



**BRIQUETES DE FIBRA DA CASCA DO COCO VERDE – ENERGIA E
SUSTENTABILIDADE**

**BRIQUETTES MADE FROM GREEN COCONUT HUSK FIBER – ENERGY AND
SUSTAINABILITY**

**BRIQUETAS DE FIBRA DE CÁSCARA DE COCO VERDE – ENERGÍA Y
SOSTENIBILIDAD**



10.56238/sevenVIIImulti2026-080

Juliana Zenóbia Costa Dias

Especialista em Gestão Ambiental

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
E-mail: c.zenobia@escolar.ifrn.edu.br

Luciano Henrique Pereira da Silva

Engenheiro Civil

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
E-mail: henrique.luciano.albino@gmail.com

Klismeryane Costa de Melo

Doutora em Engenharia Química

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
E-mail: klismeryane.costa@ifrn.edu.br

Rafaela Alves Vicente Rodrigues da Silva

Mestra em Engenharia Química

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
E-mail: rafaela.alves@ifrn.edu.br

Thiago dos Santos Azevedo Damasceno

Mestre em Administração

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte
E-mail: thiagotos@gmail.com

Roberto Rodrigues Cunha Lima

Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
E-mail: roberto.lima@ifrn.edu.br

RESUMO

A necessidade de readequar os meios de produção de energia para reduzir o impacto ambiental envolve o aproveitamento estratégico da biomassa. Por meio do adensamento da biomassa, que pode ser constituída por agro resíduos, é possível, com a técnica de briquetagem, a obtenção de blocos de alta

densidade e alto grau de compactação definidos como briquetes. Os briquetes são materiais de alto valor energético que podem contribuir significativamente nas matrizes energéticas de diversos países. Uma proposta de desenvolvimento de estudos que visem garantir e otimizar a produção de briquetes utilizando resíduo de casca de coco verde misturadas ao glicerol bruto (resultante do processo de produção de biodiesel) poderá otimizar a obtenção de briquetes de elevada qualidade revestidos de caráter sustentável. A proposta se baseia em estudos já desenvolvidos e encontrados na literatura, na qual a fibra de coco verde é coletada, utilizada in natura ou transformada em carvão por pirólise lenta, misturadas em proporções pré-definidas com o glicerol, para a obtenção de briquetes com a avaliação de suas propriedades físico-químicas de forma simultânea com ensaios de caracterização, com o intuito de determinar uma proporção ideal das misturas dos componentes envolvidos que resultem em briquetes de melhor desempenho energético para aplicações específicas. O desenvolvimento de propostas como esta implica em contribuição científica no processo de transição energética atual podendo ainda solucionar problemáticas locais e/ou regionais relacionadas à elevada produção e descarte inadequado de cascas de coco verde. Embora a demanda por briquetes de resíduos de coco verde no Brasil e em outras regiões produtoras de coco seja influenciada por vários fatores, é possível considerar o seu potencial de mercado nos setores industrial, comercial e residencial. Ainda que seja um desafio quantificar exatamente a demanda atual por briquetes de resíduos de coco verde no Brasil sem acesso a dados de mercado específicos, é evidente o potencial significativo para o crescimento dessa demanda, impulsionado pela necessidade de fontes de energia de baixo carbono, pela sustentabilidade e pelo desenvolvimento de políticas públicas que incentivem o uso de energias renováveis, estimulando a prospecção mercadológica. Assim, a produção de briquetes pode abrir novos mercados e criar cadeias de valor locais, gerando renda para comunidades produtoras de coco dada a sua eficiência energética.

Palavras-chave: Recuperação Energética. Briquetes de Biomassa. Coco Verde. Descarbonização da Economia. Baixo Carbono.

ABSTRACT

The need to adapt energy production methods to reduce environmental impact involves the strategic use of biomass. Through biomass densification, which can be made up of agricultural waste, it is possible, using the briquetting technique, to obtain high-density blocks with a high degree of compaction, defined as briquettes. Briquettes are high-energy materials that can significantly contribute to the energy matrices of various countries. A proposal for developing studies aimed at guaranteeing and optimizing the production of briquettes using green coconut husk residue mixed with crude glycerol (resulting from the biodiesel production process) could optimize the production of high-quality, sustainably coated briquettes. The proposal is based on studies already developed and found in the literature, in which green coconut fiber is collected, used in its natural state or transformed into charcoal by slow pyrolysis, mixed in predefined proportions with glycerol to obtain briquettes. The physicochemical properties of these briquettes are evaluated simultaneously with characterization tests, with the aim of determining an ideal proportion of the mixtures of the components involved that result in briquettes with better energy performance for specific applications. The development of proposals such as this implies a scientific contribution to the current energy transition process and can also solve local and/or regional problems related to the high production and inadequate disposal of green coconut husks. Although the demand for briquettes made from green coconut waste in Brazil and other coconut-producing regions is influenced by several factors, its market potential in the industrial, commercial, and residential sectors can be considered. While it is challenging to precisely quantify the current demand for green coconut waste briquettes in Brazil without access to specific market data, the significant potential for growth in this demand is evident, driven by the need for low-carbon energy sources, sustainability, and the development of public policies that encourage the use of renewable energies, stimulating market exploration. Thus, briquette production can open new markets

and create local value chains, generating income for coconut-producing communities due to its energy efficiency.

Keywords: Energy Recovery. Biomass Briquettes. Green Coconut. Decarbonization of the Economy. Low Carbon.

RESUMEN

La necesidad de adaptar los métodos de producción de energía para reducir el impacto ambiental implica el uso estratégico de la biomasa. A través de la densificación de la biomasa, que puede estar compuesta por residuos agrícolas, es posible, utilizando la técnica de briquetado, obtener bloques de alta densidad con un alto grado de compactación, definidos como briquetas. Las briquetas son materiales de alta energía que pueden contribuir significativamente a las matrices energéticas de varios países. Una propuesta para desarrollar estudios destinados a garantizar y optimizar la producción de briquetas utilizando residuo de cáscara de coco verde mezclado con glicerol crudo (resultante del proceso de producción de biodiésel) podría optimizar la producción de briquetas de alta calidad, recubiertas de forma sostenible. La propuesta se basa en estudios ya desarrollados y encontrados en la literatura, en los que se recolecta fibra de coco verde, se utiliza en su estado natural o se transforma en carbón vegetal por pirólisis lenta, mezclado en proporciones predefinidas con glicerol para obtener briquetas. Las propiedades fisicoquímicas de estas briquetas se evalúan simultáneamente con pruebas de caracterización, con el objetivo de determinar la proporción ideal de las mezclas de los componentes involucrados que resulten en briquetas con mejor rendimiento energético para aplicaciones específicas. El desarrollo de propuestas como esta supone una contribución científica al proceso actual de transición energética y también puede resolver problemas locales y/o regionales relacionados con la alta producción y la eliminación inadecuada de la cáscara de coco verde. Si bien la demanda de briquetas elaboradas con residuos de coco verde en Brasil y otras regiones productoras de coco está influenciada por diversos factores, se puede considerar su potencial de mercado en los sectores industrial, comercial y residencial. Si bien resulta difícil cuantificar con precisión la demanda actual de briquetas de residuos de coco verde en Brasil sin acceso a datos específicos del mercado, el importante potencial de crecimiento de esta demanda es evidente, impulsado por la necesidad de fuentes de energía bajas en carbono, la sostenibilidad y el desarrollo de políticas públicas que fomenten el uso de energías renovables, impulsando la exploración de mercados. Por lo tanto, la producción de briquetas puede abrir nuevos mercados y crear cadenas de valor locales, generando ingresos para las comunidades productoras de coco gracias a su eficiencia energética.

Palabras clave: Recuperación de Energía. Briquetas de Biomasa. Coco Verde. Descarbonización de la Economía. Bajas Emisiones de Carbono.

1 INTRODUÇÃO

A biomassa é compreendida como uma das principais fontes de energia mundial, com a expectativa de maior participação nas matrizes energéticas de diversos países, sobretudo nos que têm maior potencial de produção agrícola. Enquanto os países europeus e os EUA avançam significativamente na direção do desenvolvimento de tecnologias para a utilização da biomassa, os países da América Latina, incluindo o Brasil, ainda necessitam direcionar maior atenção para a redução do uso de lenha, carvão e derivados de petróleo na geração de energia.

Uma das alternativas viáveis para atuar diretamente na problemática relacionada a utilização desse tipo de insumo é a utilização da biomassa que constitui matéria-prima para suprir as modernas cadeias produtivas de bioenergia, incluindo a utilização de pellets ou briquetes (produzidos a partir da compactação de biomassa residual como os agro resíduos) para a geração de eletricidade e calor (Silva *et al.*, 2022).

Resultantes de atividades agrícolas, os agro resíduos são constituídos principalmente por materiais orgânicos e envolvem folhas, caules, cascas, sementes e bagaços, entre outras partes das plantas (Moorthy; Bibi, 2023). Podem ser empregados na produção de materiais bioassorventes, substratos agrícolas e materiais biodegradáveis, desempenhando papel importante na transição para uma economia circular (Singh *et al.*, 2023).

Em alguns países, o consumo de água de coco e polpa de coco verde tem aumentado a geração de cascas de coco, que são resíduos de difícil coleta e descarte adequado, produzindo severos impactos sociais, econômicos e ambientais. O aproveitamento da grande quantidade desta biomassa gerada de forma permanente vai ao encontro de uma crescente demanda por processos mais sustentáveis de geração de energia que contribui com o reaproveitamento de resíduos sólidos, mitigação na emissão de gases estufa e redução do aquecimento global (Miola *et al.*, 2020).

A partir da prensagem e densificação de pequenos pedaços de biomassa, como madeira de poda ou cascas de coco, podem ser obtidos os briquetes, que têm densidade entre 650 e 1.200 quilogramas por metro cúbico, diâmetro de aproximadamente 60 mm e comprimento de 250 a 300 mm (EMBRAPA, 2012). A qualidade e o desempenho de um briquete dependem de diversos fatores, como a técnica de obtenção e geometria utilizada, mas principalmente da umidade, teor de cinzas, das possíveis modificações superficiais das fibras vegetais e da qualidade do aglutinante empregado, aspecto que requer maiores desenvolvimentos e inovação. A queima da biomassa na forma de briquetes com elevado poder calorífico representa, para além da produção de energia, a redução da emissão de gás metano derivado da decomposição da biomassa, sobretudo quando o material é descartado de forma inadequada em lixões, soterrados ou não (Zhanga; Suna; Xua, 2018).

A produção de briquetes de boa qualidade a partir da biomassa ganha destaque pela importante contribuição da implementação de tecnologias adequadas para a produção de energia e gestão de

resíduos nos países em desenvolvimento, incluindo a aplicação da energia gerada na combustão dos briquetes para a alimentação de eletrolisadores e produção de hidrogênio verde (Zhang *et al.*, 2022).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A busca por fontes alternativas de energia apresenta caráter emergencial e tem sido tendência em todo o mundo (Raju *et al.*, 2021).

A produção de carbono por biomassa é uma grande fonte industrial de conversão de energia. Em países de grande produção agrícola, como países africanos, asiáticos e o Brasil, verificam-se cenários semelhantes: após a colheita, resta uma quantidade significativa de resíduos ou resíduos agrícolas, que poderão ser utilizados como energia de biomassa (Promdee *et al.*, 2017).

Há expectativa de que até 2030, aproximadamente um bilhão de indivíduos de economias emergentes sofrerão sérias dificuldades para utilização de energia primária. Uma parte significativa da sua procura de energia primária é satisfeita através da lenha. As práticas de colheita insustentáveis utilizadas na recolha rotineira de recursos florestais para fins residenciais e comerciais representam graves ameaças às alterações climáticas, à degradação ambiental, à perda de biodiversidade e aos riscos para a saúde humana (Ossei-Brmang *et al.*, 2024). Isto resulta num esgotamento anual de cerca de 3,9 milhões de hectares e em uma perda de ativos de carbono totalizando até 317 Mton dentro destas reservas florestais, conforme relatado pela FAO (2021).

A valorização da biomassa pode ser efetivada por diferentes caminhos e tecnologias, incluindo briquetagem, incineração, pirólise, gaseificação e produção de hidrogênio. São iniciativas para reduzir o impacto ambiental associado à disposição final de resíduos e às emissões de gases de efeito estufa, principalmente metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) (González; López; Pérez, 2020).

A densificação (fabricação de pellets e briquetes) representa uma estratégia promissora para o reaproveitamento da biomassa. A peletização e a briquetagem facilitam a produção de biocombustível sólido com baixo teor de umidade, alta densidade aparente e de partículas, além de formato e tamanho homogêneos, com elevado poder calorífico (González; López; Pérez, 2020).

A baixa densidade aparente dos agro resíduos exige densificação via briquetagem e/ou peletização (briquetes e pellets são biocombustíveis com elevado teor energético por volume e, em grande parte dos países da América Latina, os biocombustíveis densificados ainda são um mercado emergente, apesar de terem um grande potencial de produção já explorada em países europeus e EUA, devido ao elevado poder calorífico e valorizado pelo ambiental (Silva *et al.*, 2022).

2.2 RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Para que seja observado o sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7) que preconiza “Garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos”, pode-se perceber que há necessidade de aumentar os esforços para substituir a lenha por fontes de energia eficientes, limpas e com menor impacto ambiental negativo (Akam *et al.*, 2024).

A utilização de resíduos urbanos e sólidos como fonte alternativa de energia necessita de maior investigação. Produzir briquetes de combustível com resíduos naturalmente disponíveis e biodegradáveis é uma vantagem. A utilização de briquetes de biomassa têm benefícios ambientais que incluem a redução da degradação das árvores, uma melhor gestão dos resíduos e redução das emissões (Raju *et al.*, 2021).

Apesar de existirem várias maneiras de converter biomassa em energia, vários estudos indicam que fazer briquetes de biomassa traz vários benefícios, como melhorar o poder calorífico e permitir fácil transporte, armazenamento, entrada no forno e combustão. A briquetagem é uma forma sustentável de fornecer soluções energéticas alternativas. Além disso, os briquetes feitos de biomassa são um recurso renovável e econômico e não poluem o meio ambiente, pois não contêm enxofre (Akam *et al.*, 2024).

Na briquetagem de cascas de coco, o balanço energético mostra que a energia útil, consumida principalmente durante o processo de briquetagem, é energia mecânica e térmica. Uma análise económica foi realizada num período de 20 anos em Camarões, na África. Tal análise é composta principalmente pelo custo da mão-de-obra dos empregados, que representa cerca de 30% das despesas totais, depois das despesas com o óleo diesel (10–16% das despesas totais). O valor líquido para resíduos de cascas de coco foi definido em 67.189 €. A viabilidade económica da produção de briquetes é sensível ao preço de mercado do briquete, à taxa de desconto e ao custo de capital. Em conclusão, a produção de briquetes a partir de resíduos de culturas poderia ser economicamente beneficiada pela adoção de estratégias adequadas nos Camarões e em qualquer país em desenvolvimento (Bot *et al.*, 2022).

Muito embora as aparentes limitações como a baixa densidade aparente, logística de transporte e estocagem, e teor energético relativamente baixo em relação aos combustíveis fósseis, a utilização de biomassa como o resíduo gerado pela produção e consumo de coco verde para a produção de energia tem propriedades particulares e vantagens, como a natureza renovável, a disponibilidade e a diversidade geográfica, facilitando a implantação de sistemas de energia e garantia de cadeia de abastecimento sustentável em relação a outros recursos energéticos (Miola *et al.*, 2020).

2.3 O COCO VERDE

O coco é originário do Sri Lanka e foi plantado em 90 países, mas principalmente na Ásia e no Pacífico. Os cocos são produzidos hoje em 60,77 milhões de toneladas por ano em 12,30 milhões de hectares em mais de 94 países em todo o mundo (Bot *et al.*, 2022).

O coqueiro pertencente à Família Palmae é conhecido cientificamente como *Cocos nucifera* L., e é fonte do produto polivalente conhecido como coco. A árvore é originária do Sudeste Asiático, de onde se espalhou pela América do Sul, África e pelo resto do continente asiático. Os coqueiros florescem em climas tropicais e de floresta tropical, especialmente ao longo da costa, onde desfrutam de luz solar abundante, bem como de água e alta umidade. Além do interior comestível, as cascas de coco são conhecidas por serem matérias-primas valiosas para a produção de carvão ativado, um material vital que fornece alta área superficial ($1.000\text{ m}^2/\text{g}$) para adsorção/absorção de diferentes gases, líquidos, emulsões e suspensões finas (Promdee *et al.*, 2017)

São imprecisas as informações sobre as quantidades de casca de coco verde descartadas nas áreas onde os cocos são consumidos, dificultando o manejo desses resíduos e a avaliação do potencial desse material para a obtenção de outros produtos que, além de reduzir o impacto sobre o meio ambiente, contribui para o desenvolvimento econômico e a saúde das populações (Akolgo *et al.*, 2021).

Em média, a casca do coco representa cerca de 85% do peso do fruto e tem composição presumida de 33,30% de lignina, 30,58% de celulose, 26,70% de hemicelulose, 8,86% de água e 0,56% de cinza. Por falta de gestão e investimento por parte do setor público ou privado, as cascas não são utilizadas como matéria-prima para produção mais ampla no Brasil (Nunes *et al.*, 2020).

A casca do coco verde é formada por fibra e pó, representada pelo mesocarpo e endocarpo do fruto. Através da Trituração e prensagem das cascas pode-se extrair um líquido, denominado Líquido da Casca de Coco Verde (LCCV), que pode ser utilizado na formulação de resinas fenólicas, em processos fermentativos, para geração de biogás e para fertilização de culturas agrícolas (Nunes *et al.*, 2020).

Há potencial para utilização de cascas de coco, na forma de fibra ou pó, para a produção de nanopartículas de magnetita, biossorventes para remoção de íons de metais pesados, placas de isolamento térmico, produção de aglomerados e painéis, substratos para plantio de hortaliças e frutas diversas, mantas para proteção do solo, elementos filtrantes orgânicos, reforço em matrizes poliméricas, na agregação de compósitos de cimento ou concreto para construção civil e produção de briquetes (recuperação energética) (Nunes *et al.*, 2020).

A gestão de resíduos sólidos e a crescente procura de energia são uma preocupação global. Os resíduos podem desempenhar o papel de combustível alternativo, reduzindo parcialmente a pegada ambiental no sector da gestão de resíduos. A briquetagem de resíduos é utilizada como opção de

tratamento para melhorar a eficiência da combustão de resíduos, bem como seu gerenciamento e manuseio (Zhang *et al.*, 2022).

O Brasil ocupa o quarto lugar no mundo em produção de coco, e o estado da Bahia lidera com uma produção anual de aproximadamente 550 mil toneladas de frutas (IBGE, 2015). Isso indica uma quantidade de até três milhões de toneladas de coco verde não aproveitadas por ano (Brasil, 2017). Porém, não se sabe a quantidade de casca de coco verde que é jogada fora no local de consumo, o que dificulta o gerenciamento da quantidade de resíduo produzido na região (Santos *et al.*, 2019), dificultando o gerenciamento do resíduo, associado à poluição de espaços públicos (até 10 anos para que a casca de coco se degrade no meio ambiente), contribuindo como locais para reprodução de mosquitos e transmissão de doenças (Nunes *et al.*, 2020).

A quantificação (gravimétrica) adequada de resíduos das cascas de coco verde em cada localidade possibilita a conscientização sobre o reaproveitamento e a reciclagem, promovendo a economia de recursos naturais, a redução da poluição ambiental e a geração de empregos diretos e indiretos (Nunes *et al.*, 2020).

A escala de geração de resíduos lenhosos e a disposição ineficiente resultam em custos substanciais para a gestão municipal e aterros sanitários no Brasil e têm implicações ambientais. Uma quantidade significativa de resíduos sólidos é gerada anualmente, provenientes de ambientes urbanos e agrícolas, e muitas vezes não são descartados de forma adequada (Marreiro *et al.*, 2024).

A utilização da casca de coco verde como matéria-prima leva à redução na emissão de gases de efeito estufa, considerando que a decomposição desse material produz metano (CH_4) sobretudo nas condições anaeróbicas ocorridas em lixões (3). Considerando recomendação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2000), o potencial de geração de gás metano está entre 6,0 e 12,3 kg/toneladas das cascas descartadas no meio ambiente (Nunes *et al.*, 2020).

2.4 BRIQUETES

Os briquetes substituem a lenha e podem ser produzidos de forma direta da biomassa triturada ou em uma forma de carvão. A briquetagem é um processo que transforma biomassa ou outra matéria orgânica em um material de formato regular que pode ser utilizado como combustível em caldeiras ou fornos industriais. Para produzir um combustível de alta qualidade é necessário que os briquetes atinjam alto poder calorífico, alta densidade, baixo teor de cinzas, boa resistência mecânica e certa estabilidade dimensional (Nunes *et al.*, 2020).

Os briquetes derivados de resíduos orgânicos oferecem uma solução energética sustentável. Fatores como proporção da biomassa, pressão para briquetagem, e relação de ligante são fundamentais para alcançar valor calórico e propriedades mecânicas adequadas (Ossei-Brmang *et al.*, 2024).

Uma estimativa da quantidade média diária de casca de coco verde necessária para abastecer uma briquetadeira industrial corresponde a um volume de 56 m³. Quando tal quantidade é utilizada para a produção de novos bens, a vida útil da casca descartada é ampliada e há menos resíduos adicionados aos aterros e lixões. A quantidade equivalente de fibras (em quilogramas por mês) que essas cascas desperdiçadas poderiam gerar é de 25% da fibra por unidade de coco, aproximadamente (Nunes *et al.*, 2020).

Importante considerar que a maioria das cidades brasileiras produtoras ou consumidoras do coco verde não possuem aterros sanitários ou outras formas de gestão de resíduos, como logística reversa, reciclagem, reaproveitamento ou recuperação energética (Nunes *et al.*, 2020).

A briquetagem de resíduos é uma opção que facilita o transporte, manuseio e armazenamento e melhora a qualidade da combustão do material. Os resíduos tornam-se eficazes para serem empregados em substituição à lenha, querosene, carvão, carvão vegetal, entre outros combustíveis fósseis e à base de biomassa (Zhang *et al.*, 2022).

A produção de briquetes a partir de cascas de coco verde ainda está em desenvolvimento e atualmente está sob investigação. Estudos indicam que a produção de briquetes com casca de coco verde é viável e pode ser realizada compactando a fibra em blocos, sem uso de carbonização e com ligantes adequados (Nunes *et al.*, 2020).

Sant'anna *et al.* (2012) estudaram a viabilidade da produção de briquetes com casca de coco verde e 20% de glicerol, e mostraram que uma planta com produtividade igual a 1 t/h é economicamente viável, produzindo 8 h/d, mais de 260 dias por ano, portanto obtenção de Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 141.711,54, com Taxa Interna de Retorno (TIR) de 11,30% e 5,5 anos de retorno.

A qualidade da biomassa densificada depende do tipo de biomassa, teor de umidade, tamanho de partícula, temperatura, aglutinante utilizado e pressão de densificação, que afetam o seu potencial energético e seu desempenho em processos termoquímicos (González; López; Pérez, 2020).

Há poucos casos de mecanismos de briquetagem sem a adição de ligantes. Sobre mecanismos de briquetagem do ponto de vista da interação entre ligantes e a biomassa utilizada, pertinentes a esta pesquisa proposta, existem três teorias: a de conexão de ponte sólida (os poros e a superfície das partículas do briquete são cobertas com ligante, uma ponte sólida é formada no ponto de contato das partículas), a de atração eletrostática (uma ligação química ou ligação de hidrogênio se forma quando moléculas de ligante interagem com grupos ativos ou pares de elétrons disponíveis na matriz de biomassa) e a da conexão de ponte líquida (a energia de adesão e o grau de umedecimento do briquete aumentam) (Zhang; Sun; Xu, 2018).

2.5 AGLUTINANTES

O aglutinante de briquetes desempenha um papel fundamental no processo de produção e na qualidade de briquetes. O esclarecimento do mecanismo de briquetagem do ligante de briquete não só pode fornecer uma base teórica para o desenvolvimento do ligante, mas também pode fornecer um lastro para a produção industrial de briquetes (Zhang; Sun; Xu, 2018).

Materiais ligantes são utilizados para melhorar as propriedades mecânicas e térmicas dos briquetes. Lignocelulose, lignina ou ligantes de celulose permitem aumentar o poder calorífico de briquetes à base de resíduos. Os ligantes de briquete podem ser divididos em três grupos: ligantes orgânicos, inorgânicos e compostos. Em particular, um ligante composto pode reduzir a necessidade de materiais ligantes inorgânicos, diminuindo o custo de produção de briquetes e reduzindo o teor de cinzas (Ferronato *et al.*, 2022).

Foram investigadas a briquetagem e a peletização de resíduos agrícolas utilizando ligantes como amido e pó de madeira. O amido de mandioca e o amido de milho foram utilizados como ligantes para a confecção de briquetes à base de biomassa com bons resultados na densificação e menor custo. Serragem, carvão e ligante melaço aumentam o teor de carbono fixo, com aumento na resistência à compressão. Fécula de mandioca aumenta a taxa de compactação na produção dos briquetes. Portanto, sugere-se que os materiais ligantes sejam um componente adicional para melhorar a qualidade dos briquetes à base de biomassa (Ferronato *et al.*, 2022).

O glicerol gerado como subproduto da produção do biodiesel pode ser usado como aglutinante na fabricação de briquetes. Durante a etapa de transesterificação, aproximadamente 10% da produção total de biodiesel é glicerol bruto, que é considerado um subproduto do processo. Assim, novas estratégias para aproveitar o glicerol, especialmente em processos de combustão, têm sido investigadas, incluindo a combinação do glicerol com combustíveis sólidos (González; López; Pérez, 2020).

O glicerol bruto é um subproduto importante do biodiesel comumente produzido por um processo de transesterificação, que utiliza matérias-primas como óleos vegetais ou gorduras animais para reagir com álcoois de cadeia curta com o auxílio de catalisadores. O glicerol bruto tem recebido atenção considerável devido à sua enorme quantidade associada à alta taxa de produção global de biodiesel, considerando uma produção de biodiesel de 46,7 milhões de metros cúbicos globalmente em 2019, com uma tendência crescente no futuro (Rath; Mahapatro; Pattanayak, 2023).

O uso de glicerol para produção de péletes e briquetes tem sido apontado como uma solução simples e de baixo custo para agregar valor a esse subproduto. O glicerol melhora a durabilidade e o desempenho energético da biomassa adensada. A adição de glicerol como aglutinante pode acarretar em baixo teor de cinzas, maiores densidades e aumentos no poder calorífico. A densidade energética pode aumentar quando o glicerol é adicionado como aglutinante, inclusive devido à sua característica

combustível. Além disso, o glicerol contribui para facilitar a formação dos briquetes devido à ligação favorecida entre as partículas de biomassa, também atuando como lubrificante entre a matéria-prima de biomassa e a matriz (González; López; Pérez, 2020).

Ao longo dos anos, a Indonésia assumiu a liderança mundial na produção de biodiesel (17% da participação total), seguida pelos EUA (14%), Brasil (12%), Alemanha (8%), França (6,3%) e Argentina (5,3%). Esta distribuição geográfica é uma indicação clara de que a produção, bem como os desafios que lhe estão associados, têm um impacto global (Sandid; Spallina; Esteban, 2024).

O glicerol bruto é considerado uma matéria-prima residual de baixo valor e cujo descarte é restrito devido à sua natureza perigosa, incluindo possibilidade de incêndio e esgotamento do oxigênio na água que sufoca os peixes. Como resultado, explorar o uso de valor acrescentado do glicerol bruto e do seu principal componente, o glicerol, é fundamental para que a indústria do biodiesel maximize os seus benefícios econômicos e ambientais (Rath; Mahapatro; Pattanayak, 2023).

O crescimento vertiginoso da indústria do biodiesel levou a um excesso de oferta de subproduto glicerol como consequência direta, o que tem sido prejudicial ao seu valor de mercado. A reatividade química que este composto possui torna-o um excelente bloco de construção a partir do qual muitas rotas sintéticas podem se originar. Nas últimas duas décadas, como forma de atualizar o glicerol, houve grandes desenvolvimentos em abordagens experimentais para obtenção de diferentes produtos com aplicações como aditivos para combustíveis, solventes verdes ou precursores de outros materiais (Sandid; Spallina; Esteban, 2024).

Durante a preparação de péletes e briquetes, o glicerol bruto serve como aglutinante para aumentar o rendimento da produção, a taxa de produção e a durabilidade (Rath; Mahapatro; Pattanayak, 2023). A adição de glicerina aumentou a eficiência térmica geral de briquetes produzidos com serragem, papel ondulado seco e cascas de arroz e de café (Jamradloedluk; Lertsatitthanakorn, 2015).

O glicerol também funciona eficientemente na redução da fuligem por ser altamente oxigenado, alterando o perfil de concentração de oxigênio durante a mistura combustível/ar. O alto teor de oxigênio do glicerol pode suportar reações em estágio inicial mesmo com uma concentração de ar relativamente baixa, aumentando a temperatura local acima do limiar de formação de fuligem e dificultando a formação de fuligem. Além disso, o glicerol possui três grupos OH que podem impedir o crescimento do anel aromático e suprimir a formação de acetileno, que é o principal precursor da geração de fuligem. O glicerol como combustível oxigenado poderia produzir um tipo particular de fuligem, cuja superfície contém diferentes grupos de oxigênio que são altamente reativos e são capazes de promover a oxidação secundária da fuligem antes de ser emitida. Importante considerar que, para além da capacidade aglutinante para agro resíduos devido às ligações de hidrogênio promovidas pelo glicerol, a queima deste material gera pequenas porções de gases nitrogenados e sulfurados, com a

possibilidade ainda de minimização dessas emissões gasosas utilizando tratamentos adequados (Rath; Mahapatro; Pattanayak, 2023).

2.6 PROPRIEDADES DOS BRIQUETES

Algumas das propriedades fundamentais que impactam na qualidade do briquete são o teor de umidade, teor de cinzas, quantidade de matéria volátil, carbono fixo, teor de enxofre, poder calorífico e resistência à água (Raju *et al.*, 2021).

A quantidade de carbono e hidrogênio no briquete é fator de igual importância, pois é uma indicação de quanto esses componentes contribuem para a combustibilidade do briquete. A composição da biomassa também afeta as suas características de combustão à medida que a massa total do combustível diminui durante a fase de combustão volátil e altera a relação entre os elementos constituintes do material (Fernandez *et al.*, 2017; Zhang; Sun; Xu, 2018; Raju *et al.*, 2021).

Teor de umidade: a energia total necessária para levar um briquete à sua temperatura pirolítica depende do seu teor de umidade, que afeta a temperatura interna do briquete devido à evaporação endotérmica. O menor teor de umidade dos briquetes implica em um maior poder calorífico (Fernandez *et al.*, 2017; Zhang; Sun; Xu, 2018; Raju *et al.*, 2021).

Conteúdo de cinzas: as cinzas podem dar origem à formação de clínquer nos fornos impactando no rendimento das reações químicas. Estas amostras, quando queimadas, darão origem a uma poluição ambiental significativa (Fernandez *et al.*, 2017; Zhang; Sun; Xu, 2018).

Carbono fixo: trata-se da porcentagem de carbono (combustível sólido) disponível para a combustão do carvão após a destilação de uma matéria volátil. O carbono fixo fornece uma estimativa aproximada do poder calorífico do combustível e atua como o principal gerador de calor durante a queima (Raju *et al.*, 2021).

Matéria volátil: os briquetes com alto teor de matéria volátil se inflamam facilmente e são altamente reativos em aplicações de combustão. Com o aumento do teor de matéria volátil do briquete, ocorre uma diminuição do valor calorífico do briquete (Fernandez *et al.*, 2017; Zhang; Sun; Xu, 2018; Raju *et al.*, 2021). A combustão dos voláteis reduz a fumaça e contribui para o calor total liberado pelo combustível (Promdee *et al.*, 2017).

Valor calórico: é um dos fatores mais influentes na queima dos briquetes. Quanto maior for o valor calorífico, mais fácil e melhor serão queimados (Fernandez *et al.*, 2017; Zhang; Sun; Xu, 2018).

Porosidade: a baixa porosidade dificulta a transferência de massa durante a combustão devido a menos espaços para difusão de massa. Quanto maior a porosidade, maior será a taxa de infiltração do oxidante e o fluxo de saída dos produtos de combustão/pirólise durante a combustão e maior será a taxa de queima do briquete (Fernandez *et al.*, 2017; Zhang; Sun; Xu, 2018; Raju *et al.*, 2021).

Absorção de água: uma menor absorção de água implicará em maior densidade e, em consequência, uma maior facilidade para queimar (Fernandez *et al.*, 2017; Zhang; Sun; Xu, 2018; Raju *et al.*, 2021).

Índice de quebra: importante para garantir que o armazenamento, o transporte e o manuseio são mais fáceis (Raju *et al.*, 2021).

Resistência à compressão: a resistência à compressão dos briquetes é um dos índices utilizados para avaliar sua capacidade de ser manuseado, embalado e transportado sem quebrar (Promdee *et al.*, 2017).

Grau de densificação: é definido como o aumento percentual na densidade da biomassa devido à briquetagem. O grau de densificação representa a capacidade do material de se ligar (Fernandez *et al.*, 2017; Zhang; Sun; Xu, 2018; Raju *et al.*, 2021).

Estimativa de potência e cálculo de potência: para produzir 1 kWh de energia elétrica são necessários 10.285,71 KJ de energia de vapor (geração de energia elétrica = energia de vapor \div 10.285,71 kJ/kWh). A estimativa de potência pode ser calculada pela relação: massa do material x poder calorífico / tempo de queima (Raju *et al.*, 2021).

2.7 PROSPECÇÃO MERCADOLÓGICA

Sob o contexto de crescente aumento no consumo de água de coco acompanhado de relevante incremento na geração de resíduos, constituídos basicamente pelas cascas fibrosas do coco verde, associado à sua disposição, por vezes, inadequada, trazendo riscos à saúde pública, além de representar expressivos custos à limpeza urbana. A possibilidade de obtenção de novos produtos e insumos circulares com valor agregado a partir da adoção de processos de conversão, tais como briquetagem e pirólise, considerados ambiental e economicamente viáveis para o aproveitamento dos resíduos disponíveis, pode estimular a implantação de novos modelos de negócios, com geração de valores, emprego e renda, aumentando a competitividade da importante cadeia produtiva do coco verde (EMBRAPA, 2020).

O Brasil é o quinto maior produtor mundial de coco, mas participa com apenas 3,7% do total, que correspondeu em 2019 a 62,9 milhões de toneladas (BNB, 2021). Os dois principais exportadores mundiais dos derivados do coco (na maior parte água, óleos e dessecados) são também os maiores produtores, Indonésia e Filipinas, com participações respectivas de 32,1% e 24,2% nos volumes totais exportados. Os 10 principais exportadores são responsáveis por 86,4% das receitas totais; o Brasil encontra-se na 47^a posição com a participação de apenas 0,03% nesse mercado. O coqueiro é cultivado em quase todo o Brasil, cuja área atual é de 187,5 mil hectares, com produção de 1,6 bilhão de frutos com peso médio de casca de 0,9 kg (coqueiro-gigante) e rendimento médio de aproximadamente 30% de fibra e 70% de pó no processo industrial. Estimando-se que 80% da produção brasileira de coco se

destinam à indústria de compra, tendo como subproduto a casca, o Brasil tem um potencial de produção de 804.218 t de casca que, após a industrialização, resultariam em 241.265 t de fibra e 562.953 t de pó. Na região Nordeste, principal produtora nacional, concentram-se 80,9% da área colhida de coco do país e 73,5% de sua produção. O valor da produção nacional de coco foi de R\$ 1,15 bilhão, com a participação de 62,6% do Nordeste (IBGE, 2020).

Clasen *et al.* (2022) propuseram um modelo “circular” com o uso das cascas de coco verde geradas pelos municípios da baixada santista como matéria-prima para a fabricação de briquetes. Os resultados mostraram que os aspectos técnico-operacionais do modelo circular são consistentes, passíveis de serem implementados. Essa proposta possibilitou a redução na emissão de gases de efeito estufa em 40 mil toneladas por ano quando comparada ao modelo linear. Adicionalmente, apresentou uma lucratividade de 66%, uma rentabilidade de 195% e, com o retorno sobre o investimento em seis meses, evidenciou-se existir viabilidade financeira nesse modelo.

A demanda por briquetes de resíduos de coco verde no Brasil e em outras regiões produtoras de coco é influenciada por vários fatores, incluindo a conscientização ambiental, o custo dos combustíveis fósseis, e políticas de incentivo às energias renováveis. No Brasil, a produção de coco é significativa, especialmente nas regiões Nordeste e Norte, proporcionando uma matéria-prima abundante para a produção de briquetes. No entanto, a utilização dessa biomassa ainda está em crescimento, com a maior parte do mercado de briquetes focado em resíduos de madeira.

Os principais desafios iniciais seriam quanto a sua disponibilidade e cadeia logística no tocante à coleta e processamento dos resíduos de coco verde podendo representar desafios logísticos e de custo, afetando a disponibilidade e preço dos briquetes, além da concorrência com outras biomassas como madeira e resíduos agrícolas, o que pode influenciar a demanda.

Embora seja difícil quantificar exatamente a demanda atual por briquetes de resíduos de coco verde no Brasil sem acesso a dados de mercado específicos, é evidente que existe um potencial significativo para o crescimento dessa demanda. Este crescimento será impulsionado pela necessidade de fontes de energia mais limpas e sustentáveis, pela abundância de resíduos de coco verde em regiões produtoras e pelo desenvolvimento de políticas públicas que incentivem o uso de energias renováveis. A expansão desse mercado dependerá também da capacidade de superar desafios logísticos e de custo e da eficácia em comunicar os benefícios ambientais e econômicos dos briquetes de coco verde aos potenciais consumidores.

No aspecto ambiental, a produção de briquetes a partir da casca de coco verde contribui significativamente para a gestão de resíduos, transformando um subproduto agrícola abundante e frequentemente descartado em um recurso valioso. Além disso, os briquetes de casca de coco verde têm uma pegada de carbono menor em comparação com os combustíveis fósseis, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Ao substituir a madeira e o carvão por briquetes de casca de coco,

há uma redução na pressão sobre as florestas, promovendo a conservação dos ecossistemas e da biodiversidade.

Sob a ótica econômica, a produção de briquetes pode abrir novos mercados e criar cadeias de valor locais, gerando renda para comunidades produtoras de coco, além de reconhecer a sua eficiência energética por serem considerados muito eficientes como combustível, oferecendo uma alternativa de custo competitivo para indústrias e residências.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil destaca-se mundialmente pela composição majoritariamente renovável de sua matriz energética, muito embora ainda dependa da exploração e utilização de combustíveis fósseis. Há, no entanto, um paradoxo no que tange à sustentabilidade, que é o desperdício substancial de biomassa com potencial para recuperação energética.

Apesar do uso consolidado do bagaço de cana-de-açúcar e de resíduos florestais para a cogeração de energia, uma vasta quantidade de biomassa proveniente de outras atividades agroindustriais, resíduos urbanos e efluentes é negligenciada ou descartada de forma inadequada, sem contar a utilização inadequada de madeira de desmatamentos ilegais.

Tal material orgânico representa um potencial energético inexplorado que poderia contribuir para a segurança energética nacional, reduzir a dependência hídrica e mitigar problemas ambientais associados à gestão de resíduos.

Portanto, existe o desafio de transformar esse passivo ambiental em um ativo energético, otimizando o uso de seus recursos naturais e consolidando um modelo de desenvolvimento verdadeiramente circular.

A recuperação energética a partir da queima de briquetes produzidos com cascas de coco verde, vasto resíduo geralmente descartado de forma inadequada, e utilização de glicerol, subproduto da fabricação de biodiesel, como aglutinante, representa uma das importantes alternativas deve ser melhor explorada para a mitigação de impactos ambientais, com importante contribuição socioeconômica.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Carlos Marafon [et al.]. Reciclagem das cascas de coco verde no contexto da economia circular: briquetagem e pirólise – Brasília, DF: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2020.
- AKOLGO, G. A.; AWAFO, E. A.; ESSANDOH, E. O.; OWUSU, P. A.; UBA, F.; ADU-POKU, K. A. Assessment of the Potential of Charred Briquettes of Sawdust, Rice and Coconut Husks: Using Water Boiling and User Acceptability Tests. *Scientific African*. v. 12, 2021.
- Aya SANDID, Vincenzo SPALLINA, Jesús ESTEBAN. Glycerol to value-added chemicals: State of the art and advances in reaction engineering and kinetic modelling *Fuel Processing Technology*, v. 253, 108008, 2024.
- Bill Vaneck BOT, Petros J. AXAOPoulos, Evangelos I. SAKELLARIOU, Olivier Thierry SOSSO, Jean Gaston TAMBA, Energetic and economic analysis of biomass briquettes production from agricultural residues. *Applied Energy*, v. 321, 119430, 2022.
- BRAINER, M. S. Título do estudo de caderno técnico. *Caderno Técnico*, 13. Ano 6. Nº 206. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil (BNB), 2021.
- Ch. A.I. RAJU, K. Prem, K. SUNIL, K. Srikanth BHIMAREDDY, Ch. RAMYA, Studies on densification and conversion of wastes as fuel briquettes for power generation. *Materials Today: Proceedings*, v. 44-1, p 1090-1107, 2021.
- CLASEN, A.P.; Bonadio, J.C.; Agostinho, F. Produção de briquetes da casca de coco verde: aspectos técnicos, financeiros e ambientais. *Eng. Sanit. Ambient* | v.27 n.3, maio/jun, p. 585-596, 2022.
- Debi Prasad RATH, Abinash MAHAPATRO, Binayak PATTANAYAK. Briquette production and performance evaluation from coal and agricultural waste. *Materials Today: Proceedings*, 2023.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Brasília: Embrapa Agroenergia. 130 p, 2012.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 - ano base 2013. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia. 212 p, 2014.
- FERNANDEZ, B. O.; GONÇALVES, B. F.; PEREIRA, A. C. C.; HANSTED, A. L. S.; PÁDUA, F. A.; DA RÓZ, A. L.; YAMAJI, F. M. Características Mecânicas e Energéticas de Briquetes Produzidos a partir de Diferentes Tipos de Biomassa. *Revista Virtual de Química*. v. 9, n. 1, p 29 - 38, 2017.
- Guojie ZHANG, Yinghui SUN, Ying XU. Review of briquette binders and briquetting mechanism. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82-1, p 477-487, 2018.
- Hívila M.P. MARREIRO, Rogério S. PERUCHI, Riuzuani M.B.P. LOPES, Paulo ROTELLA JUNIOR. Briquetting process optimization of poultry litter and urban wood waste. *Renewable Energy*, v. 222, 119955, 2024.
- HU, M.; DENG, W.; HU, M.; CHEN, G.; ZHOU, P.; ZHOU, Y.; SU, Y. Preparation of binder-less activated char briquettes from pyrolysis of sewage sludge for liquid-phase adsorption of methylene blue. *Journal of Environmental Management*. v. 299, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil, 2015.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. IBGE/LSPA. Fortaleza: IBGE/GCEA-CE. Dezembro. Série 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, outubro de 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemático-da-produção-agrícola.html>. Acesso em: 03 nov. 2025.

Jianan ZHANG, Yuesen WANG, Valerie L. MULDOON, Sili DENG. Crude glycerol and glycerol as fuels and fuel additives in combustion applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 159, 112206, 2022.

Jindaporn JAMRADLOEDLUK, Chaloenporn LERTSATITTHANAKORN. Properties of Densified-refuse Derived Fuel Using Glycerin as a Binder. Procedia Engineering, v. 100, p 505-510, 2015.

Kittiphop PROMDEE, Jirawat CHANVIDHWATANAKIT, Somruee SATIKUNE, Chakkrich BOONMEE, Thitipong KAWICHAI, Sittipong JARERNPRASERT, Tharapong VITIDISANT. Characterization of carbon materials and differences from activated carbon particle (ACP) and coal briquettes product (CBP) derived from coconut shell via rotary kiln. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 75, p 1175-1186, 2017.

Luane A. NUNES, Maria L. S. SILVA, Juliano Z. GERBER, Ricardo de A. KALID. Waste green coconut shells: Diagnosis of the disposal and applications for use in other products. Journal of Cleaner Production, v. 255, 120169, 2020.

MCS SANT'ANNA, VHS VAZ, JBR CARVALHO, DFC LOPES, GF SILVA. Scientia Plena (Ed.), Viabilidade de usina de briquete de casca de coco e glicerina em Sergipe, 2012.

MIOLA, B; FROTA, M. M. M.; OLIVEIRA, A. G.; UCHÔA, K. M.; LEANDRO FILHO, F. A. Aproveitamento energético dos resíduos de cascas de coco verde para produção de briquetes. Eng Sanit Ambient, v. 25, n. 4, p. 627-634, 2020.

MOORTHY, R.; BIBI, S. Water Security and Cross-Border Water Management in the Kabul River Basin. Sustainability, v. 15-1, 2023.

Navarro FERRONATO, Iris Jabneel Calle MENDOZA, Marcelo Antonio Gorrity PORTILLO, Fabio CONTI, Vincenzo TORRETTA. Are waste-based briquettes alternative fuels in developing countries? A critical review. Energy for Sustainable Development, v. 68, p 220-241, 2022.

Niba Gordian AKAM, Benjamin Salomon DIBOMA, Joseph Zobo MFOMO, Benoit NDIWE, Bill Vanec BÔT, Achille Bernard BIWOLÉ. Physicochemical characterization of briquette fuel produced from cocoa pod husk case of Cameroon. Energy Reports, v. 11, p 1580-1589, 2024.

NUNES, M. U. C. Coco Produtos. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informação-tecnológica/cultivos/coco/pos-produção/coprodutos>. Acesso em: 03 nov. 2025.

OKAFOR, P. C.; OKON, P. U.; DANIEL, E. F.; EBENSO, E. E. Adsorption Capacity of Coconut (Cocos nucifera L.) Shell for Lead, Copper, Cadmium and Arsenic from Aqueous Solutions. Int. J. Electrochem. Sci., v. 7, p. 12354 – 12369, 2012.

PIMENTA, A. S.; SANTOS R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, R. V. O. Utilização de resíduos de coco (*Cocos nucifera*) carbonizado para a produção de briquetes. Ciência Florestal. v. 25, n. 1, p. 137-144, 2015.

R. N. OSSEI-BREMANG, E. A. ADJEI, F. KEMAUSUOR, T. MOCKENHAUPT, T. BAR-NOSBER. Effects of compression pressure, biomass ratio and binder proportion on the calorific value and mechanical integrity of waste-based briquettes. Bioresource Technology Reports, v. 25, 101724, 2024.

SILVA, D. A. L.; FILLETI, R. A. P.; MUSULE, R.; MATHEUS, T.T.; FREIRE F. A systematic review and life cycle assessment of biomass pellets and briquettes production in Latin America. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 157, 2022.

SINGH, K.; KUMAR, N.; KUMAR YADAV, A.; SINGH, R.; KUMAR, K. Per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) as a health hazard: Current state of knowledge and strategies in environmental settings across Asia and future perspectives. Chemical Engineering Journal, p. 145064, 2023.

William A. GONZÁLEZ, Diana LÓPEZ, Juan F. PÉREZ. Biofuel quality analysis of fallen leaf pellets: Effect of moisture and glycerol contents as binders. Renewable Energy, v. 147-1, p 1139-1150, 2020.

ZHANG, G.; SUN, Y.; XU, Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 82, p 477 - 487, 2018.