



ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA NA COMPACTAÇÃO DE CASCA DE COCO BABAÇU PARA CONFECÇÃO DE BRIQUETES

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.XII-020>

Antonia Mabrysa Torres Gadelha (*), Graziela Colato Antonio, Juliana Tófano de Campos Leite

* Universidade Federal do ABC (UFABC), gadelha.torres@ufabc.edu.br

RESUMO

A casca de coco babaçu é um exemplo de resíduo lignocelulósico de grande produção representando cerca de 92% do peso total do fruto. Normalmente, é tratada como um resíduo sólido urbano e descartada em aterros sanitários, porém, pode ser considerada como uma alternativa de combustível sólido e utilizada em processos de conversão energética. Os processos de compactação de biomassas residuais, como a briquetagem, são uma alternativa para a produção de combustíveis sólidos mais competitivos no mercado, uma vez que resultam em um produto com maior densidade e melhores propriedades para transporte e manuseio. Porém, é necessário estudar o comportamento da matéria-prima aplicada à técnica. Um dos grandes questionamentos, no que se refere à produção de briquetes é a eficiência energética do processo produtivo. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência energética do processo de produção de briquetes de casca de coco babaçu (CCB), analisando-se o aumento da densidade energética da CCB e o consumo energético do processo, considerando-se diferentes temperaturas de compactação. A análise do consumo de energia foi realizada por meio de um medidor de qualidade de energia *Power Pad III* da marca AEMC, modelo 8335. Na compactação com temperatura de 30°C a energia gasta foi de 0,2212 MJ e na compactação utilizando 100°C foi de 0,3276MJ. Uma diferença de 0,1064 MJ a mais para concentrar menos energia. Dessa forma, entre as duas condições de processo de compactação analisadas, o processo que se indica é a que utilizou a menor temperatura, já que os demais parâmetros analisados no processo foram iguais e foi a condição que apresentou o menor gasto de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Briquetagem, Casca de coco babaçu, Consumo, Energia.

ABSTRACT

The babassu coconut husk is an example of high production lignocellulosic residue representing about 92% of the total weight of the fruit. Normally, it is treated as an urban solid waste and discarded in landfills, however, it can be considered as an alternative solid fuel and used in energy conversion processes. Residual biomass compaction processes, such as briquetting, are an alternative for the production of more competitive solid fuels in the market, since they result in a product with greater density and better properties for transport and handling. However, it is necessary to study the behavior of the raw material applied to the technique. One of the major questions regarding the production of briquettes is the energy efficiency of the production process. In this sense, the objective of this work was to evaluate the energy efficiency of the production process of babassu coconut shell briquettes (CCB), analyzing the increase in the energy density of the CCB and the energy consumption of the process, considering different temperatures of compression. The analysis of energy consumption was carried out using an AEMC Power Pad III energy quality meter, model 8335. In compression with a temperature of 30°C, the energy spent was 0.2212 MJ and in compression using 100°C it was 0,3276MJ. A difference of 0.1064 MJ more to concentrate less energy. Thus, between the two conditions of the compaction process analyzed, the process that is indicated is the one that used the lowest temperature, since the other parameters analyzed in the process were the same and it was the condition that presented the lowest energy expenditure.

KEY WORDS: Briquetting, Babassu coconut husk, Consumption, Energy.

INTRODUÇÃO

Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2022 (MME, 2022), no ano de 2019, a participação de fontes renováveis na matriz energética mundial foi de apenas 14,1%. É de conhecimento geral que o uso de fontes não renováveis está associado a problemas como a disponibilidade de energia e seus efeitos nocivos sobre o meio ambiente, como as mudanças climáticas. A diversificação da matriz energética, com inclusão de fontes limpas e renováveis, está entre os 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável (ODS) estabelecido pela Organização das Nações Unidas, na



Agenda 2030 (UN, 2020). Nesse sentido, uma série de pesquisas vêm sendo desenvolvidas na busca pela diversificação da matriz energética, com a inclusão de novas fontes renováveis de energia com foco em produtividade eficiente, segurança energética e menor poluição [1,2].

Uma das alternativas para a diversificação da matriz energética, ampliando o uso de fontes renováveis são as biomassas residuais. Os resíduos lignocelulósicos são fontes de energia questão disponíveis em grandes quantidades e variedade, tanto no setor agrícola quanto no agroindustrial, e que apresentam diferentes possibilidades de aplicação em processos de conversão energética, desde seu uso *in natura* em processos termoquímicos até a produção de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, por diferentes processos produtivos. No Brasil, a variedade e vasta disponibilidade desse recurso é encontrada tanto nas grandes indústrias, quanto nas produções locais [3].

A casca de coco babaçu é um resíduo lignocelulósico de grande produção no nordeste brasileiro, tem origem da atividade extrativista, e a amêndoa é o produto comercial, corresponde de 6 a 8% do coco; ao passo que a casca, que representa cerca de 92% do fruto total; é normalmente descartada em aterros sanitários, sendo tratada como um resíduo sólido urbano, ou seja; a cada tonelada de coco produzido, cerca de 920 Kg são descartados [4]. Segundo Gadelha (2019) [5], a casca do babaçu apresenta propriedades que demonstram sua viabilidade para aplicação em processos de conversão energética. Nesse sentido, sua utilização como fonte de energia é uma solução que agrega valor ao produto, ao mesmo tempo em que minimiza os prejuízos ambientais e econômicos do seu descarte.

A combustão direta é o processo mais utilizado para converter resíduos lignocelulósicos em energia. O uso dessa biomassa como combustível pode ser realizado diretamente, com a biomassa *in natura*, porém, processos de pré-tratamento são desejáveis para agregar valor à matéria-prima e aumentar a eficiência do processo de conversão energética [6]. A briquetagem é uma técnica de compactação de matéria-prima que permite a obtenção de um combustível sólido mais homogêneo e uniforme, com menor umidade e maior densidade e, portanto, capaz de alocar mais energia em um volume menor [6, 7]. Dessa maneira, é importante entender e avaliar as variáveis do processo produtivo para confirmar sua eficiência e viabilidade, especialmente quanto à técnica utilizada para a densificação. Um dos principais questionamentos sobre esse processo refere-se à sua eficiência energética, quando se considera o gasto de energia na compactação em relação ao ganho de energia por unidade de volume do combustível sólido resultante.

Na literatura, existem variados trabalhos que buscam alternativas energéticas em resíduos lignocelulósicos [8, 9, 10], sendo que, muitos deles consideram a briquetagem como opção para viabilizar a aplicação desses resíduos como combustíveis sólidos maximizando o potencial do recurso e do processo [11, 12]. Porém, poucos estudos foram encontrados sobre a casca de coco babaçu como alternativa energética. Protásio [10, 13] estudaram as características físicas, químicas e térmicas das cascas do coco babaçu, na possibilidade da conversão termoquímica. Não foram localizados estudos prévios sobre a eficiência energética do processo de densificação da casca de coco babaçu.

O objetivo deste trabalho foi o de investigar a eficiência energética do processo de compactação da casca de coco babaçu (CCB), considerando o ganho e o gasto energético da CCB, comparando temperaturas diferentes de compactação. O estudo foi realizado a partir da confirmação da viabilidade de uso dessa técnica por Gadelha (2019) [5].

2 MATERIAS E MÉTODOS

As amostras de coco babaçu foram coletadas em Baturité, interior do Ceará-Brasil, conduzidas e analisadas na Universidade Federal do ABC (UFABC). O preparo das amostras incluiu as etapas de remoção das amêndoas, seguida da redução de tamanho e homogeneização das partículas. Foi utilizando um triturador de madeira marca Trapp, modelo TR200, de potência 1,5 cv e rotação de 3,600 rpm e um moinho de facas tipo Willey de marca Solab, modelo SL-31. Após trituração as amostras passaram por processo de secagem à 105°C ± 2°C, até umidade de equilíbrio de 11.9% (umidade *in natura*: 12.5%).

Após o preparo, as amostras de casca de coco babaçu (CCB) para produção dos briquetes continham umidade de 11,5% e granulometria de até 4 mm. Utilizaram-se cerca de 50g em cada teste, variando a temperatura de compactação, em 30°C e 100°C. As condições de processo foram definidas de acordo com os resultados de Rodrigues (2018) [14], com a finalidade de comparar as condições de máximo e mínimo gasto de energia no processo de compactação. Todas as amostras foram produzidas em triplicata, para as duas temperaturas de análise. A análise do consumo de energia ocorreu na etapa de compactação dos briquetes a partir de um medidor de qualidade de energia *Power Pad III* da marca AEMC, modelo 8335 (Figura 1a).

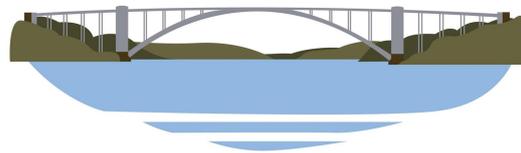


Figura 1: Processo de medição do consumo de energia na compactação dos briquetes. (a) medidor de qualidade de energia e (b) ligação entre medidor e disjuntor da briquetadeira no quadro de força. Fonte: Autor do trabalho.

O medidor foi ligado no quadro de força do laboratório, e o equipamento foi conectado aos fios fase da briquetadeira, que é trifásica de 220V (Figura 1b). As medições foram realizadas ao longo do processo completo de compactação, e durou cerca de quatro minutos. Considerou-se como processo completo as etapas: (1) avanço do cilindro superior; (2) cinco segundos de pressão de pré-compactação; (3) avanço do cilindro inferior; (4) dois minutos de compactação com pressão de 200 bar; e, (5) retirada da pressão de 200 bar.

Ao final da medição, os dados da energia gasta no processo foram obtidos a partir de planilhas emitidas pelo equipamento. Com os dados de consumo de energia, determinou-se a energia gasta no processo de compactação, fornecidos em unidades da potência real gasta no período de uma hora (Wh). As medidas obtidas foram convertidas para a mesma unidade de energia dos briquetes produzidos (MJ).

Os dados de densidade energética da biomassa e do briquete (tabela 2), mais o volume do briquete de 4.24×10^5 , foram determinados por Gadelha (2019) [5], e com base neles, calculou-se a energia contida na biomassa (a granel) e no briquete resultante no processo de compactação, de acordo com a Equação 1. A partir disso foi possível comparar a energia que haveria na biomassa a granel sem compactação com a energia contida no briquete, ambos com o mesmo volume.

$$E_{cb} ; E_{CB} = D_E \cdot V_b \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

E_{cb} : Energia contida na biomassa a granel (MJ); E_{CB} : Energia contida no briquete (MJ); D_E : Densidade energética (MJ/m³); V_b : Volume do briquete (m³).

A partir do valor de energia contida no briquete, determinou-se a energia que foi concentrada no briquete após a compactação, sendo a diferença entre a energia contida no briquete e a energia que haveria no mesmo volume da biomassa *in natura*, como apresentado na Equação 2.

$$E_{cc} = E_{cb} - E_{CB} \quad \text{equação (2)}$$

Em que:

E_{cc} : Energia concentrada no briquete (MJ); E_{cb} : Energia contida na biomassa a granel (MJ); E_{CB} : Energia contida no briquete (MJ).

Determinou-se, por fim; a razão entre a energia gasta e energia concentrada no briquete.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 2 estão apresentados os briquetes resultantes dos processos de compactação às temperaturas de 30 e 100°C.

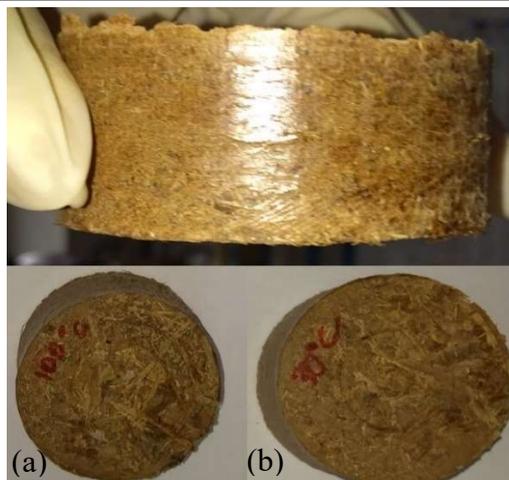


Figura 2 – Briquetes produzidos com umidade de 11,5% e granulometria de até 4 mm. a) ensaio com 100°C de temperatura de compactação e b) ensaio com 30° de temperatura de compactação. Fonte: Autor do trabalho.

A Tabela 1 apresenta os dados médios de consumo de energia na etapa de compactação do processo de produção de briquetes de CCB com umidade de 11,5% e granulometria de até 4 mm, para as temperaturas de 30 e 100°C.

Tabela 1. Valores do consumo de energia no processo de compactação dos briquetes de CCB. *valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Fonte: Autor do trabalho.

CONSUMO DE ENERGIA	
Temperatura (T)	
30 °C	100 °C
263,39 VAh ^{(4,89)*}	286,46 VAh ^(6,05)
61,47 Wh ^(2,18)	94,01 Wh ^(6,37)

O Watt-hora (Wh) e o Volt-Amperes-hora (VAh) representam a quantidade de energia gasta para alimentar uma carga qualquer, no período de uma hora. Porém, existe uma diferença entre as duas unidades que representam a energia gasta no processo.

De acordo com Santos (2011) [15] Watt-hora (Wh) é a potência ativa ou real consumida por um equipamento pelo período de uma hora, ou seja; é a potência que efetivamente é convertida em potência mecânica, térmica e luminosa. Volt-Ampere-hora (VAh) é a também conhecida como “potência aparente” e é produto da tensão aplicada ao equipamento com a corrente consumida por ele; ou seja, é a parcela da potência real transformada em campo magnético.

Considerando os valores de energia gasta, pela tabela 1, observa-se que; para ambos (Wh ou VAh) o consumo de energia no processo de produção dos briquetes foi maior para a temperatura de 100°C, como era esperado. O processo de produção dos briquetes à temperatura ambiente (30°) consumiu 263,39 VAh e 61,47 Wh, ao passo que, à temperatura de 100°C, esses consumos aumentaram para 286,46 VAh e 94,01 Wh. Subtraindo-se os valores de energia gasta, as diferenças de consumo de energia entre os dois processos de compactação foi de 23,07 VAh e 32,54 Wh, indicando um aumento no consumo de energia com o aumento da temperatura.

Considerando-se a potência real consumida pelo período de uma hora (Wh), fez-se a conversão da unidade (MJ), no intuito de comparar a energia gasta na compactação da biomassa com a energia concentrada pelo briquete na compactação. Os valores de energia contida no briquete, energia concentrada na biomassa a granel, energia concentrada no briquete, energia gasta na compactação e a razão entre energia gasta na compactação e energia concentrada no briquete estão apresentados os na tabela 2.

Os valores de energia contida a granel e no briquete, representam a energia que haveria na biomassa, no mesmo volume do briquete, sem o processo de compactação. A energia concentrada no briquete indica a diferença entre a energia contida no briquete e a energia contida no mesmo volume de biomassa a granel. Pela tabela 2, observa-se que a energia concentrada nos briquetes foi 45MJ, maior que a energia contida na biomassa com mesmo volume para os briquetes compactados com temperatura de 30°C, e 44MJ maior para os briquetes compactados com 100°C de temperatura.



Tabela 2. Valores da avaliação de energia gasta na compactação dos briquetes de CCB em comparação com a energia concentrada no briquete de CCB.

Fonte: Autor do trabalho.

Avaliação da energia gasta no processo x Energia concentrada no briquete						
	Densidade (kg/m ³)	Densidade Energética (MJ/m ³)	Energia contida (MJ)	Energia concentrada no briquete (MJ)	Energia gasta (MJ)	Razão Energia gasta/Energia concentrada
Biomassa a granel	434,60	9521,90	0,40			
30°C	1153,84	19361,642	0,85	0,45	0,2212	0,50
100°C	1184,445	19875,194	0,84	0,44	0,3276	0,75

Pelos resultados da tabela 2, observa-se que para a compactação com temperatura de 30°C, a energia gasta foi de 0,2212 MJ. Já o valor de gasto com a compactação utilizando 100°C foi de 0,3276MJ. Uma diferença de 0,1064 MJ a mais para concentrar menos energia.

Pela razão de energia gasta na compactação e energia concentrada no briquete com a compactação, observa-se que foi gasto metade da energia concentrada na compactação utilizando 30°C. Para a compactação utilizando 100°C gastou 75% da energia concentrada no briquete. Apesar do ganho de energia com a compactação utilizado temperatura de 100°C, ainda é menor em comparação com o briquete compactado com 30°C, e, portanto, não justificaria o gasto de energia a mais.

Os resultados apresentados na Tabela 2 eram esperados, uma vez que, para a maior temperatura de processo, além da energia de compactação, o equipamento consome energia para o aquecimento do equipamento e consequentemente, da biomassa.

Como nem todas as etapas da cadeia produtiva do processo de briquetagem são necessárias para o caso da CCB, como a secagem da biomassa, por exemplo, é preciso salientar que a medição do consumo de energia foi realizada apenas do processo de compactação. No entanto, a trituração é uma etapa importante, que não pôde ser mensurada neste trabalho, por restrições de equipamentos.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que:

- A análise do consumo de energia indicou que o processo de produção dos briquetes de CCB à temperatura de 100°C consumiu mais energia que à temperatura de 30°C;
- A energia concentrada nos briquetes compactados à temperatura de 100°C foi menor do que a concentrada nos briquetes produzidos à 30°C;
- Dessa forma, conclui-se que, entre as duas condições de processo de compactação analisadas (até 4 mm/11.5%/100°C e até 4mm/11.5%/30°C), a melhor condição foi a que utilizou a menor temperatura, uma vez que os demais parâmetros analisados no processo não variaram e houve menor gasto de energia.

Além disso, a viabilidade de uso da casca de coco babaçu em processo de densificação; a CCB poderá colaborar no desenvolvimento econômico da região de cocais em que for produzida. Especialmente, na contribuição de grupos extrativistas que comercializam a amêndoa do coco babaçu, e podem com a o resíduo normalmente descartado, gerar um novo produto de alta qualidade energética com potencial de comércio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. UN, United Nations. Brasil. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acessado em julho de 2020.
2. BEN, Balanço Energético Nacional. Brasília, 2022. Relatório Síntese 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf>. acesso em: 17/03/2023.
3. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Coordenação de André Luiz Felisberto França, et. al.. Brasília, 2022. p. 105. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf. Acessado em: 23 de agosto de 2022.



4. TEIXEIRA, Marcos Alexandre. Babassu—A new approach for an ancient Brazilian biomass. **Biomass And Bioenergy**, v. 32, n. 9, p. 857-864, set. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.12.016>.
5. GADELHA, Antonia Mabrysa Torres. **Densificação de Cascas de Coco Babaçu Oriundas da Região do Maciço de Baturité-Ce**. 2018. 174 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo, 2019.
6. FILIPPETTO, Daniele. **Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnicoeconômica e potencial de mercado**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Planejamento de Sistemas Energéticos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
7. DIAS, José Manuel Cabral et al. **Produção de briquetes e peletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012. 132 p.
8. CARLINI, Maurizio; MONARCA, Danilo; CASTELLUCCI, Sonia; MENNUNI, Andrea; CASINI, Luca; SELLI, Sara. Beer spent grains biomass for biogas production: characterization and anaerobic digestion-oriented pre-treatments. **Energy Reports**, v. 7, p. 921-929, nov. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.049>.
9. BUTNARU, Elena; PAMFIL, Daniela; STOLERU, Elena; BREBU, Mihai. Characterization of bark, needles and cones from silver fir (*Abies alba* mill.) towards valorization of biomass forestry residues. **Biomass And Bioenergy**, v. 159, p. 106413, abr. 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106413>.
10. PROTÁSIO, Thiago de Paula; TRUGILHO, Paulo Fernando; CÉSAR, Antônia Amanda da Silva; NAPOLI, Alfredo; MELO, Isabel Cristina Nogueira Alves de; SILVA, Marcela Gomes da. Babassu nut residues: potential for bioenergy use in the north and northeast of Brazil. **Springerplus**, v. 3, n. 1, 6 mar. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/2193-1801-3-124>.
11. BOT, Bill Vaneck; AXAOPOULOS, Petros J.; SAKELLARIOU, Evangelos I.; SOSSO, Olivier Thierry; TAMBA, Jean Gaston. Energetic and economic analysis of biomass briquettes production from agricultural residues. **Applied Energy**, v. 321, p. 119430, set. 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119430>.
12. NAGARAJAN, J.; PRAKASH, L.. Preparation and characterization of biomass briquettes using sugarcane bagasse, corncob and rice husk. **Materials Today: Proceedings**, v. 47, p. 4194-4198, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.457>.
13. PROTÁSIO, Thiago de Paula; JUNIOR, Mario Guimarães; MIRMEHDI, Seyedmohammad; TRUGILHO, Paulo Fernando; NAPOLI, Alfredo; KNOVACK, Kátia Monteiro. Combustion of biomass and charcoal made from babassu nutshell. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 1-10, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201723012202>.
14. RODRIGUES, Deyvison Souza. **DENSIFICAÇÃO DE CAROÇOS DE AÇAÍ: Caracterização e Efeito das Condições de Processamento**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Curso de Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo, 2018.
15. SANTOS, Kelly Vinente dos.. **Fundamentos de eletricidade: Curso técnico em manutenção e suporte em informática**. Centro de Educação Tecnológica do Amazonas – CETAM, p. 130, Amazonas, 2011.