadas a implementação do processo de pirólise para aproveitamento dos resíduos do coco resultou na recuperação de 18 documentos enquadrados dentro da temática, sendo que nenhum deles foram de origem brasileira. A análise destes permitiu evidenciar que o uso desta tecnologia está principalmente voltado a produção de compostos sólidos (biocarbono e biocarvão) para serem usados nos melhoramentos de composição de outros produtos finais da indústria química, de energia, construção, transporte e farmacêutica, e por uso direto decorrente de suas propriedades de adsorção e porosidade. Com isso, conclui-se que a exploração desta tecnologia tem contribuído para a expansão dos bioprodutos em diversos setores, mas que ainda há lacunas para explorar a obtenção dos produtos voláteis da pirólise dos resíduos do coco, principalmente a nível nacional e direcionados a produção de combustíveis equivalentes aos derivados de petróleo.

Tabela 1. Subclasses e grupos identificados nos depósitos de patentes sobre pirólise de resíduos do coco de acordo com a Classificação Internacional de Patentes (CIP)

Classe	Subclasse	
A01: Agricultura; Silvicultura; Pecuária; Caça; Captura em armadilhas; Pesca.	**A01G**	Horticultura; Cultivo de legumes, flores, arroz, frutas, vinhas, lúpulos ou algas; Florestamento; Irrigação
A61: Ciência média ou veterinária; higiene	**A61B**	Diagnóstico, cirurgia; identificação; identificação
A62: Salvamento; combate a incêndio	**A62D**	Meios químicos para extinção de incêndio; transformação química para tornar inócuos ou menos nocivos os agentes químicos nocivos; composição de materiais para revestimentos ou roupas para proteção contra agentes químicos nocivos; [...]
B01: Processos ou aparelhos físicos ou químicos em geral	**B01D**	Separação
	B01J	Processos químicos ou físicos, por ex., catálise, química coloidal; Aparelhos pertinentes aos mesmos
B22: Fundição; metalurgia de pós-metálicos	**B22C**	Moldagem em fundições
B60: Veículos em geral	**B60K**	Disposições ou montagem de unidades de propulsão ou de transmissões em veículos; [...]; dispositivos correlatos a resfriamento, tomada de ar, exaustão de gases ou alimentação de combustível de unidades de propulsão em veículos
	B60W	Controle conjugado para sub unidade de veículos de tipo ou função diferente; sistemas de controle especialmente adaptados para veículos híbridos; [...]
B82: Nanotecnologia	**B82Y**	Usos específicos ou aplicações de nano estruturas; medidas ou análises de nano estruturas; fabricação ou tratamento de nano estruturas
C01: Química inorgânica	**C01B**	Elementos não metálicos; Seus compostos.
C02: Tratamento de água, de águas residuais, de esgotos ou de lamas e lodos	**C02F**	Tratamento de água, de águas residuais, de esgotos ou de lamas e lodos
C04: Cimento; concreto; pedra artificial; cerâmica; refratários	**C04B**	Cimento; concreto; pedra artificial; cerâmica; refratários
C05: Fertilizantes; sua fabricação	**C05F**	Fertilizantes orgânicos não abrangidos pelas subclasses C 05 B (fosfatados), C (nitrogenados)
C07: Química orgânica	**C07D**	Compostos heterocíclicos
C08: Compostos macromoleculares orgânicos; sua preparação ou seu processamento químico; composições baseadas nos mesmos	**C08C**	Tratamento ou modificação química das borrachas
	C08K	Uso de substâncias orgânicas ou inorgânicas nas macromoleculares como ingredientes de compostos
C09: Corantes; tintas; polidores; resinas naturais; adesivos; composições não abrangidas em outros locais; aplicações de materiais não abrangidos em outros locais	**C09K**	Materiais para aplicações diversas, não incluídas em outro local; aplicações de materiais não incluídos em outro local
	C09D	Composições de revestimento, p. ex. [...]; pastas ou sólidos para colorir ou imprimir; uso de materiais para esse fim
C10: Indústria do petróleo, do gás ou do coque; gases técnicos contendo monóxido de carbono; combustíveis. Lubrificantes	**C10B**	Destilação destrutiva de substâncias carboníferas para produção de gás, coque, alcatrão ou substâncias similares
	C10L	Combustíveis não incluídos em outro local; gás natural; gás natural de sintético obtido por processos não abrangidos pelas subclasses C10G ou C10K; gás liquefeito de petróleo; uso de aditivos em combustíveis ou ao fogo; acendedores de fogo
C11: Óleos animais ou vegetais, gorduras, substâncias graxas ou ceras; ácidos graxos derivados dos mesmos; detergentes; velas	**C11C**	Ácidos graxos derivados de gorduras, óleos ou ceras; velas; gorduras, óleos ou ácidos graxos resultantes da modificação química de gorduras, óleos, ou ácidos graxos
H01: Elementos elétricos básicos	**H01M**	Processos ou meios para a conversão direta de energia química em energia elétrica, por ex., baterias
	H01L	Dispositivos semicondutores não abrangidos pela classe
F23: Aparelhos de combustão; processos de combustão	**F23J**	Remoção ou tratamento de produtos da combustão ou resíduos da combustão; condutos de fumos

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o apoio financeiro de agências brasileiras de fomento à pesquisa como CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) sob o Código Financeiro 001, uma fundação brasileira do Ministério da Educação (MEC), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), fundação brasileira associada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e a FAPITEC/SE (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe).

REFERÊNCIAS

ABDESHAHIAN, P.; ASCENCIO, J. J.; PHILIPPINI, R. R.; ANTUNES, F. A. F.; DE CARVALHO, A. S.; ABDESHAHIAN, M.; DOS SANTOS, J. C.; DA SILVA, S. S. Valorization of Lignocellulosic Biomass and Agri-food Processing Wastes for Production of Glucan Polymer. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 6, p. 2915–2931, 2021.

AWOGBEMI, O.; KALLON, D. V. VON. Valorization of agricultural wastes for biofuel applications. **Heliyon**, v. 8, n. 10, p. e11117, 2022.

BASU, P. Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: Practical design and theory. **Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory**, p. 1–564, 1 jan. 2018.

CHEN, D.; CEN, K.; ZHUANG, X.; GAN, Z.; ZHOU, J.; ZHANG, Y.; ZHANG, H. Insight into biomass pyrolysis mechanism based on cellulose, hemicellulose, and lignin: Evolution of volatiles and kinetics, elucidation of reaction pathways, and characterization of gas, biochar and bio-oil. **Combustion and Flame**, v. 242, 2022.

DANESH, P.; NIAPARAST, P.; GHORBANNEZHAD, P.; ALI., IMTIAZ. Biochar production: Recent developments, applications, and challenges. **Fuel,** 2022, 126889.

DE SOUSA NASCIMENTO, L.; MELO NASCIMENTO, R. J.; DA MATA, A. K. A.; FELIPE, V. T. A.; ARAÚJO, R. F.; BEZERRA, L. C. A.; ALMEIDA, J. S.; MATTOS, A. L. A.; UCHOA, D. E. A.; DE NOVAIS, L. M. R.; D'OCA, C. D. R. M.; AVELINO, F. Development of a phosphorous-based biorefinery process for producing lignocellulosic functional materials from coconut wastes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 239, n. April, 2023.

DING, Z.; KUMAR AWASTHI, S.; KUMAR, M.; KUMAR, V.; MIKHAILOVICH DREGULO, A.; YADAV, V.; SINDHU, R.; BINOD, P.; SARSAIYA, S.; PANDEY, A.; TAHERZADEH, M. J.; RATHOUR, R.; SINGH, L.; ZHANG, Z.; LIAN, Z.; KUMAR AWASTHI, M. A thermo-chemical and biotechnological approaches for bamboo waste recycling and conversion to value added product: Towards a zero-waste biorefinery and circular bioeconomy. **Fuel**, v. 333, n. P2, p. 126469, 2023.

FAO. **FAOSTAT - Food and agriculture data Database.** Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 1 set. 2023.

FREITAS, J. V.; NOGUEIRA, F. G. E.; FARINAS, C. S. Coconut shell activated carbon as an alternative adsorbent of inhibitors from lignocellulosic biomass pretreatment. **Industrial Crops and Products**, v. 137, n. May, p. 16–23, 2019.

IGHALO, J. O; CONRADIE, J.; OHORO, C. R.; AMAKU J. F.; OYEDOTUN, K. O.; MAXAKATO, N. W.; AKPOMIE, K. G.; OKEKE, E. S.; OLISAH, C.; MALLOUM, A.; ADEGOKE, K. A. Biochar from coconut residues: an overview of production, properties, and applications. **Industrial Crops and Products**, 2023, 204: 117300.KUMAR, R.; STREZOV, V.; WELDEKIDAN, H.; HE, J.; SINGH, S.; KAN, T.; DASTJERDI, B. Lignocellulose biomass pyrolysis for bio-oil production: A review of biomass pre-treatment methods for production of drop-in fuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 123, n. May 2019, 2020.

LEE, J.; KIM, S.; YOU, S.; PARK, Y. K. Bioenergy generation from thermochemical conversion of lignocellulosic biomass-based integrated renewable energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 178, p. 113240, 1 maio 2023.

NOVOTNÝ, M.; MARKOVIĆ, M.; RAČEK, J.; ŠIPKA, M.; CHORAZY, T.; TOŠIĆ, I.; HLAVÍNEK, P. The use of biochar made from biomass and biosolids as a substrate for green infrastructure: A review. S**ustainable Chemistry and Pharmacy**, 2023, 32: 100999.

OSMAN, A. I.; CHEN, L.; YANG, M.; MSIGWA, G.; FARGHALI, M.; FAWZY, S.; ROONEY, D. W.; YAP, P. S.

Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, n. 2, p. 741–764, 2023.

PAONE, E.; TABANELLI, T.; MAURIELLO, F. The rise of lignin biorefinery. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 24, n. Figure 1, p. 1–6, 2020.

QIN, F.; ZHANG, C.; ZENG, G.; HUANG, D.; TAN, X.; DUAN, A. Lignocellulosic biomass carbonization for biochar production and characterization of biochar reactivity. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 157, n. December 2021, p. 112056, 2022.

RAHIMI, Z.; ANAND, A.; GAUTAM, S. An overview on thermochemical conversion and potential evaluation of biofuels derived from agricultural wastes. **Energy Nexus**, v. 7, n. July, p. 100125, 2022.

RANJBARI, Meisam, et al. Biomass and organic waste potentials towards implementing circular bioeconomy platforms: A systematic bibliometric analysis. **Fuel**, 2022, 318: 123585.

SAINI, J. K.; SAINI, R.; TEWARI, L. Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. **3 Biotech**, v. 5, n. 4, p. 337–353, 2015.

SALITSKII, A. I.; SALITSKAYA, E. A. Abroad China on the Way to Global Technology Leadership. v. 92, n. 3, p. 262–267, 2022.

SINGH, N.; SINGHANIA, R. R.; NIGAM, P. S.; DONG, C. DI; PATEL, A. K.; PURI, M. Global status of lignocellulosic biorefinery: Challenges and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 344, n. PB, p. 126415, 2022.

SOUSA, J. C. DE O. A.; SILVA, G. V. DA; FREITAS, S. S. DE; JUNIOR, J. J. M. **Análise do impacto ambiental da casca do coco nas praias do cabo branco, manaíra e tambau e a futura geração das placas de isolamento termo acústico como solução, no município de João Pessoa /PB.** Congestas 2018 - Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 6. **Anais**...2018.

SPREAFICO, Christian; RUSSO, Davide; SPREAFICO, Matteo. Investigating the evolution of pyrolysis technologies through bibliometric analysis of patents and papers. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 2021, 159: 105021.. USMANI, S.; GONZALEZ QUIROGA, A.; VASQUEZ PADILLA, R.; PALMER, G.; LAKE, M. Simulation model of the characteristics of syngas from hardwood biomass for thermally integrated gasification using unisim design tool. **Energy**, v. 211, p. 118658, 2020.

VU, H. P.; NGUYEN, L. N.; VU, M. T.; JOHIR, M. A. H.; MCLAUGHLAN, R.; NGHIEM, L. D. A comprehensive review on the framework to valorise lignocellulosic biomass as biorefinery feedstocks. **Science of the Total Environment**, v. 743, p. 140630, 2020.

YOGALAKSHMI, K. .; MOHAMED USMAN, T. .; KAVITHA, S.; SACHDEVA, S.; THAKUR, S.; ADISH KUMAR, S.; RAJESH BANU, J. Lignocellulosic Biorefinery Technologies: A Perception into Recent Advances in Biomass Fractionation, Biorefineries, Economic Hurdles and Market Outlook. **Fermentation**, v. 9, n. 3, 2023.

YU, I. K. M.; CHEN, H.; ABELN, F.; AUTA, H.; FAN, J.; BUDARIN, V. L.; CLARK, J. H.; PARSONS, S.; CHUCK, C. J.; ZHANG, S.; LUO, G.; TSANG, D. C. W. Chemicals from lignocellulosic biomass: A critical comparison between biochemical, microwave and thermochemical conversion methods. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 51, n. 14, p. 1479–1532, 2021.