

## Utilização de secador solar e resíduos de coco verde para produção energética

### Use of solar dryer and green coconut waste for energy production

### Uso de secador solar y residuos de coco verde para la producción de energía

Recebido: 26/09/2022 | Revisado: 13/10/2022 | Aceitado: 15/10/2022 | Publicado: 20/10/2022

#### Monique Luciana Nunes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1058-691X>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Brasil  
E-mail: [monique\\_l.nunes@hotmail.com](mailto:monique_l.nunes@hotmail.com)

#### Ronaldo Faustino da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8097-9420>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Brasil  
E-mail: [ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br](mailto:ronaldofaustino@recife.ifpe.edu.br)

#### Eduardo José Alécio de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3081-3865>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Brasil  
E-mail: [eduardoalecio@recife.ifpe.edu.br](mailto:eduardoalecio@recife.ifpe.edu.br)

#### Resumo

A matriz energética do país tem sofrido alterações, encaminhando-se para a sustentabilidade. Para diminuir o consumo de combustíveis fósseis e consequente emissão de gases do efeito estufa, a utilização de briquetes apresenta-se como uma alternativa viável e atrativa. O resíduo do coco verde, que pode ser utilizado para a fabricação de briquetes, é uma biomassa de origem natural, renovável e constitui uma grande parcela em massa do resíduo urbano. O seguinte trabalho tem como objetivo principal o aproveitamento energético da casca do coco verde na forma de briquetes. Em uma das etapas da fabricação dos briquetes, foi utilizado um secador solar baseado no modelo IAPAR produzido com material reciclado. Foram registradas temperaturas acima de 70°C no interior do secador, enquanto a externa era em torno de 30°C. Por conta disso, água é eliminada das cascas, que perdem em torno de 80% da umidade em aproximadamente 20 dias. A literatura aponta que os briquetes devem ser feitos com teor de umidade de 8% a 23%, dependendo da biomassa. Os briquetes foram produzidos com prensa manual e submetidos a diversas análises baseadas nas NBR 8112/86, ASTM D5373/2008, ASTM D4208/2007 e NBR 8633/84. As análises apresentaram os seguintes resultados: teor de carbono fixo - 1,71%, umidade - 16,58%, cinzas - 3,0%, voláteis - 95,30%, composição química elementar - Carbono 40,44%, Hidrogênio 4,26% e Enxofre 0,78%; poder calorífico superior - 15,36 MJ/kg e inferior - 15,17 MJ/kg. De acordo com os dados obtidos, é possível substituir a lenha por briquetes da casca de coco.

**Palavras-chave:** Coco; Secador solar; Reciclagem.

#### Abstract

The country's energy matrix has undergone changes, moving towards sustainability. To reduce the consumption of fossil fuels and the consequent emission of greenhouse gases, the use of briquettes presents itself as a viable and attractive alternative. The green coconut residue, which can be used for the manufacture of briquettes, is a biomass of natural, renewable origin and constitutes a large portion of urban waste. The following work has as main objective the energetic use of the green coconut husk in the form of briquettes. In one of the stages of manufacturing the briquettes, a solar dryer based on the IAPAR model produced with recycled material was used. Temperatures above 70°C were recorded inside the dryer, while the outside was around 30°C. Because of this, water is eliminated from the shells, which lose around 80% of their moisture in approximately 20 days. The literature points out that briquettes should be made with a moisture content of 8% to 23%, depending on the biomass. The briquettes were produced with a manual press and subjected to several analyzes based on NBR 8112/86, ASTM D5373/2008, ASTM D4208/2007 and NBR 8633/84. The analyzes showed the following results: fixed carbon content - 1.71%, moisture - 16.58%, ash - 3.0%, volatiles - 95.30%, elemental chemical composition - Carbon 40.44%, Hydrogen 4.26% and Sulfur 0.78%; upper calorific value - 15.36 MJ/kg and lower - 15.17 MJ/kg. According to the data obtained, it is possible to replace the firewood with coconut husk briquettes.

**Keywords:** Coconut; Solar dryer; Recycling.

#### Resumen

La matriz energética del país ha sufrido cambios, avanzando hacia la sostenibilidad. Para reducir el consumo de combustibles fósiles y la consecuente emisión de gases de efecto invernadero, el uso de briquetas se presenta como una alternativa viable y atractiva. El residuo de coco verde, que puede utilizarse para la fabricación de briquetas, es una biomasa de origen natural renovable y constituye una gran parte de los residuos urbanos. El siguiente trabajo tiene como objetivo principal el aprovechamiento energético de la cáscara de coco verde en forma de briquetas. En una de las etapas

de fabricação de las briquetas se utilizó un secador solar basado en el modelo IAPAR producido con material reciclado. En el interior del secadero se registraron temperaturas superiores a 70°C, mientras que en el exterior rondaron los 30°C. Debido a esto, se elimina el agua de las conchas, que pierden alrededor del 80% de su humedad en aproximadamente 20 días. La literatura señala que las briquetas deben hacerse con un contenido de humedad de 8% a 23%, dependiendo de la biomasa. Las briquetas fueron producidas con prensa manual y sometidas a varios análisis basados en la NBR 8112/86, ASTM D5373/2008, ASTM D4208/2007 y NBR 8633/84. Los análisis arrojaron los siguientes resultados: contenido de carbono fijo -1,71%, humedad - 16,58%, cenizas - 3,0%, volátiles - 95,30%, composición química elemental - Carbono 40,44%, Hidrógeno 4,26% y Azufre 0,78%; poder calorífico superior - 15,36 MJ/kg e inferior - 15,17 MJ/kg. Según los datos obtenidos, es posible sustituir la leña por briquetas de cáscara de coco.

**Palabras clave:** Coco; Secador solar; Reciclaje.

## 1. Introdução

Nos últimos anos, a matriz energética brasileira sofreu modificações, tomando um sentido mais voltado para a sustentabilidade. As fontes energéticas do país são diversas (hidroelétrica, biomassa, eólica) e cada vez menos sujeitas ao desmatamento (Feiden & Campolin, 2015). Para que o lançamento de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera seja atenuado, deve-se repensar na diminuição do uso de fontes não-renováveis, como os combustíveis fósseis. Edenhofer et. al. (2011) cita que para mitigar as consequências do lançamento dos GEE é necessário reduzir sua emissão de 50 a 85% até 2050. Silveira (2008) cita que o resíduo do coco verde tem uma considerável capacidade para aplicações como combustível. O resíduo do coco verde caracteriza-se como uma biomassa de origem natural e renovável, e surge como uma opção ao uso de combustíveis fósseis (Gomez, 1996). Os resíduos da casca do coco verde podem ser aproveitados para a produção de briquetes. Assim, insere-se um modelo de destinação que inclui os três pilares do desenvolvimento sustentável: o econômico, quando se gera energia barata a partir de um resíduo em detrimento a outras fontes energéticas; ambiental, ao encontrar uma fonte de energia limpa; e social, quando o tratamento adequado para o resíduo pode gerar uma fonte de recursos financeiros para catadores. Uma das etapas da produção de briquetes envolve a secagem. Como alternativa ao uso de equipamentos movidos a energia elétrica, esta etapa pode ser substituída por um secador que usa energia solar, promovendo o aproveitamento ambientalmente correto das cascas de coco verde. Os secadores confeccionados podem ser produzidos com materiais reciclados, que teriam seu destino o lixo. Associado ao baixo custo e facilidade de obtenção de material, a montagem é relativamente simples, podendo também ser uma forma alternativa de renda para pessoas em situação de vulnerabilidade social. Sendo assim, a construção do secador também atende as três grandes bases do desenvolvimento sustentável (Almeida et. al., 2016).

Em consequência da considerável quantidade de cascas de coco destinadas incorretamente, vários pesquisadores se debruçam sobre o assunto para considerar as alternativas para suas aplicações e finalidades. Segundo Esteves e Barcellos (2015), as análises físico-químicas (massa específica, umidade, teor de voláteis, teor de cinzas, carbono fixo e poder calorífico) indicam que o resíduo de casca de coco verde processado como briquete tem propriedades inerentes a combustíveis, podendo ser utilizado como fonte energética. Os briquetes podem ser utilizados como substitutos à lenha ou madeira na indústria, alimentando caldeiras, fornalhas ou equipamentos similares. A utilização do briquetes pode ser uma alternativa economicamente viável e ambientalmente correta, pois promove a redução do desmatamento, além de utilizar uma fonte energética que seria descartada. (Dias, et al., 2012; Zago, et al., 2020).

Segundo Silveira (2008), comparado à lenha, os briquetes apresentam uma série de vantagens, algumas citadas abaixo:

- Mitigação do impacto negativo pela extração da lenha, principalmente em matas e florestas nativas;
- Redução da contaminação ambiental;
- Reinscrição do resíduo agrícola na cadeia produtiva;
- Facilidade no transporte e acomodação devido à forma definida;
- Substituição de 1 tonelada de briquete por até 1,96 ton de lenha;
- Poder calorífico maior que a lenha.

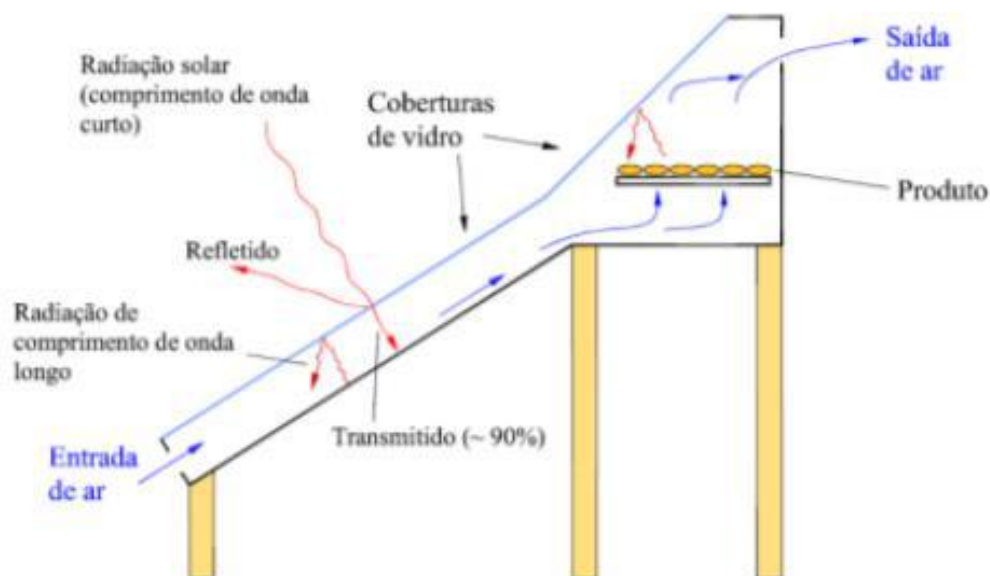
O objetivo principal do trabalho é propor a produção energética com resíduos de coco verde. Secundariamente, foi realizado a produção de briquetes de casca de coco verde com o auxílio de secador solar e sua caracterização de acordo com as seguintes normas: NBR 8633/84 e NBR 8112/86 (Silveira, 2008); ASTM D5373/2008 e ASTM D4208/2007 (Geraldo, 2013). Adicionalmente, foi verificada a performance do secador solar em determinado local, período de tempo e sob condições meteorológicas definidas.

O Brasil, embora produza briquetes há anos, atualmente ainda não possui legislação ou normatização específica para a produção e comercialização de briquetes. O que se faz é uma adaptação das normas para carvão vegetal, as NBR 8112/86 e NBR 8633/84 (Silveira, 2008). Estas normas foram revogadas, porém não há substitutos para elas, até o presente momento. Sendo assim, basicamente, os briquetes são analisados com as normas de carvão vegetal: umidade, densidade, poder calorífico e análise imediata (teor de cinzas e voláteis).

A justificativa para que a umidade seja um dos parâmetros a serem analisados pode ser dada de duas maneiras. A água atua na etapa de plastificação do amido, quebra das proteínas e dissolução das fibras na fase de compactação. Porém o remanescente pode levar à obstrução dos equipamentos, além do gasto de energia para evaporar a água. A literatura aponta que o teor de umidade ótimo para a maior parte da biomassa é entre 5 e 10%. Porém, outros trabalhos citam que o teor de umidade ideal para serragem e palha de outros tipos de biomassa é entre 15% e 23%. (Demirbas & Sahin-Demirbas, 2004).

O uso de energia solar para a secagem é uma alternativa em potencial para regiões de incidência solar considerável, como o Nordeste brasileiro (Almeida et al., 2016). Os fenômenos que ocorrem no secador solar envolvem transferência de calor e massa (Orozco et al., 2011). A luz incidida passa pelo anteparo translúcido (no caso o tampo de vidro). A energia é absorvida pelos produtos submetidos à luz e emitida em comprimentos de onda na faixa do infravermelho. O material translúcido não permite que esta faixa de energia no espectro de luz solar seja dispersada, sendo então mantida dentro do secador, fazendo o aquecimento se tornar constante (Pereira, 2018). Na Figura 1 é possível observar como funciona um secador solar.

**Figura 1** - Esquema representativo de secador solar.



Fonte: Domenico (2019) *apud* Silveira e Moraes (2016).

Na Figura 1 é possível observar claramente os fenômenos de transferência que permitem que a umidade seja extraída do material. O ar mais frio entra pela parte inferior, é aquecido no interior da câmara juntamente com o material, e é levado para fora do secador juntamente com a água presente no material na forma de vapor pela parte superior do secador.

## 2. Metodologia

### 2.1 Obtenção da matéria-prima

A empresa Lógica Ambiental LTDA situada em Recife - PE forneceu em torno de 10 kg de cocos verdes para o experimento. Os cocos foram coletados no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA).

### 2.2 Secador solar

Como alternativa ao uso da estufa para a secagem do material, foi elaborado um projeto piloto de secador solar baseado no modelo desenvolvido pelo IAPAR (Feiden & Campolin, 2015). O secador é um equipamento simples: uma caixa de madeira com furos nas laterais sobre a qual se coloca um tampo de vidro que permite a entrada de luz solar e impede a saída de calor. O secador solar foi confeccionado com materiais que seriam destinados ao descarte. O secador é de madeira com tampo de vidro e tem dimensões de 1,0mx0,7mx0,15m. O ângulo foi ajustado com o auxílio de calços para a latitude da cidade do Recife (onde o experimento foi realizado) e é em torno de 8° e foi posicionado voltado para o norte para um melhor aproveitamento da luz solar. Foi disposto em local onde a luz solar incide na maior parte do dia. Foi inserido um termômetro simples para aferição da temperatura nos dias em que ficou submetido ao estudo. Um modelo do secador produzido pela IAPAR é indicado na Figura 2:

**Figura 2** - Secador solar modelo IAPAR ainda sem pintura.



Fonte: Feiden e Campolin (2015).

O secador solar modelo IAPAR da Figura 2 foi utilizado como base para a confecção do secador utilizado. É um instrumento simples, porém bastante eficaz utilizado na secagem de alguns alimentos e vegetais.

### 2.3 Produção de briquetes de casca de coco

As cascas de coco foram simplesmente amassadas e estendidas com o uso de uma marreta e pesadas (balança digital marca SF modelo 400 sensibilidade 1g. Após a pesagem, foram acondicionadas no secador solar com um termômetro no seu interior conforme Figura 3:

**Figura 3:** Secador solar com cascas de coco em dois ângulos.



Fonte: Autores (2022).

O secador solar da Figura 3 foi elaborado com o intuito de ser o substituto mais ambientalmente favorável em comparação à estufa elétrica. Ele apresenta duas grandes vantagens: teve o custo não considerável, pois foi produzido com material destinado ao lixo, e o uso de energia solar, abundante e grátis. Já a estufa, além do custo da aquisição, é alimentada por energia elétrica, que tem um custo associado.

A pesagem e a verificação da temperatura foram realizadas em espaços de tempo determinado. Após a verificação da estabilidade (não-variação) da massa, as cascas secas foram submetidas à moagem utilizando um moinho de facas Marconi, modelo MA-48 e seguida de peneiramento. A casca do coco então transformada em pó com granulometria determinada, foi submetida à prensagem manual, com a utilização da prensa conforme Figura 4:

**Figura 4 -** Prensa manual para fabricação de briquetes.



Fonte: Autores (2022).

A prensa é um equipamento fundamental na produção dos briquetes porque por meio dela, eles terão formas compactas e definidas, que é fator importante para o transporte dos briquetes.

Como foi utilizada uma prensa manual, não foi possível mensurar a quantidade de força aplicada. Os briquetes obtidos após prensamento apresentaram forma de acordo com a Figura 5:

**Figura 5 - Briquetes de casca de coco.**



Fonte: Autores (2022).

Os briquetes da Figura 5 apresentam forma cilíndrica e já estão prontos para transporte, acomodação adequada e posterior aplicação ou comercialização.

O pó que originou os briquetes foi submetido a diversas análises de acordo com a NBR 8112/86, NBR 8633/84 (Silveira, 2008) e ASTM D5373/2008 e ASTM D4208/2007 (Geraldo, 2013).

Os equipamentos utilizados foram a balança analítica marca Marte modelo AD500 e sensibilidade 0,0001g, estufa marca Marconi MA035 e mufla marca Novus modelo N1030. Os experimentos foram feitos em triplicata.

#### **2.4 Determinação do teor de umidade das cascas de coco**

Após a secagem no secador solar e antes da confecção dos briquetes foi determinado o teor de umidade da casca de coco moída. Foram pesados 3 recipientes limpos e secos. Após a pesagem, foram adicionados cerca de 5 gramas de fibra de casca de coco e pesados novamente. Foram mantidos em estufa por 3 horas a  $105^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , até massa constante. Foram transferidos para um dessecador para serem pesados após esfriarem para realizar o cálculo do teor de umidade.

#### **2.5 Características dos briquetes produzidos**

A metodologia utilizada para determinar o teor de materiais voláteis, teor de cinzas e o teor de carbono fixo do briquete foi baseada na NBR 8112/86 (Silveira, 2008). A metodologia utilizada para determinar o poder calorífico foi baseada na NBR 8633/84 (Silveira, 2008). As duas normas foram revogadas e não há substitutos, até o momento.

##### **2.5.1 Poder calorífico**

O poder calorífico superior (PCS) dos briquetes foi determinado de acordo com uma adaptação da NBR 8633/84 (Silveira, 2008), utilizando-se uma bomba calorimétrica ou calorímetro com três repetições para cada tratamento, de acordo com a figura 6.

**Figura 6 - Calorímetro Digital.**



Fonte: Geraldo (2013).

O equipamento utilizado na Figura 6 foi o mesmo do experimento, e é o Calorímetro Digital Automático IKAWERKE, modelo C2000. O calorímetro funciona por meio de uma bomba adiabática de O<sub>2</sub>, água deionizada e um recipiente para a biomassa.

Previamente, verificou-se a umidade do material. Então, foram pesados 0,70 g do material e o calorímetro ligado no modo dinâmico. Em seguida, o manômetro de oxigênio foi mantido em 30 bar de pressão. Adicionou-se 2 L de água deionizada em temperatura ambiente no calorímetro até o indicador. Inseriu-se a amostra, o fio de ignição e aguardou-se até o fim da combustão. A pressão de 30 bar de oxigênio foi mantida no recipiente de combustão.

O cálculo foi feito da seguinte maneira:

$$PCI=PCS-304 \text{ (Equação 1)}$$

$$PCU= PCI (1-U) - 600 U \text{ (Equação 2)}$$

Em que:

PCI = Poder calorífico inferior

PCS= Poder calorífico superior

PCU= Poder calorífico útil

U = teor de umidade em %

### 2.5.2 Teor de materiais voláteis

Para essa análise foram utilizados cadinhos de porcelana, mufla, balança analítica Shimadzu, modelo AY 220, sensibilidade 0,0001g e dessecador. Seguindo as normas ABNT NBR 8112/86 (Silveira, 2008), foram colocados nos cadinhos em torno de 1,0g do briquete produzido. Estes foram postos na porta da mufla a 900°C por 3 minutos. Depois, colocados no interior da mufla com a porta fechada a 900°C por 7 minutos. Após este tempo, foram postos no dessecador e pesados após o resfriamento. A Equação 3 mostra como foi feito o cálculo do teor de materiais voláteis.

$$MV = \frac{m2-m3}{m} * 100 \quad \text{(Equação 3)}$$

Em que:

MV = teor de materiais voláteis (%);

m2 = massa inicial do cadinho somada à do resíduo (g);

m3 = massa final do cadinho somada à do resíduo (g);

m= massa da amostra do resíduo (g)

A norma NBR 8112/86 (Silveira, 2008) aponta que valores que diferem um do outro em mais que 2% não devem ser considerados.

### 2.5.3 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo é uma medida indireta, obtido pelos dados de teor de cinzas e materiais voláteis de acordo com a equação 4 abaixo:

$$CF = 100 - (Cz + MV) \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

CF= Teor de carbono fixo (%);

Cz= Teor de cinzas (%);

MV= Teor de materiais voláteis (%).

### 2.5.4 Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado com base na norma NBR 8112/86 (Silveira, 2008). Foram pesados 3 cadinhos e em seguida e 1 grama do pó do briquete em cada um, registrando cada pesagem. Os cadinhos foram acomodados em uma mufla a por 6 horas a 700°C. Após este processo, os cadinhos foram acondicionados em um dessecador para que esfriem e foram pesados para o cálculo do teor de cinzas por meio da equação 5:

$$Cz = \frac{Cf - Ci}{m} * 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

Cz= teor de cinzas (%);

Cf= massa do cadinho somado à amostra final (g);

Ci= massa do cadinho (g);

m= massa inicial (g)

### 2.5.5 Análise química elementar

A análise química elementar foi realizada em equipamento Vario Macro, modelo CHNOS-Cl, conforme mostra a figura 7 e de acordo com as normas ASTM D5373/2008: Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal e ASTM D4208/2007: Standard Test Method for Total Chlorine in Coal by the Oxygen Bomb Combustion/Ion Selective Electrode Method. O equipamento forneceu o resultado em leitura com o auxílio de um computador.



**Figura 7 - Analisador elementar.**



Fonte: Autores (2022).

O analisador elementar é um importante equipamento capaz de fornecer a porcentagem dos principais elementos constituintes do material submetido.

### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1 Utilização do secador solar**

O secador foi disposto numa determinada área, no bairro de Boa Viagem, zona sul da cidade do Recife – PE e submetida à luz solar sem sombras das 8h às 17:00h. O experimento foi realizado no mês de janeiro de 2022, estação do verão no hemisfério sul. De acordo com dados da Agência Pernambucana de Água e Clima o mês apresentou temperaturas entre 30 °C e 33 °C e umidade relativa mínima absoluta de 44 % (Lopes, 2022). Mantendo-se as condições citadas na metodologia, e pesando-se a cada 3 dias com o auxílio de uma balança simples, foi percebido que a biomassa apresentou massa constante no vigésimo dia após a inserção no secador solar.

#### **3.2 Teor de umidade**

A análise de umidade foi realizada no Laboratório de Combustíveis da UPE.

Para averiguar o real teor de umidade, as cascas submetidas foram moídas e submetidas à análise em triplicata, onde se pôde constatar que estavam com cerca de 3,5% de umidade. Após correções com borrifador, obteve-se uma média de 16% de umidade. Após a determinação e correção da umidade, utilizou-se a mesma porção da casca do coco moída e peneirada para a produção dos briquetes.

#### **3.3 Produção de briquetes**

Os briquetes foram produzidos no laboratório de combustíveis da UPE. Foram elaborados com valor determinado em gramas de fibra de coco com granulometria definida, sob pressão, sem aquecimento e sem outras substâncias aglutinantes (Silveira, 2008).

### 3.4 Teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo

Uma determinada quantidade do pó que originou os briquetes produzidos foi submetida às análises de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo. As análises citadas foram realizadas nos laboratórios de química do IFPE. A Tabela 1 mostra os resultados dos cálculos de acordo com as equações dos resultados e discussão e na Tabela 2, estão relacionados os valores encontrados e o de diversos autores.

**Tabela 1** – Dados obtidos após análise.

Parâmetro	Média	Desvio padrão
% de voláteis	95,30	0,98
% cinzas	3,00	0,09
% carbono fixo	1,71	0,89

Fonte: Autores (2022).

Em linhas gerais, os parâmetros da Tabela 1 são importantes indicadores da biomassa analisada. O teor de voláteis expressa a “facilidade” de queimar determinado material. O teor de cinzas é o que sobra após todo o processo (e tem várias aplicações), e o teor de carbono fixo expressa o carbono que não forma compostos orgânicos facilmente e que está relacionado com a diminuição da velocidade da queima.

**Tabela 2** - Comparativo dos parâmetros com outros trabalhos encontrados na literatura.

Parâmetro / Fonte	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas(%)	Teor de carbono fixo(%)
Autores	95,30	3,00	1,71
Padilha et al.(2018)	75,48	2,90	21,61
Lobato et al. (2017)	82,80	1,44	15,76
Ferreira et al. (2016)	87,09	5,03	7,87
Aguirre e Martins Filho (2017)	77,83	1,76	11,22

Fonte: Autores (2022), Padilha et al. (2018), Lobato et al. (2017), Ferreira et al. (2016) e Aguirre e Martins Filho (2017).

A literatura pesquisada e os resultados obtidos pelos autores relacionados na tabela 2 apontam diversos valores para os parâmetros em questão. Como no Brasil ainda não há normatização para os briquetes, não se pode afirmar que os valores estão dentro do padrão ou devem ser excluídos. Porém, é possível observar que os valores encontrados no trabalho não diferem muito da literatura.

### 3.5 Poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI)

Os resultados obtidos foram 15,36 MJ/kg para o poder calorífico superior (PCS) 15,17 MJ/kg para o poder calorífico inferior (PCI). As análises citadas foram feitas no laboratório de combustíveis da UPE. De acordo com Souza (2006), o poder calorífico superior da lenha é 3000 kcal/kg ou 12,5 MJ/kg. Então, considerando este parâmetro, o poder calorífico dos briquetes obtidos é superior ao da lenha. Na tabela 3, estão relacionados os valores encontrados e o de diversos autores.

**Tabela 3** - Comparativo do PCS com outros trabalhos encontrados na literatura.

Fonte \ Parâmetro	PCS (MJ/kg)
Autores	15,36
Padilha (2018)	18,67
Lobato et al. (2017)	15,56
Ferreira et al. (2016)	21,86
Jenkins (1990)	19,04
Marcelino (2017)	15,11

Fonte: Autores (2022), Padilha (2018), Lobato et al. (2017), Ferreira et al. (2016), Jenkins (1990), Marcelino (2017).

Dos cinco trabalhos citados na tabela 3, os resultados obtidos se assemelham mais aos de Lobato et al. (2017), seguido do de Marcelino (2017). Novamente observa-se uma dispersão dos resultados, porém esta não os desclassifica.

### 3.6 Análise elementar

A análise elementar foi realizada no laboratório de combustíveis da UPE. Os resultados encontrados foram comparados com diversos autores de trabalhos semelhantes e encontram-se na Tabela 4:

**Tabela 4** - Comparativo dos resultados obtidos com outros trabalhos encontrados na literatura.

Fonte \ Parâmetro	Carbono (%)	Hidrogênio (%)	Enxofre (%)
Autores	40,44	4,26	0,78
Cortez et al. (2009)	42,11	5,35	0,13
Ferreira et al. (2016)	48,23	5,23	0,12
Sulaiman et al. (2018)	46,93	3,96	0,19
Marcelino (2017)	44,03	4,85	0

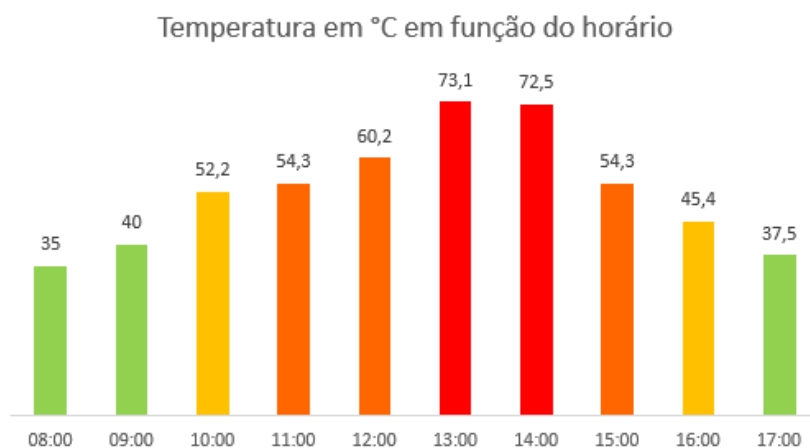
Fonte: Autores (2022), Cortez et al. (2009), Ferreira et al. (2016), Sulaiman et al. (2018), Marcelino (2017).

Analisando a Tabela 4, é possível perceber que os valores encontrados não divergem muito da literatura pesquisada. O parâmetro de Carbono se assemelha mais ao encontrado por Cortez et al. (2009). A porcentagem referente ao Hidrogênio se aproxima mais ao resultado obtido por Sulaiman et al. (2018), assim como o Enxofre.

### 3.7 Substituição da estufa para secagem das cascas pelo secador solar elaborado com base no projeto da IAPAR

O Gráfico 1 mostra a média horária de temperatura interna do secador solar em um mês na estação do verão, nas mesmas condições da pesagem citada no item 2.3.

**Gráfico 1** - Temperatura em função do horário do dia solar.



Fonte: Autores (2022).

Enquanto a parte interna do secador apresentava essa variação média de temperatura de acordo com o gráfico 1, a externa estava em torno de 30°C nos dias e horários em questão. Os valores encontrados não podem ser comparados com a literatura, pois há muita influência de diversos fatores para obtê-los. Podemos citar como fatores: local, latitude, horários de exposição solar, estação do ano, temperatura média da cidade, taxa de incidência solar, períodos chuvosos, entre outros. É importante observar o gradiente de temperatura externa e interna, principalmente nos horários de maior temperatura, mostrando como realmente o secador solar cumpre sua função.

#### 4. Conclusão e Sugestões

Após os resultados expostos, conclui-se que o secador solar, nas condições submetidas, apresenta-se como um bom recurso que pode substituir a estufa na secagem das cascas de coco. De acordo com os experimentos realizados, o secador solar pode reduzir a umidade em torno de 80%, mantendo-a condizente com a literatura para a produção de briquetes, após uma simples correção na umidade. O secador solar pode apresentar em seu interior, dadas devidas condições e em certos períodos do dia, até próximo de 70°C, enquanto a temperatura externa era em torno de 30°C. As análises de teor de umidade, poder calorífico, teor de carbono fixo, teor de cinzas, teor de voláteis e análise elementar apresentaram-se de certa forma condizentes com a literatura pesquisada. O secador solar, por ter sido elaborado a partir de materiais que seriam destinados ao descarte, apresentou custo financeiro não mensurável. As cascas de coco, obtidas por meio de empresa de tratamento de resíduos, que seriam após a coleta trituradas e destinadas a compostagem, também apresentou custo financeiro não considerável. Porém, em caso de reprodução do experimento em maior escala, deve-se inserir vários custos subjacentes, como transporte das cascas de coco, o custo da mão-de-obra para produzir o secador solar, os materiais, energia para a produção dos briquetes com prensa não-manual, entre outros. Como muitas vezes o destino da casca do coco são os aterros sanitários ou lixo comum, a fabricação dos briquetes torna-se atrativa economicamente (substituindo os custos da lenha). Além do mais, a vertente social pode ser fortalecida na produção dos briquetes com materiais reciclados gerando emprego e renda.

Como sugestão para próximos trabalhos, pode-se elaborar um secador solar com aberturas reguláveis e avaliar a eficiência. Além disso, poderia ser utilizada uma prensa hidráulica ou mecanizada com moldes maiores. Adicionalmente, o experimento também poderia ser realizado em outras estações e ser comparado o seu desempenho ao longo do ano.

#### Agradecimentos

IFPE- Instituto Federal de Pernambuco e UPE- Universidade de Pernambuco / Laboratório de Combustíveis.

## Referências

- ASTM D4208/2007 (2017). *Standard Test Method for Total Chlorine in Coal by the Oxygen Bomb Combustion/Ion Selective Electrode Method*.
- ASTM D5373/2008 (2008). *Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal*.
- Aguirre, C. R. G., & Martins Filho, P. R. D. A. (2017). *Análise prévia e estudo de caso do beneficiamento da casca de coco verde para fins energéticos*. (Trabalho de Conclusão de Curso), Instituto Federal do Espírito Santo, São Mateus, ES.
- Almeida, I. B. D., Lima, M. A. A., & de Souza, L. G. M. (2016). Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável. *Holos*, 4, 197-205.
- Cortez, L. A., Perez, J. M., Rocha, J., Jordan, R. A., & Mesa, H. R. (2009). Processamento de casca e fibra de coco verde por carbonização para agregação de valor. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 3(1), 21-30.
- Demirbas, A., & Sahin-Demirbas, A. Y. S. E. (2004). Briquetting properties of biomass waste materials. *Energy Sources*, 26(1), 83-91.
- Dias, J. D. S., dos Santos, D. T., Braga, M., Onoyama, M. M., Miranda, C. H., Barbosa, P. F., & Rocha, J. D. (2012). *Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais*. Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.
- Domenico, A. L. D. (2019). *Estudo da capacidade produtiva e viabilidade econômica de diferentes modelos de secadores solares para desidratação de alimentos por pequenos produtores rurais* (Trabalho de conclusão de curso), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, PR.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Kadner, S., Zwickel, T., & Matschoss, P. (Eds.). (2011). Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change. *Cambridge University Press*.
- Esteves, M. R. L., Abud, A. K., & Barcellos, K. M. (2015). Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes. *Scientia plena*, 11(3).
- Feiden, A., Galvani, F., & Campolin, A. (2015). Desidratação de frutas utilizando secador solar. *Embrapa Pantanal-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*.
- Ferreira, A., Costa, A., Flores, L., Baia, R., Moreno, S., & Morais, M. (2016). Caracterização energética da fibra da casca do coco com posterior produção de briquete. In *Congresso brasileiro de Engenharia Química, XXI*.
- Geraldo, B. C. D. A. (2013). *Gaseificação da casca e da torta da mamona para produção de gás combustível* (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- Gomez, E. O. (1996). *Projeto, construção e avaliação preliminar de um reator de leito fluidizado para gaseificação de bagaço de cana-de-açúcar*. (Dissertação de Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Jenkins, B. M. (1990). Fuel properties for biomass materials. In International symposium on application and management of energy in agriculture: *The role biomass fuels (I)*, 21-23. Ludhiana: Punjab Agricultural University.
- Lobato, C. C. S., Reis, M. P., da Silva, L. F. F., Penisch, D. C. S., & Nagaishi, T. Y. R. (2017). *Aproveitamento de biomassa do coco (Cocos nucifera L.) para uso energético*. II Congresso Internacional das Ciências Agrárias.
- Lopes, Z. F. (2022) *Boletim do Clima: Síntese Climática*. Agência Pernambucana de Água e Clima – APAC (10) 1, 23.
- Marcelino, M. M. (2017). *Biomassa residual do coco para obtenção de energia e intermediários químicos via gaseificação: caracterização, modelagem e simulação*. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.
- NBR, A. (1984). 8633: Carvão vegetal: Determinação do poder calorífico.
- NBR, A. (1986). 8112: Carvão vegetal: Análise imediata.
- Orozco, C. A., Acosta, R., & Montoya, J. A. (2011). Optimización del aislamiento térmico de una cubierta transparente de un secador híbrido de Guadua Angustifolia. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(2), 58-65.
- Padilla, E. R. D., Belini, G. B., Nakashima, G. T., Waldman, W. R., & Yamaji, F. M. (2018). Energetic Potential of Coconut Shell (Cocos nucifera L.) for Use in the Charcoal Production by Pyrolysis. *Revista virtual de Química*, 10(2), 334-345.
- Pereira, R. V. N. (2018). *Estudo de uma nova configuração de um forno solar fabricado a parte de estante metálica para o assamento de alimentos* (Trabalho de conclusão de curso), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.
- Silveira, M. S. (2008). *Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador-BA*. (Dissertação de mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.
- Silveira, L. R. D., & Moraes, S. O. (2016). *Modelagem de um secador solar de produtos agrícolas com sistema de armazenagem de energia térmica* (Tese de Doutorado) Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Sulaiman, S. A., Roslan, R., Inayat, M., & Naz, M. Y. (2018). Effect of blending ratio and catalyst loading on co-gasification of wood chips and coconut waste. *Journal of the Energy Institute*, 91(5), 779-785.
- Zago, E. S., Froehlich, A. G., Pelegrini, P. H., & Sifuentes, M. A. (2020). O processo de briquetagem como alternativa de sustentabilidade para as indústrias madeireiras do município de Aripuanã-MT. *Revista TechnoEng*.