



**INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**

**DIVISÃO DE AGRICULTURA**

**CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**PROJECTO FINAL**

Relatório final de Monografia apresentado e defendido como requisito para a obtenção do grau de  
Licenciatura em Engenharia Florestal

**APROVEITAMENTO DO POTENCIAL ENERGETICO DOS RESIDUOS DA CASCA  
DE COCO (*Cocos nuciferas L.*) PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES**

**Autor:** José Jorge José

**Tutor:** Eng. Edson Moisés Chilaquene Massingue (MSc)

Lionde, Novembro 2022



**INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**

Projecto de Licenciatura sobre “Aproveitamento do potencial energético dos resíduos de casca de cocos (*cocos nuciferas L.*) para produção de briquetes”, apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Florestal.

Projecto defendido e aprovado no dia 7 de Outubro de 2022

Júri

Supervisor: Edson Massingue  
(Eng. Edson Moisés Chilaquene Massingue MSc)

Avaliador 1: Pedro Venâncio Wate  
(Eng. Pedro Venâncio Wate MSc)

Avaliador 2: Raimundo Gamela  
(Prof. Doutor Raimundo Gamela PhD)

Lionde, Novembro 2022

## ÍNDICE

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                      | ii   |
| LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS .....             | iii  |
| DECLARAÇÃO.....   | iv   |
| DEDICATÓRIA .....   | v    |
| AGRADECIMENTOS .....  | vi   |
| RESUMO.....   | vii  |
| ABSTRACT.....   | viii |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 1    |
| 1.1. Problemas e justificação do estudo .....               | 3    |
| 1.2. Objectivos .....                                       | 5    |
| 1.2.1. Objectivos gerais.....                               | 5    |
| 1.2.2. Objectivos específicos.....                          | 5    |
| 1.2.3. Hipóteses.....                                       | 5    |
| 2. Revisão bibliográfica .....                              | 6    |
| 2.1. Produção do Coco .....                                 | 6    |
| 2.1.1. Origem dos coqueiros .....                           | 7    |
| 2.1.2. Casca e a fibra do coco .....                        | 7    |
| 2.1.3. Aproveitamento do coco para geração de energia ..... | 8    |
| 2.1.4. Geração de resíduos na cultura do coqueiro .....     | 8    |
| 2.2. Fontes de Energia no mundo.....                        | 9    |
| 2.2.1. Consumo de Carvão vegetal em Moçambique.....         | 10   |
| 2.3. Briquetes .....  | 10   |
| 2.4. Produção de Briquetes .....                            | 12   |
| 2.4.1. Etapas da produção de briquete .....                 | 13   |
| 2.4.1.1. Recepção .....                                     | 13   |
| 2.4.1.2. Picotamento.....                                   | 13   |
| 2.4.1.3. Prensagem .....                                    | 13   |
| 2.4.1.4. Selecção .....                                     | 14   |
| 2.4.1.5. Secagem .....                                      | 14   |
| 2.4.1.6. Moagem .....                                       | 14   |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 2.4.1.7. | Briquetagem.....   | 14 |
| 2.4.2.   | Factores que influencia na qualidade de briquetes.....           | 15 |
| 2.4.2.1. | Teor de humidade.....  | 15 |
| 2.4.2.2. | Tamanho das partículas.....                                      | 15 |
| 2.4.2.3. | Aglutinante.....   | 17 |
| 2.4.2.4. | Temperatura.....   | 17 |
| 2.4.2.5. | Pressão.....   | 17 |
| 2.4.3.   | Caracterização física, química e energética dos briquetes.....   | 18 |
| 2.4.3.1. | Teor de humidade.....  | 18 |
| 2.4.3.2. | Teor de cinzas.....  | 18 |
| 2.4.3.3. | Teor de voláteis.....  | 19 |
| 2.4.3.4. | Teor de carbono fixo.....  | 20 |
| 2.4.3.5. | Poder calorífico.....  | 20 |
| 2.4.3.6. | Resistência mecânica.....  | 20 |
| 2.4.3.7. | Densidade aparente e energética.....                             | 21 |
| 2.4.4.   | Vantagens do uso dos briquetes.....                              | 22 |
| 3.       | METODOLOGIA.....   | 23 |
| 3.2.     | Localização do distrito.....                                     | 23 |
| 3.2.1.   | Clima e Hidrologia.....  | 24 |
| 3.2.2.   | Vegetação.....   | 25 |
| 3.2.3.   | Economia.....  | 25 |
| 3.3.     | Materiais.....   | 26 |
| 3.4.     | Métodos e procedimentos.....                                     | 26 |
| 3.4.1.   | Alocação das unidades amostrais e Delineamento experimental..... | 26 |
| 3.4.2.   | Colheita e preparo das amostras.....                             | 27 |
| 3.4.3.   | Produção briquetes.....  | 30 |
| 3.5.     | Análise de dados.....  | 31 |
| 3.5.1.   | Determinação de teor de humidade.....                            | 31 |
| 3.5.2.   | Determinação do teor de material volátil.....                    | 31 |
| 3.5.3.   | Determinação do teor de cinzas.....                              | 32 |
| 3.5.4.   | Determinação do Teor de carbono fixo.....                        | 33 |
| 3.5.5.   | Determinação do Poder calorífico superior.....                   | 34 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.5.6. | Determinação do Poder calorífico inferior.....                 | 34 |
| 3.5.7. | Determinação da densidade dos briquetes .....                  | 34 |
| 3.5.8. | Determinação da Densidade energética .....                     | 35 |
| 3.5.9. | Análise estatística.....                                       | 35 |
| 4.     | RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                  | 36 |
| 4.1.   | Propriedades físicas, química e energética dos briquetes ..... | 36 |
| 4.1.1. | Análise do Poder calorífico.....                               | 40 |
| 4.1.2. | Análise da densidade aparente e energética. ....               | 41 |
| 4.2.   | Análise estatística.....                                       | 43 |
| 4.2.1. | Efeitos dos tratamentos sobre a análise imediata. ....         | 43 |
| 4.2.2. | Análise energética.....  | 45 |
| 5.     | CONCLUSÃO .....  | 47 |
| 6.     | RECOMENDAÇÕES .....  | 48 |
| 7.     | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                | 49 |
|        | APÊNDICES.....   | 58 |
|        | ANEXO .....  | 62 |

## I. ÍNDICE DE TABELA

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Tabela 1-Matérias a serem usados .....  | 26                                  |
| Tabela 2 - Plano experimental .....   | 27                                  |
| Tabela 3- Análise imediata dos briquetes produzidos por resíduos de casca de coco ..... | 36                                  |
| Tabela 4- Analise calorífica dos briquetes.....   | 40                                  |
| Tabela 5- Análise da densidade dos briquetes .....                                      | 42                                  |
| Tabela 6- Teste de tukey a 5% de significância para analise imediata.....               | 44                                  |
| Tabela 7- Teste de tukey para parâmetros energéticos .....                              | 45                                  |
| Tabela 8- Análise de Variância para teor de humidade .....                              | 58                                  |
| Tabela 9- Análise de Variância para densidade aparente .....                            | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Tabela 10- Análise de Variância para teor de material volátil.....                      | 59                                  |
| Tabela 11- Análise de Variância para teor de cinzas.....                                | 60                                  |
| Tabela 12- Análise de Variância teor de carbono fixo .....                              | 60                                  |
| Tabela 13- Análise de Variância para poder o calorífico superior ..                     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Tabela 14- Teste de Tukey e Confiança de 95% para densidade energética .....            | 61                                  |
| Tabela 15- Análise de Variância para a densidade energética.....                        | 61                                  |
| Tabela 16- Teste de Tukey e Confiança de 95% para o teor de Cinzas.....                 | 61                                  |
| Tabela 17- Ficha do campo.....  | 62                                  |

## II. ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura-2. Mapa da área de estudo, Distrito de Chókwe.....  | 24 |
| Figura 2-Fontes de variação do estudo, a)-Estufa convencional; b)-Diferentes tipos de crivos...  | 27 |
| Figura 3- Produção da Fécula de mandioca.....  | 28 |
| Figura 4: Preparação dos resíduos, a)-Carbonizar incompleta em forno metálico; b)-Trituração dos resíduos com almofariz e pilão; c)-Crivas dos resíduos..... | 29 |
| Figura 5. Produção do material ligante, a)- Adição da mistura e água; b)Produção do gel .....  | 29 |
| Figura 6- Produção dos briquetes, a)-Mistura da biomassa e o gel; b)- Produção dos briquetes em uma briquetadeira manual.....                                | 30 |
| Figura 7- Determinação do material volátil, a)- Cadinhos na mufla ligada desligada; b)-Cadinhos na Mufla ligada .....  | 32 |
| Figura 8- Determinação de teor de cinzas, a)-Pesagem dos cadinhos em uma balança analógica; b)- Formato das cinzas de diferentes tratamentos.....            | 33 |

### III. LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

|                |  |
|----------------|--|
| m              | Massa  |
| °C             | Graus celsius  |
| ABNT           | Associação brasileira de normais e técnicas              |
| ANOVA          | Análise de variância                                     |
| CF             | Teor de carbono fixo                                     |
| Da             | Densidade aparente                                       |
| FAO            | Food and Agriculture Organization for the United Nations |
| GPS            | Sistema de Posicionamento Global                         |
| GJ             | Ginga joules   |
| H              | Horas  |
| ha             | Hectare  |
| ISPG           | Instituto Superior Politécnico de Gaza                   |
| Kg             | Quilogramas  |
| Kcal           | Quilocalorias  |
| m <sup>3</sup> | Metros cúbicos   |
| MAE            | Ministério de Administração Estatal                      |
| mj             | Mega joules  |
| MV             | Teor de material volátil                                 |
| P              | Peso   |
| Pág.           | Página   |
| PC             | Poder calorífico   |
| TCz            | Teor de cinzas   |
| V              | Volume   |



## **INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**

### **Declaração**

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

---

(José Jorge José)

#### IV. DEDICATÓRIA

A minha querida Mãe Esperança Mário Luís Generoso Munguambe, por ter custeado as minhas despesas escolares, por ter acreditado em mim, no meio de varias dificuldades e por estar sempre ao meu lado, agradeço por ter sido Pai e Mãe.

#### **Dedico**

“Nosso caminho e bastante rochoso, mas não podemos deixar que uma simples pedra definam os  
nossos próximos movimentos”

Donald Trump

“Medo é a ferramenta do diabo idealizado pelo homem. A fé inabalável em si mesmo é tanto a arma que derrota este Diabo quanto a ferramenta que o homem utiliza para construir uma vida de sucesso. E é mais do que isso. É uma conexão directa com as forças irresistíveis do universo que apoiam o homem que não acredita em fracassos e derrotas, senão como experiências meramente temporárias.”

Napoleon Hill

“Não existem limites para o que você pode conquistar quando aprende a priorizar suas tarefas e executá-las do modo mais eficaz”

Napoleon Hill

“Para vencer, é preciso ter algumas qualidades: clareza de propósito, conhecimento do que se quer e um desejo insaciável de alcançar seu objectivo”

Napoleon Hill

## V. AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao ser divino, porque ele é quem estabelece todas as leis da natureza, sendo ele que nos guia para os nosso destino, foi acreditando nele que tive a força e coragem de ir avante, superando obstáculos, e me dando forças pra continuar, muito obrigado Senhor, meu Pai Celestial.

Agradeço a minha família em especial aos meus avós Mario Munguambe, e Inácia Manhoni (in memoriam) por cuidar de mim, e cobrir todo o meu ensino primário e secundário.

Agradecer ao meu supervisor Eng. Edson Moisés Chilaquene Massingue, pela paciência, disponibilidade, dedicação, amizade, e orientação sábia prestada durante a realização do trabalho.

Agradeço ao ISPG pela oportunidade de realizar o curso na Divisão Agricultura no curso de Engenharia Florestal, especialmente aos docentes Eng. Pedro Venâncio Wate, Eng. Severino José Macoô, Eng. Juvênia Yolanda Malate, Eng. Emídio José Matusse, dr. Sérgio Alfredo Bila, dr. Arão Finiasse, Professor Doutor Eng. Mário Sebastião Tuzine e aos demais docentes do ISPG que incansavelmente souberam transmitir o conhecimento ao longo da formação, ao Eng. Agapito que me apoiou em diversas formas.

Agradeço aos meus amigos das batalhas em especial ao Eng. Afonso Helder, que juntos compartilhamos várias trincheiras, aos meus colegas e amigos do grupo de estudo Dinercia, Cleonício, Eng. Jacob, Jordina, Lezia, Eng. Luísa, Marta, Mirna, Naimo, Valter, Zelia.

Agradeço a todos meus colegas de turma do curso de Engenharia Florestal de 2017, especialmente aos: Abelina, Adriano, Alvaro, Ana, Eng. Belson, Carcília, Constância, Dadvino, Dencia, Eleuteria, Felizarda, Eng. Joel, Junaide, Eng. Ken Koff, Liliane, Eng. Martes, Mauro, Eng. Rassul, Eng. Richard, Samuel, Eng. Tenente, Eng. Timóteo e outros, juntos lutamos para alcançar os nossos objetivos.

Agradeço aos meus amigos do Instituto Superior Politécnico de Gaza a Aida, Eng. Celso, Cesar, Eng. Delito, Domingos, Eng. Gerson, Eng. Jenny, Eng. Mussa, Eng. Zito, por me fazerem companhia durante a minha caminhada em Chokwe.

**Muito obrigado.**

## VI. RESUMO

A busca por fontes energéticas renováveis tem aumentado diariamente, devido a crescente preocupação com o meio ambiente e o esgotamento dos recursos naturais. Neste contexto o mundo esta em busca de novas fontes alternativas, o que justifica a causa deste estudo que tem como em avaliar o aproveitamento do potencial energético dos resíduos da casca de coco em forma de produção de briquetes, como forma de valorização desta biomassa, sendo que a dispersão do mesmo provoca vários problemas de poluição ambiental. A incrementação desta energia renovável visa responder a vasta demanda energética no país, desta forma evitando os problemas de desmatamento e pressão sobre as florestas, assim promovendo o combate contra as mudanças climáticas. Desta forma consistiu nas análises físicas, químicas e energéticas desta biomassa, do modo a intender quais são os factores que afectam e influenciam no desempenho energéticos do mesmo. O presente estudo foi realizado no distrito de Chókwe concretamente no campus do Instituto Superior Politécnico de Gaza. A experimentação foi conduzido por meio de delineamento em blocos causalizados, com dois blocos a secagem combinada (secagem em estufa convencional e ar livre), três tratamentos a granulometria, tamanhos de partículas compreendidas entre (1; 2 e de 4,75 milímetros) e três repetições para cada tratamentos. A biomassa residual passou pelo processo de carbonização incompleta, e de seguida triturada manualmente por meio de um pilão e almofariz, e posteriormente separadas em forma de crivagem para obtenção de diferentes granulometrias. Os briquetes foram produzidos por meio de uma briquetadeira manual, aplicada a uma força de 143 kgf.cm<sup>2</sup>. Após a produção as amostras foram submetidas a secagem, no período de 72h e posteriormente levados ao laboratório para análises físicos químicos e energético. Verificou-se que os valores médios de teor de humidade variam entre 16 a 19% para briquetes secos em ar livre e de 21 a 36% para os briquetes secados em estufa. Perante a análise imediata obteve-se resultados que variaram de 4,1% a 25,5% de cinzas, de 70% a 82% do material volátil e 3,2 a 17,9% de carbono fixo para as amostras dos briquetes. Os briquetes com maiores partículas apresentaram os melhores resultados do poder calorífico superior e inferior em relação a outras, com valores de 14,9mj/kg, 13,5mj/kg e 15,38mj/kg, 13,9mj/kg para briquetes secados em estufa e ar livre respectivamente. Quanto a densidade aparente os briquetes apresentaram valores que variavam de 0,97g/cm<sup>3</sup> a 1,06 g/cm<sup>3</sup>, sobre as diferentes granulometria e secagem, estes valores condicionaram uma alta densidade energética que variou de 7,777 mj/m<sup>3</sup> a 15,794mj/m<sup>3</sup>. Perante o teste da comparação a 5% de significância as medias não diferiram entre si estatisticamente. Em suma, para o maior aproveitamento energético recomenda-se a secagem dos briquetes em ar livre e o uso de partículas maiores que 4mm para a produção dos briquetes, e o uso de briquetes como fonte de energia, pois este combustível apresenta varias vantagens e pode ser usado para substituir as outras fontes de energia que está ficando cada vez mais escasso.

**Palavras-chaves:** Granulometria das partículas, Secagem, Briquetes, Análise energética

## VII. ABSTRACT

The search for renewable energy sources has increased daily, due to growing concern for the environment and the depletion of natural resources. In this context, the world is looking for new alternative sources, which justifies the reason for this study, which aims to evaluate the use of the energy potential of coconut husk residues in the form of production of briquettes, as a way of valuing this biomass, being that the dispersion of the same causes several problems of environmental pollution. The increase in this renewable energy aims to respond to the vast energy demand in the country, thus avoiding the problems of deforestation and pressure on forests, thus promoting the fight against climate change. In this way, it consisted of the physical, chemical and energetic analyzes of this biomass, in order to understand what are the factors that affect and influence its energy performance. The present study was carried out in the district of Chókwe, specifically on the campus of the Higher Polytechnic Institute of Gaza. The experiment was carried out using a randomized block design, with two blocks for combined drying (drying in a conventional oven and in open air), three treatments for granulometry, particle sizes between (1, 2 and 4.75 millimeters) and three replicates for each treatments. The residual biomass went through the incomplete carbonization process, and then manually crushed using a pestle and mortar, and later separated in the form of a sieve to obtain different granulometries. The briquettes were produced using a manual briquette machine, applied to a force of  $143 \text{ kgf.cm}^2$ . After production, the samples were subjected to drying, in the period of 72 hours and later taken to the laboratory for physical, chemical and energetic analyses. It was found that the average values of moisture content range from 16 to 19% for briquettes dried in open air and from 21 to 36% for briquettes dried in an oven. In view of the immediate analysis, results were obtained that ranged from 4.1% to 25.5% of ash, from 70% to 82% of volatile material and from 3.2 to 17.9% of fixed carbon for the briquettes samples. The briquettes with larger particles presented the best results of superior and inferior calorific value in relation to others, with values of 14.9mj/kg, 13.5mj/kg and 15.38mj/kg, 13.9mj/kg for briquettes dried in greenhouse and open air respectively. As for the apparent density, the briquettes presented values that varied from  $0.97 \text{ g/cm}^3$  to  $1.06 \text{ g/cm}^3$ , on the different granulometry and drying, these values conditioned a high energy density that varied from  $7.777 \text{ mj/m}^3$  to  $15.794 \text{ mj/m}^3$ . In the comparison test at 5% of significance, the means did not differ statistically from each other. In short, for the best energy use, it is recommended to dry the briquettes in open air and to use particles larger than 4 mm for the production of briquettes, and the use of briquettes as a source of energy, as this fuel has several advantages and can be used to replace the other energy sources that are becoming increasingly scarce.

Keywords: Particle granulometry, Drying, Briquettes, Energy analysis

## 1. INTRODUÇÃO

O mundo está cada vez mais consciente dos custos e riscos de manter uma matriz energética altamente dependente dos combustíveis fósseis. Desta forma vem-se buscando fontes de energia alternativas e renováveis, a biomassa é actualmente umas das principais fontes de energia em muitos países em desenvolvimento (Padilla *et al.*, 2016).

Neste cenário, surgem os biocombustíveis sólidos como forma de tirar proveito da biomassa residual para produção de energia, como o caso dos briquetes, que actualmente surgem como fonte de energia alternativa à lenha e carvão (Silva, 2020). Estes tipos de biocombustíveis variam desde as questões ambientais até a razões económicas que são associadas a outras qualidades deste combustível sólido (Esteves, 2015). O uso de lenha e carvão são alvos de muitas fiscalizações, o que os condicionam a trocarem sua matriz energética, evitando potencializar o desmatamento das florestas em busca de combustível lenhoso (Viera *et al.*, 2017).

Segundo o Falcão (2013), em Moçambique tem-se observado um intensivo uso de recursos florestais para fins energéticos. Apesar de o País produzir electricidade e gás natural, estes combustíveis não são acessíveis em todos os pontos do país principalmente em zonas rurais, Estima-se que 80% da energia consumida no país seja obtida da floresta e 98% dos produtos florestais obtidos anualmente sejam destinados à produção de lenha e carvão vegetal (Monjane & Barros, 2015). De acordo com o ultimo inventário florestal nacional reportadas por Magalhaes (2018), estimou-se que as áreas florestais (AF) e a área florestal produtiva (AFP) nacional são de 31 693 872 e 1 7216 677 ha, respectivamente, em relação aos 40 068 000 e 26 907 100 ha encontradas por Marzoli (2007). Portanto, de 2007 a 2018, verificou-se um decréscimo de 21% da área florestal total e 36% da área florestal produtiva, proveniente de florestas nativas e outras formações lenhosas nativas, compostas principalmente por Miombo, Mecrusse e Mopane (Magalhães, 2018).

Segundo Cunguara (2013), o nosso país apresenta uma ampla extensão territorial, condições climáticas favoráveis e diversidade cultural, desta forma tornam-se fácies as possibilidades de produção, processamento, transformação e geração de resíduos provenientes de diferentes sectores sejam elas florestais ou agro-industrial. Os resíduos do sector agro-industrial surgem como fortes candidatos para produção de bioenergia, como o caso das culturas de milho,

laranjas, soja, cana-de-açúcar, arroz, cocos e outros. Onde através do processamento dos resíduos, obtém a biomassa residual. No caso de resíduos de casca de cocos, pode se tratar como matéria-prima para obtenção de energia a partir de briquetes e carvão vegetal (Aneel, 2011).

De acordo com Cugala *et al.*, (2012), no que concerne a produção de cocos, Moçambique é o 11º maior produtor ao nível global, com potencial produtivo de 266,092 toneladas anuais, esta cultura é produzida maioritariamente nas províncias de Inhambane e Zambézia, ocupando uma área de 83,826ha produtivos, sendo assim o país apresenta um baixo aproveitamentos dos subprodutos de coco, sendo que 85% do material é desperdiçado em forma de resíduos.

Uma das alternativas de valorização desses resíduos de casca de coco, com significativa redução de impactos ambientais causados pelo descarte inadequado é a produção de briquetes, que são obtidos a partir da compactação dos resíduos ligno-celulosos (Biomachine, 2007). Os briquetes apresentam forma regular e constituição homogénea sendo muito utilizado para a geração de energia, é considerado uma lenha ou carvão ecológico de alta qualidade (Dias *et al.*, 2012).

De acordo com Furtado *et al.*, (2010) a utilização de resíduos industriais para a produção de briquetes, podem ser aplicadas diferentes pressões de compactação, no entanto, existente vários factores que influênciam as propriedades energéticas dos briquetes, o tipo de matéria-prima utilizada tem mais do que as outras variáveis como a granulometria, proporções de aglutinante e outras.

Diante deste cenário todo, fez-se um estudo com base na caracterização energética de briquetes produzidos a partir de resíduos da casca de coco, sobre forma de valorização deste produto desta biomassa, com a finalidade de conhecer as suas propriedades, do modo a avaliar o seu potencial energético, como alternativa para substituir a lenha e carvão.

## 1.1.PROBLEMAS E JUSTIFICAÇÃO DO ESTUDO

De acordo com a FAO (2003), a produção média de combustíveis lenhosos em Moçambique é de aproximadamente 16,7 milhões de m<sup>3</sup> por ano. Destes, pelo menos 3 milhões são convertidos em carvão vegetal, principalmente para o consumo urbano (Delgatto, 2003).

A dependência e a procura pelo combustível lenhoso (carvão e lenha) em zonas urbanas levam o aumento da pressão e exploração excessiva dos recursos florestais, associando estes factores ao crescimento lento da floresta nativa, se a situação prevalecer, pode levar à escassez dos recursos florestais num futuro próximo (Falcão, 2013).

Associados a essas causas é preciso incrementar o uso das fontes renováveis de energia nos diversos sectores industriais, em virtude das dificuldades económicas que tendem a se agravar ano após ano (Gentil, 2008). Numa altura que o mundo luta contra a necessidade de reduzir a emissão dos gases poluentes agravadores do efeito estufa, assim como a redução da oferta de petróleo. Aumentou nesses últimos anos a demanda por fontes de energia alternativa limpa, barata e renovável (Barros, 2012). O aproveitamento de resíduos de coco por meio de briquetes poderia ser umas das alternativas para resolver essas múltiplas situações ambientais, causado pelo desmatamento na procura do combustível lenhoso para geração de energias. Sendo que a utilização dos briquetes apresenta diversos benefícios, destacando-se a sustentabilidade visto que (diminui custos, facilita o transporte, a manipulação e o armazenamento) e a minimização dos impactos ambientais (Zago, 2010).

De certa forma o briquete tem enfrentado certos problemas no que interferem na densidade e resistência, assim podendo afectar a qualidade do material, nesse contexto vem se destacando o tipo e proporções de aglutinante, a pressão de compactação na produção, o tamanhos e dimensões das partículas e forma dos briquetes. Pois quando aplicadas a proporções de aglutinantes e tamanhos das partículas não adequadas podem afectar a qualidade do material (Miola *et al.*, 2020).

Este estudo justifica-se na busca por alternativa de valorização e aproveitamento dos resíduos desperdiçando em forma de briquetes, que vem provocando problemas ao meio ambiente sobre

dispersões inadequadas, visando responder a vasta demanda pelo combustível lenhoso no país, desta forma caracterizando os elementos que possibilitam a qualidade do briquete e o possível desempenho energético, assim podendo agregar valores neste material e consequente a criação e geração de emprego e renda para uma classe social menos favorecida.

## **1.2.Objectivos**

### **1.2.1. Geral**

- ✓ Avaliar a produção e o desempenho energético dos briquetes de resíduos da casca de coco

### **1.2.2. Específicos**

- ✓ Caracterizar o processo produtivo de briquetes de resíduos da casca de coco;
- ✓ Determinar os parâmetros físicos-químicos e energéticos dos briquetes;
- ✓ Analisar a influência da granulometria das partículas no desempenho energético dos briquetes;
- ✓ Analisar o efeito da secagem no desempenho energético dos briquetes.

### **1.2.3. Hipóteses**

**Ho:** Não existem diferença significativa nas combinações entre os tamanhos das partículas e secagem no desempenho energéticos do briquete;

**Há:** Existem diferença significativa nas combinações entre os tamanhos das partículas e secagem no desempenho energético do briquete;

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Produção do Coco**

### **2.2. Classificação taxionómica do coqueiro**

Divisão: Espermatófita

Classe: Angiosperma

Sub-classe: Monocotyledoneae

Ordem: palmales

Família: Palmae (=Aracaceae)

Sub família: Cocoidae

Género: Cocos

Espécie: *Cocos nucifera*, L.

Nome: vulgar Coqueiro.

O Género Cocos é constituído apenas pela espécie *Cocos nucifera* L. que é composta por algumas variedades, sendo as mais importantes, do ponto de vista agronómico, socioeconómico e agro industrial.

é predominantemente de polinização cruzada (meio de reprodução é a alogamia) devido as flores masculinas se formarem antes das flores femininas. As plantas têm estipe, com circunferência média de 84 cm e altura média de 18 metros. As folhas são compridas, com comprimento médio de 5,5 metros. O florescimento é tardio, ocorrendo normalmente entre seis e oito anos após o plantio.

A produção de flores é contínua. Os frutos variam de tamanho, de médio a grande, produz de 50 a 80 frutos por planta ao ano. As plantas se adaptam aos diversos tipos de solos e climas Sob condições favoráveis, o período de produção económica é de cerca de 60 anos (SIQUEIRA e outros, 2002;).

A variedade gigante possui variações morfológicas, principalmente, na cor, na forma e tamanho do fruto. Sendo identificados pelo nome da região ecofisiográfica na qual a população se

desenvolveu ou pelo nome do país ou lugar no qual foram descobertos (PURSEGLOVE, 1975).

### 2.2.1. Origem dos coqueiros

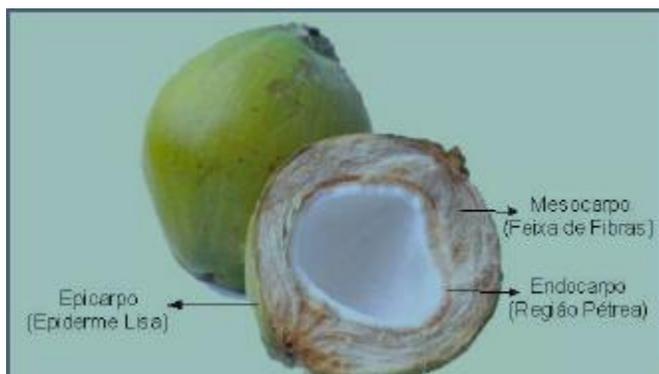
De acordo com Mataruca (2014), o Coqueiro (*Cocos nucifera L*) é uma das frutíferas mais difundidas naturalmente no globo terrestre, ocorrendo em praticamente todos os continentes. É originário das regiões tropical e subtropical do Oceano Pacífico, sendo o Sudeste Asiático o seu centro de origem e diversidade. Actualmente, o coqueiro encontra-se em mais de 200 países, sendo encontrado em grandes plantios entre os paralelos 23°N e 23°S que englobam a América Latina, Caribe e África Tropical

Cerca de 90% da produção de coco do mundo advêm de pequenos agricultores, com áreas de até 5 hectares, sendo que esta produção é praticamente consumida internamente nos países produtores (Martins, 2011).

Para um bom desenvolvimento desta cultura a temperatura média anual deve estar por volta de 27°C, com oscilações de 5 a 7°C. Estas condições são normalmente encontradas na zona tropical. Temperaturas inferiores a 15°C perturbam o desenvolvimento do coqueiro. Mas o coqueiro tolera temperaturas superiores à temperatura óptima (Mataruca, 2014).

#### 2.2.1. Casca e a fibra do coco

De acordo com o Rocha *et al.*, (2015), a casca do coco verde, assim como a do coco maduro, é constituída por uma fracção de fibras e outra denominada de pó. Nas cascas do coco verde, o processo de extracção das fibras ocorre por maceração. Para o coco seco, o desfibramento ocorre mecanicamente, a figura 1 abaixo ilustra a composição estrutural do coco:



**Figura-1-** Composição do coco

Fonte: adaptado por Esteves (2014)

Diante deste excesso de biomassa residual, este resíduo [pode ser notado como fonte energética alternativa e, assim a importância de se conhecer melhor suas propriedades físicas, características e composição.

### **2.2.2. Aproveitamento do coco para geração de energia**

Segundo Cortez *et al.*, (2008), a biomassa pode ser obtida de vegetais não-lenhosos, de vegetais lenhosos, óleos vegetais e também de resíduos orgânicos. O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio da combustão directa; por processos termoquímicos tais gaseificação, pirólise, liquefacção e transesterificação ou ainda por processos biológicos, a exemplo da digestão anaeróbia e fermentação.

Pelo seu alto teor de humidade, a casca do coco verde não pode ser utilizada para queima directa. Entretanto, existindo há de utilização energética dessa biomassa lignocelulósica residual, tais como, a produção de briquetes, carvão vegetal, de bio-óleo de etanol de segunda geração, entre outros (Rocha *et al.*, 2015).

Segundo o Silveira *et al.*, (2008), é viável a produção de briquetes a partir das cascas de coco, em substituição à lenha. Pois o processo de fabricação de briquete ocorre pela compactação de resíduo de natureza lignocelulósica, por meio do qual é destruída a elasticidade natural das fibras desse resíduo, sendo uma forma bastante eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa, pois um metro cúbico de briquetes contém duas a cinco vezes mais energia que um metro cúbico de resíduos.

### **2.2.3. Geração de resíduos na cultura do coqueiro**

Entre os resíduos agrícolas descartados no mundo, encontram-se aqueles provenientes da cococultura. O coqueiro gera grande quantidade de resíduos culturais como cascas e endocarpo de frutos, cachos, brácteas, peneiros e folhas senescentes (Nunes, 2018).

Um dos resíduos agroindustriais com maior potencial para ser explorado como fonte energética no mundo é a casca de coco verde, principalmente pela crescente demanda de consumo da água de coco (Marfon *et al.*, 2019) citado por (Rocha *et al.*, 2015).

### 2.3. Fontes de Energia no mundo

A produção e consumo de energia no mundo em geral é baseada em combustíveis fósseis que, além de demorar milhares de anos para a natureza repor as reservas, provoca danos ao meio ambiente, como emissão de poluentes e gases de efeito estufa. Enquanto isso as energias renováveis representam apenas 14,4% do consumo mundial (Nunes, 2018).

#### 2.3.1. Combustível lenhoso

Os combustíveis podem ser classificados em lenhosos e não lenhosos. Os combustíveis não lenhosos são aqueles que não envolvem biomassa lenhosa (combustíveis fósseis, eletricidade, energia eólica, entre outras formas). Os combustíveis lenhosos são aqueles que provêm da madeira quer na fase sólida (lenha e carvão vegetal), fase líquida (“*black liquor*”, metanol e óleos pirolíticos) incluindo gases resultantes da gaseificação destes combustíveis (FAO, 2008).

O combustível lenhoso, além de ser usado na confecção dos alimentos, também serve como fonte de renda familiar, e existe preferências de espécies lenhosas para o consumo doméstico assim como para a venda, sendo que a escolha das espécies como combustível lenhoso é baseada em hábitos ou culturas locais, mas existem certos aspectos que faz com que as comunidades rurais prefiram uma determinada espécie, que são: fogo forte, pouca fumaça, resistência à humidade e capacidade de arder continuamente, em contrapartida as famílias depois de confeccionar os alimentos, não apaga a lenha para ser utilizada na próxima cozinha, deixando assim a lenha a queimar-se, e isso impulsiona a uma pressão sobre as florestas (Mirrase, 2004; Biaque *et al.*, 2015).

##### 2.3.1.1. Principais espécies produtoras de Carvão vegetal

De acordo com Muchanga *et al.*, (1997) citado por Falcão (2013) certas espécies são consideradas melhores para a produção de carvão vegetal, particularmente folhosas, porque têm melhor poder calorífico, combustão longa, e produzem menos fumo. Contudo, as espécies lenhosas mais comuns usadas para produção de Carvão vegetal são: Micaia (*Acacia nilótica / senegalensis / tortilis*), Chanfuta (*Afzélia quanzensis*), Nhongue / Chongue (*Antidesma venosum*), Mudikwa / palmeira (*Borassus aethiopicum*), Messassa (*Brachystegia specifformis*), Chivondzoane (*Calophyllum molle*), Chanato / Misano / Missanye (*Colophospermum mopane*),

Monzo (*Combretum imberbe*), Tondjua / Mpovatako (*Fernandoa magnifica*), Nkwakwa (*Strychnos madagascariensis*), Inconola (*Terminalia sericea*), Mutarara (*Lecaniodiscus franxinifolia*), Panga-Panga (*Milletia stuhlmanii*).

### **2.3.2. Consumo de Carvão vegetal em Moçambique**

De acordo com Steierer (2011), o continente africano alberga sete dos 10 maiores produtores do mundo de carvão vegetal, nomeadamente: Nigéria, Etiópia, Moçambique, República Democrática do Congo, Tanzânia, Ghana e Egipto. Especificamente nos países africanos a urbanização e o crescimento económico têm incrementado o uso de lenha e carvão vegetal, sendo que esta situação preocupa aos ambientalistas e os responsáveis pela gestão dos recursos florestais.

O potencial de Moçambique em *biostock* lenhoso era enorme, cerca de 1,7 mil milhões de m<sup>3</sup>. Desses, somente 985 milhões de m<sup>3</sup> se encontravam disponíveis para exploração, são as designadas florestas de produção, segundo o Regulamento da Lei de Florestas e Fauna Bravia, podem ser utilizadas na produção de combustíveis lenhosos (Falcão, 2013).

Segundo o Falcão (2013), o consumo per capita de carvão em Moçambique, nas áreas urbanas foi estimado em cerca de 0,82m<sup>3</sup>, que corresponde a 442 kg/*per capita*/ano e nas zonas rurais em 0,9m<sup>3</sup>, que corresponde a 670 kg/*per capita*/ano e a taxa de exploração anual de madeira para a produção de energia, sendo que a maioria destes é extraída de florestas naturais primárias ou secundárias.

O rendimento no fabrico de carvão no país variam de 8-30 %, devido a tecnologia de fabrico é simples, com base em fornos tradicionais de terra, (Brouwer e Falcão, 2004). Este método requer grandes quantidades de árvores para a queima o que pode causar ou acrescentar problemas de desmatamento se não for feita cuidadosamente.

### **2.4. Briquetes**

Os briquetes são considerados lenha ou carvão ecológico de alta qualidade, que são feitos a partir da compactação de resíduos ligno-celulosicos, sob pressão e temperaturas elevadas, Biomachine (2007). Briquetes são produtos de alto poder calorífico, e que são obtidas pela compactação dos resíduos de madeira como o pó de serração e as cascas vegetais como o caso das cascas de coco

verde e seco. Os briquetes Apresentam forma regular e constituição homogénea sendo muito utilizado para a geração de energia (Biomax 2007).

De acordo com a Biomachine (2007), a densificação mediante a briquetagem consiste na geração de mecânicas elevadas pressões (até 1.200 kg/cm<sup>2</sup>) que provocam um incremento térmico da ordem de 100° C. Geralmente esta temperatura alta provoca a plastificação da lignina, que serve como elemento aglomerante ou adesivo natural das partículas da fibra do coco, dessa forma dispensando o uso de produtos aglomerantes adicionais como resinas e ceras. Sendo assim Para que haja perfeita aglomeração ou ligação das partículas elas devem possuir tamanho entre 5 e 10 mm e uma humidade entre 8 e 15%.

#### 2.4.1. Uso dos briquetes

Segundo Dia *et al.*, (2012) os briquetes são substitutos directos da lenha e carvão vegetal em diversas aplicações, incluindo o uso em residências para cozinha e outros fins, em indústrias e estabelecimentos comerciais como olarias, cerâmicas, padarias, pizzarias, lacticínios, fábricas de produção de alimentos, indústrias químicas, indústrias têxteis e indústrias de cimento dentre outros, como. De acordo com (Bhattacharya, 2002), o emprego de briquetes está difundido em países em desenvolvimento, briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas e florestais mais desenvolvidos, pois requer maior nível de automação e controle do processo ilustrado na Figura 2, que indica as aplicabilidade dos briquetes.



Figura 2 - aplicação dos briquetes

Fonte: (Dias *et al.*, 2012).

No mundo a taxa de crescimento na procura de briquete é de 4,4% ao ano, isso demonstra a importância potencial no mercado de energia renovável (Silberstein, 2012).

#### 2.4.2. Comparação entre outras fontes de energias

Comparando 1kg de briquetes em relação a outras fontes de energia, verifica-se que o briquete é uma fonte viável de energia em relação as fontes mais comuns, uma vez que 1kg de briquetes Equivale, segundo Silberstein (2012), conforme ilustra o quadro 1 abaixo, onde fez-se uma comparação entre briquetes e outras fontes de energias.

Quadro 1- comparação entre fontes de energéticas

| Fontes de energia | Correspondência | Preço (por uma unidade em meticais) |
|-------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Briquetes         | 1 Quilogramas   | 100                                 |
| Gasolina          | 0,61litros      | 87                                  |
| Querosene         | 0,58l litros    | -                                   |
| Óleo Diesel       | 0,55l litros    | 81                                  |
| Gás de cozinha    | 0,45l quilos    | 110                                 |
| Lenha             | 2.0 Quilogramas | 5                                   |
| Álcool            | 0,79 Litros     | -                                   |
| Carvão vegetal    | 1.5 Quilogramas | 10                                  |

Fonte: Silberstein (2012) adaptado por autor 2022.

#### 2.5. Produção de Briquetes

Segundo Esteves (2014), os briquetes pode ser obtidas a partir dos resíduos de madeira, como o pó de serragem, e de resíduos vegetais, como as cascas de coco, podendo ser utilizadas em empresas ou industrias que tenham forno ou caldeira, na qual possa ser utilizada lenha, como as industrias alimentícias, cerâmicas, dentre outros, os quais requerem menor espaço para armazenamento (uma tonelada de briquete ocupa 25m<sup>3</sup>, que equivale a 90m<sup>3</sup> de lenha), possuem maior densidade e maior poder do que a lenha, além de uma tonelada de briquetes poder substituir aproximadamente 1,96 toneladas de lenhas.

A briquetagem proporciona uma redução na emissão de partículas e melhorias das condições de

armazenamento, transporte e alimentação, pois a transformação da biomassa em briquetes é um método extremamente eficiente de concentrar o teor energético disponível na biomassa, através do aumento de sua massa específica aparente. Em alguns casos alcançado um valor superior 5 vezes ao material de origem ao se levar em consideração o poder calorífico obtido após o processo (Esteves, 2014).

## **2.5.1. Etapas da produção de briquete**

### **2.5.1.1. Recepção**

Logo após a colecta dos resíduos, os mesmos são destinados a recepção onde, ainda nos camiões, devem ser pesados a fim de se obter dados do processo quanto a alimentação, produção, estocagem e os respectivos balanços de massa e energia (Miolo *et al.*, 2020). Em seguida, o material deve seguir para a picotadeira, que alimentado por uma esteira.

### **2.5.1.2. Picotamento**

Segundo Souza (2011), Esta etapa consiste na diminuição de granulometria do resíduo, para aproximadamente 10mm, através de sua trituração utilizado uma forragem ou um picotador. A máquina de corte utilizada pode ser composta de um rolo de faca fixas (permitem o aproveitamento de fibras longas) ou discos e facas, discos de cortes alternadas e moinhos universais, que são indicados para os sistemas de fibras não e requerido. Alguns resíduos requerem que, antes da realização do picotamento, a biomassa seja espalhada sobre o solo para passar por um processo de secagem natural, e posteriormente transportado para o local de queima, os resíduos da casca de coco verde, não sendo necessária, devido a sua composição física.

### **2.5.1.3. Prensagem**

De acordo com (Esteves, 2014), esta etapa é apenas e necessária para o processamento de resíduos que apresentam humidade elevada, como o caso de casca de coco verde, que apresentam em torno de 85% de água em sua composição.

Após picotado, o material é transportada para uma prensa, que extrai o excesso de líquido do produto já triturado. No processamento de casca de coco verde, a prensagem remove cerca de 60% da humidade, conseguem extrair a água embebição (água que se encontra livre dentro dos elementos anatómicos do fruto) o que acarreta, também, a remoção conjunta dos sais. A

composição do líquido extraído apresenta composição rica em açúcares fermentescíveis, compostos fenólicos, catiões (cálcio, magnésio, potássio e sódio) e aniões, (cloreto, bicarbonato e sulfato), tais características indicam a necessidade de tratamentos adequando para esta água residuária gerada no processo de beneficiamento da casca de coco verde (Matos, 2012).

#### **2.5.1.4. Seleção**

Esta etapa é necessária para o processamento de resíduos que possuem fibras em sua composição como o caso de casca de coco verde, de modo de um classificador realizam a separação das fibras e do pó através de mantelotes fixos, helicoidais e uma chapa perfuradora (Esteves, 2014).

#### **2.5.1.5. Secagem**

Essa etapa do processo é realizado a fim de reduzir a humidade dos resíduos até o teor ideal de briquetagem, podendo ocorrer de forma natural ou artificial. A secagem natural e realizada através da luz solar, que pode levar dias para atingir a secagem ideal, enquanto a secagem artificial ocorre através de secado rotativo, podendo levar horas, o tempo de secagem, depende da quantidade do material (Matos, 2012).

#### **2.5.1.6. Moagem**

Esta etapa é introduzida no processamento a fim de alcançar a granulometria ideal desejada para a fabricação dos briquetes, onde o tamanho da partícula esteja entre 5 e 10mm. Alguns resíduos, mesmo após a etapa de picotamento, necessitam reduzir ainda mais o tamanho da partícula, pois a etapa de secagem essas tendem a aumentar de tamanho, devido a perda de água (Carvalho, 2004).

#### **2.5.1.7. Briquetagem**

De acordo com Esteves (2014), as etapas podem acontecer de maneira conjugada, pois o processo de compactação da biomassa ocorre a elevadas pressões, o que provoca a elevação da temperatura no processo na ordem de 100°C. Este aumento de temperatura actua, também, como aglomerante das partículas preexistentes picotadas através da plastificação da lignina, que exige um determinado teor de água presente. Para que isso ocorra há uma quantidade de água necessária, compreendida entre 8% e 12%.

### **2.5.2. Factores que influencia na qualidade de briquetes**

De acordo com Temmerman *et al.* (2006) há uma série de factores que influencia a resistência e a durabilidade de briquetes. Os principais parâmetros considerados relacionados à matéria-prima e processo são:

- Matéria-prima: teor de humidade, tamanho de partícula, composição química, pré-condicionamento, adição ou presença de agentes ligantes.
- Processo: dimensões da matriz e a distância entre a prensa e a matriz, temperatura, pressão etc.

#### **2.5.2.1. Teor de humidade**

De acordo com Gonçalves *et al.*, (2009) o teor de humidade deve estar compreendido entre 15-20% para que ocorra a queima, visto que os valores superiores reduzem o valor do calor de combustão, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape. Valores de humidade acima de 15% podem levar à quebra do briquete ou à degradação biológica durante o transporte e armazenamento. Por outro lado, baixo teor de água (<5%) pode resultar em perda de material, bem como a sua quebra, geração de finos durante o transporte e armazenamento. O excesso de humidade pode provocar explosões devido à formação de vapor. Por outro lado, uma matéria-prima muito seca dificulta os mecanismos de ligação entre as partículas.

A secagem também é necessária para evitar a degradação por acção de microrganismos ou condições climáticas, levando à alteração das características químicas e físicas do material. A presença de água representa poder calorífico negativo, pois parte da energia liberada é gasta na vaporização da água e se o teor de humidade for muito variável, pode dificultar o processo de combustão, havendo necessidade de constantes ajustes no sistema (Petricoski, 2017).

Se, por um lado, a água facilita a gelatinização do amido, fragmentação de proteína, solubilização de fibras durante a densificação, o excesso da mesma pode levar à compactação e entupimento na alimentação da maquinaria (Dias *et al.*, 2012).

#### **2.5.2.2. Tamanho das partículas**

O tamanho das partículas é muito importante para determinar a qualidade e durabilidade de um briquete. Quanto menor for o tamanho de partícula, menor será a porosidade do produto final e, portanto, maior será a sua densidade. A baixa porosidade do briquete pode, entretanto dificultar a queima devido ao menor número de espaços livres para difusão de calor. Sendo assim, a taxa de

combustão dos produtos muito densos será menor e maior o período de combustão. Estudos mostram que a condição ideal é a presença de partículas de diferentes tamanhos, pois isso possibilita a melhora no empacotamento das partículas e contribui para a alta resistência dos briquetes (Dias *et al.*, 2012).

A matéria-prima ideal deverá ser composta por uma mistura de partículas de vários tamanhos, sendo que a medida máxima depende do tipo de material e do diâmetro da matriz. Geralmente é aceitável uma granulometria entre 5 e 10 mm, enquanto grandes prensas com matrizes de 125 mm de diâmetro aceitam partículas de até 15 mm. Uma matéria-prima de baixa granulometria resulta em briquetes muito densos, mas requer pressões e temperaturas muito elevadas para aglomerar as partículas sem adição de aglutinantes (Petricoski, 2017).

A redução no tamanho das partículas é geralmente recomendado, a fim de reduzir os espaços interarticular e criar laços mais fortes durante a compressão. Estudos mostram que a condição ideal é a presença de partículas de diferentes tamanhos, pois isso possibilita a melhora no empacotamento das partículas e contribui para a alta resistência dos briquetes. Uma distribuição ampla de tamanho de partículas promove a incorporação das partículas pequenas pelas partículas de maior dimensão. Entretanto, partículas muito finas, com tamanho inferior a 1 mm, não são adequadas, porque são menos densas, mais coesas e pouco fluídas (Missagia *et al.*, 2011).

### **2.5.2.3.Aglutinante**

Segundo Dias *et al.*, (2012), a lignina, as proteínas, amido, gorduras e carboidratos solúveis são adesivos naturais da biomassa. A presença desses compostos justifica não utilizar aglomerantes artificiais para a briquetagem ou a peletização. Entretanto, caso a matéria-prima tenha deficiência desses compostos, há a necessidade da adição do ligante. Mais de 50 ligantes orgânicos e inorgânicos têm sido empregados na densificação, sendo os mais comuns: amido de milho, fécula de mandioca, resinas sintéticas, alcatrão vegetal.

As principais características dos aglutinantes são: alta taxa de aglomeração; inexistência de material inerte em sua composição; disponibilidade; alta resistência mecânica; resistência à humidade e boas condições de operacionalidade. Em alguns aglutinantes podem ocorrer reacções químicas com o material compactado que conferem boas características ao briquete, como é o caso da cal e do melaço que reagem com o carvão formando uma camada de protecção à água. Outros aglutinantes podem ter propriedades lubrificantes e reduzem a fricção entre partículas (Gonçalves, 2010).

### **2.5.2.4.Temperatura**

A temperatura de compactação exerce uma função muito relevante nas propriedades finais do produto e no consumo energético durante a compactação. Com o aquecimento, é possível obter produtos mais estáveis com menor dimensão, se comparados com materiais de mesma composição, porém compactados sem aquecimento. Para muitos a temperatura máxima não deve ultrapassar 220 °C, porém essa temperatura depende da matéria-prima, pré-tratamento, tempo e teor de água (Dias *et al.*, 2012).

A compactação em condições acima de 100°C permite a fluidificação da lignina contida nas células da biomassa, a qual age como um aglutinante entre as partículas, dispensando, assim, o uso de ligantes adicionais na biomassa. Além disso, temperaturas elevadas evaporam parte da humidade da biomassa, melhorando a qualidade do produto compactado (Gonçalves, 2010).

### **2.5.2.5.Pressão**

A aplicação de pressão pelos equipamentos de compactação nas partículas da biomassa favorece diferentes mecanismos de ligação. Em altas pressões, os ligantes naturais, tal como o amido, são extraídos das células vegetais, contribuindo assim para a interligação e coesão das partículas

(Petricoski, 2017).

### **2.5.3. Caracterização física, química e energética dos briquetes**

Em Moçambique não existem normas específicas para análise dos parâmetros de qualidade de biocombustíveis sólidos. Por isso, utilizam-se as mesmas normas aplicadas a carvão vegetal e mineral para a produção de briquetes (Mualimo, 2020).

A caracterização das propriedades físicas e químicas dos combustíveis sólidos, pode determinar seu valor económico, desde a produção até sua utilização industrial, também podem de auxiliar no controle das emissões atmosféricas, bem como a disposição adequada dos rejeito sólidos, minimizando os efeitos indesejáveis ao meio ambiente. As análises de combustíveis sólidos obtidos a partir da biomassa consistem principalmente das análises imediata (determinação da humidade, cinza, matéria volátil e carbono fixo) e térmica (poder calorífico), Fernandes (2015).

#### **2.5.3.1. Teor de humidade**

O teor de humidade corresponde à quantidade de água presente num determinado produto, podendo ser muito elevado em biomassas frescas, expostas ao ar e mais baixo em biomassas processadas como os briquetes. A utilização de biomassa como biocombustível sólido exige assim o conhecimento dos níveis de humidade, sendo fundamental reduzi-la mediante secagem para uma utilização segura e eficiente (Fernandes, 2015).

Quando o teor de humidade for alto, afectam o processo de combustão exigindo tempos de residência mais longos para que ocorra a secagem antes do processo de desvolatilização, pois se o teor de humidade da biomassa for superior a 60%, muito dificilmente ocorre combustão (Loo; Koppejan, 2008).

#### **2.5.3.2. Teor de cinzas**

De acordo com Dias *et al.* (2012), o teor de cinzas, fornecem informações aproximadas da combustibilidade da biomassa. O teor de cinzas é a percentagem em massa de cinzas após a queima completa da biomassa (briquete). A maioria dos resíduos de biomassa tem baixo teor de cinzas podendo variar de 0,1% e 46,3%. Devido aos elementos que dão origem as cinzas, que são inerentes a biomassa que formam a matriz das cinzas sendo (Ca, Si, Mg, K, Na, Al, Fe e P). No processo de combustão, o combustível é oxidado formando-se óxidos destes elementos CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Ligados às estruturas contendo carbono, ou podem

ser introduzidos no combustível como fragmentos minerais do ambiente externo, durante a colheita com recurso ao uso de maquinarias (Loo; Koppejan, 2008, Palazon, 2013).

De acordo com Vassilev *et al.*, (2010), o teor de cinzas é um parâmetro importante nas análises de biomassa porque dá indicação sobre o conteúdo de matéria inorgânica que dará origem à formação de cinzas nos sistemas de combustão e fornece indicação sobre a possível existência de contaminação da biomassa. Quando o teor de cinzas forem superiores a 4%, podem levar à corrosão do queimador e a desgastes de todos os equipamentos por abrasão, As cinzas são substâncias compostas de material inorgânico e tem relação inversa com o poder calorífico (Mande, 2009).

#### 2.5.3.3. Teor de voláteis

O teor de voláteis refere-se à fracção de biomassa que, por via de decomposição térmica até aos 900 °C, passa para a fase gasosa sob a forma de variados gases voláteis combustíveis. O aquecimento da biomassa leva à libertação de compostos gasosos contendo vapor de água, hidrocarbonetos leves, CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> (Dias *et al.*, 2012). Os briquetes apresentam uma fracção de matéria volátil relativamente elevada a rondar 64% contra 31% no carvão, que rondam tipicamente com cerca de 70% de calor para o processo de combustão, e afecta em particular a estabilidade da chama, a formação de poluentes e a eficiência global da combustão (Vassilev *et al.*, 2010, Williams *et al.*, 2012).

Segundo Fernandes (2014), quando o material volátil for alto A biomassa apresenta uma elevada reactividade que influencia o processo de combustão, na medida em que uma parte do combustível de biomassa é vaporizada antes de ocorrerem às reacções de combustão em fase gasosa. Os materiais voláteis durante a queima da biomassa volatilizam rapidamente diminuindo o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão, podendo contribuir para uma baixa eficiência energética

#### **2.5.3.4. Teor de carbono fixo**

O carbono fixo tem relação directa com o poder calorífico. Pois Um maior teor de carbono fixo implica em um maior tempo de residência dentro do aparelho de queima (Chaves *et al.*, 2013). O teor de carbono fixo depende principalmente do teor de material volátil, já que os teores de cinzas para cocos são baixos. Desta forma, resíduos com maiores teores de material volátil tem menores teores de carbono fixo.

#### **2.5.3.5. Poder calorífico**

Segundo Salgueiro (2014), citado por Miolo (2020), o poder calorífico é definido como a quantidade de energia térmica liberada durante a queima completa de uma unidade de massa ou de volume de combustível, expressa em  $\text{J kg}^{-1}$ ;  $\text{J m}^{-3}$ ;  $\text{kcal kg}^{-1}$  ou  $\text{kcal m}^{-3}$ . O poder calorífico superior - PCS corresponde ao conteúdo total de energia libertada quando o combustível é queimado na presença de ar, contando com o calor latente necessário para evaporar a água proveniente do combustível e formada na combustão.

Poder calorífico segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT:

“É uma propriedade importante na avaliação de um combustível sólido e consiste na quantidade de calor liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do material combustível, expressa em cal/g ou kcal/kg. O poder calorífico é chamado superior (PCS) quando a água proveniente da queima está presente em estado líquido” (ABNT, 1983 apud MAROZZI, 2012).

O poder calorífico superior (PCS), segundo Klautau (2008), é a quantidade de calor liberada durante a combustão com a água na forma condensada, enquanto o poder calorífico inferior (PCI) se refere a quantidade de calor liberada durante a combustão com a água sob a condição de vapor. Quanto maior a humidade do combustível, menor será o seu poder calorífico inferior.

Para Rodrigues (2017), existem várias características das partículas que podem comprometer o poder calorífico, tais como, teor de humidade, composição elementar, teor de cinzas, entre outras.

#### **2.5.3.6. Resistência mecânica**

Segundo Petricosk (2017), a resistência dos briquetes à compressão é determinada para se prever o seu comportamento mecânico submetido a uma determinada carga ou esforço, considerando a sua posição de armazenamento.

Segundo o Melo (2000), a resistência mecânica influencia directamente na qualidade do briquete,

por este parâmetro ser significativo na avaliação briquetes do briquete ao manuseio e condições de trabalho. Pois no ensaio, o briquete é submetido à pressão contínua e progressiva até que o mesmo fracture. Além do tamanho da partícula na composição do briquete, a humidade da matéria-prima também pode influenciar directamente na qualidade do briquete produzido, no que diz respeito à sua resistência mecânica. Assim, para os materiais lignocelulósicos com teores de humidade em base seca muito acima de 15% ou muito secos (menor que 9%), podem se observar estouros ou trincas e rachaduras no briquete recém-formado, conseqüentemente causando a sua desintegração durante o transporte e manipulação ou inviabilizando tecnicamente a briquetagem. A determinação da carga máxima de ruptura devem estar em sentidos longitudinal e diametral para a determinação da resistência mecânica dos briquetes, pois em condições de transporte e manuseio, os briquetes estariam submetidos a ambos os esforços (Leite *et al.*, 2011).

Diante disso, a avaliação mecânica dos briquetes pode ser usada como ferramenta para indicar seus usos, quer sejam domésticos ou até mesmo aplicações em altos-fornos industriais (Souza, 2014).

#### **2.5.3.7. Densidade aparente e energética**

A densidade é definida como a quantidade de massa contida na unidade de volume (Dias *et al.* (2012). A densificação das partículas sólidas é um grande indicador de qualidade de briquetes, pois esta ferramenta utilizada também como parâmetro para análise da qualidade para a elaboração das determinações técnicas (Rabier *et al.*, 2006).

A densificação da matéria-prima resulta em briquetes com alta densidade, baixa humidade e forma adequada (Vendrasco *et al.*, 2010). Por tanto, a densidade é um parâmetro importante na compactação: quanto maior a densidade, maior a razão energia/volume. Somado a isso, produtos de alta densidade são desejáveis em termos de transporte, armazenamento e manuseio Petricosk, 2017).

De acordo com Dias *et al.*, (2012), existem dois tipos de densidade aparente: a densidade de um briquete único e a densidade de um aglomerado de briquetes, também chamada densidade a granel. A primeira é importante no controle de qualidade do produto, enquanto a segunda é relevante para transporte, armazenamento e venda dos briquetes.

Segundo Borghi (2012) para densidade um briquete único, os materiais com maior humidade e tamanhos de partículas maiores tendem a reduzir a densidade do produto final, enquanto as temperaturas e pressões de processo mais elevadas aumentam a densidade dos produtos. Quanto que, a densidade a granel depende da forma de embalagem, acondicionamento e empilhamento. Densidade a granel baixa tem efeito negativo sobre a densidade energética da pilha ou aglomerado e, por conseguinte, também sobre os custos de transporte e da capacidade de armazenamento, tanto para o produtor do briquete, como para o consumidor final. A densidade aparente dos briquetes varia entre 500 e 1200 kg m<sup>-3</sup>, A densidade a granel dos briquetes dificilmente excede 500 kg m<sup>-3</sup> (Dermibas, 2009).

#### **2.5.4. Vantagens do uso dos briquetes**

Segundo Silveira (2008) existe uma série de vantagens dos briquetes sendo elas técnicas e ambientais que favorecem o briquetes em relação a lenha e outros combustíveis lenhoso, sendo que:

- ✓ Permite o uso e aproveitamento de resíduos agrícolas, florestal;
- ✓ Maior densidade e poder calorífico;
- ✓ Menor necessidade de estoque;
- ✓ Menos fumaça e cinzas;
- ✓ Maior higiene;
- ✓ Redução do impacto para retirada da lenha, principalmente sobre florestas nativas;
- ✓ Menor consumo, pois uma tonelada de briquete pode substituir até 2 toneladas de lenha;
- ✓ Menor índice de poluição.

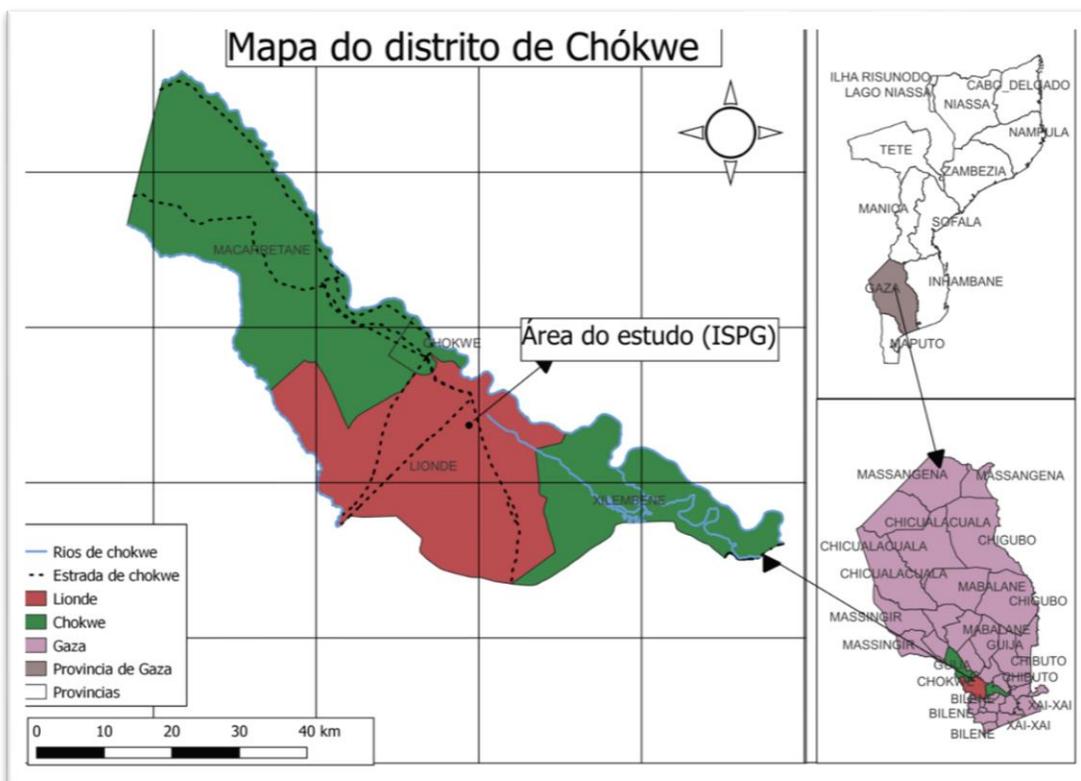
### **3. METODOLOGIA**

No presente capítulo são abordados as etapas para a realização do presente estudo. Inicialmente foram descritos os aspectos relacionados com a descrição da área do estudo, foram indicados as características e a actual situação geográfica e morfológica do respectivo local, de seguida foram apresentados os materiais que foram utilizados a partir da produção até os ensaios e posteriormente serão descritas os métodos aplicado para a realização do estudo, começado com o plano experimental, de seguida o processo produtivo desde a aquisição da matéria-prima até e a obtenção do produto final.

Após a descrição do produto final foram descritas os aspectos relacionados com os procedimentos experimental desde os ensaios da análise imediata, calorífica e energética até os processos estatísticos para obtenção de resultados referentes ao desempenho energético dos briquetes.

#### **3.2.Localização do distrito**

O trabalho foi realizado no campus experimental do Instituto Superior Politécnico de Gaza, localizada no distrito de Chókwè que localiza-se a Oeste da região sul de Moçambique, concretamente a Sudoeste da Província de Gaza, entre as coordenadas geográficas: 24° 05' e 24° 48' Latitude Sul; 32° 33' e 33° 35' Longitude Este. Com aproximadamente 1.864km<sup>2</sup> de superfície (MAE, 2005). O Distrito de Chókwè está dividido em quatro postos administrativos nomeadamente: Cidade de Chókwè, Lionde, Macarretane e Xilembene; oito localidades e trinta e três aldeias. É limitado a norte pelo rio Limpopo que o separa dos distritos de Mabalane, Guijá e Chibuto no mesmo distrito, a sul pelo rio Mazimechopes que o separa de Magude na província de Maputo. A figura 3 abaixo, ilustra o mapa da localização da área de estudo.



**Figura-3.** Mapa da área de estudo, Distrito de Chókwe  
 Fonte: (Autor, 2022)

### 3.2.1. Clima e Hidrologia

Segundo a MAE (2005) o clima da região de Chókwe é do tipo semiárido apresentando duas épocas distintas: A chuvosa e quente que ocorre de Outubro à Março e a seca e fresca de Abril a Setembro. A precipitação média anual é de 660mm, com máximo de 140mm e mínimo de 10mm. Mais de 75% da chuva concentra-se na época chuvosa e reparte-se em poucos dias de chuva, ocorrendo grandes enxurradas que proporcionam graves problemas de erosão e períodos prolongados de encharcamento do solo.

Todo o distrito de Chókwe é uma planície com menos de 100 metros de altitude e composta por aluviões ao longo do rio Limpopo, que atravessa todo o distrito no sentido NW-SE, e por depósitos indiferenciados no resto do distrito (PA's de Macarretane e Lionde) MAE (2005).

### **3.2.2. Vegetação**

Segundo a MAE (2005) a vegetação predominante no distrito de Chókwe corresponde ao tipo de solo. Nas áreas elevadas encontra-se savanas/ bosque de folha larga, uma vegetação de pequenos arbustos espalhados e uma cobertura fraca de gramíneas, em geral espécies anuais. Nas depressões extensas ou planícies o tipo de vegetação varia de savana a bosque, caracterizada por espécies xerófitas com árvores baixas e arbustivas, e uma densa cobertura graminal bem desenvolvida, pastagens de boa qualidade, nas áreas abertas. Nas bacias pantanosas (solos das dunas interiores) encontram-se bosque aberto ribeirinho caracterizado por grandes árvores e abundante vegetação herbácea, assim como pastagens de qualidade, embora com manchas de solo nu. O quarto grupo de vegetação (sedimentos recentes) consiste de pastagem aberta caracterizada de pradaria com ocasionais árvores ou arbustos e uma cobertura graminal perineal.

### **3.2.3. Economia**

No distrito de Chókwe a agricultura é a actividade económica dominante e envolve 80% da população activa do distrito. A agricultura é praticada em exploração familiares com 1.5 hectare, em média, e em regime de consociação com base em variedade locais. Em algumas regiões há recurso à tracção animal e tractores para a produção agrícola MAE (2005).

### 3.3. Materiais

Para realização desse estudo foram utilizadas as matérias conforme ilustrado na Tabela 1:  
Tabela 2-Matérias usadas no decorrer do estudo

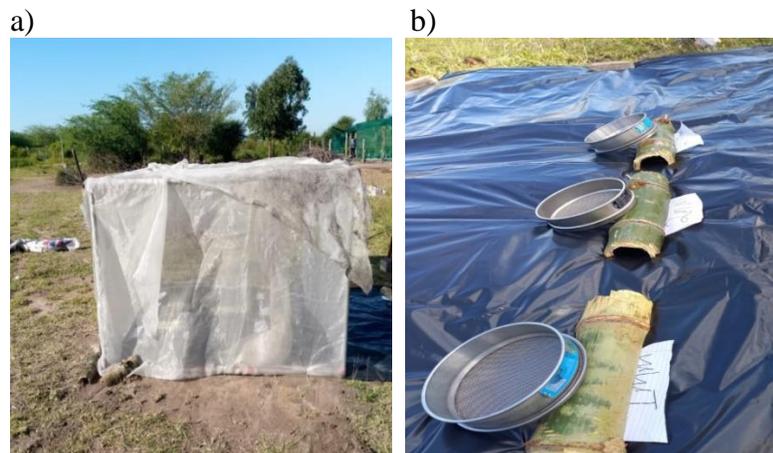
| <b>Designação</b>         | <b>Utilidade</b>                            |
|---------------------------|---|
| Resíduos de coco          | Matéria-prima                               |
| Tambor                    | Carbonizar a matéria-prima                  |
| Almofariz e pilão         | Triturar a biomassa residual                |
| Crivos                    | Separar os níveis de granulometria          |
| Cronometro                | Medição do tempo                            |
| Prensa                    | Para confeccionar os briquetes              |
| Fécula de mandioca        | Material ligante                            |
| Panelas                   | Para a gelatinização dos aglutinantes       |
| Parquímetro               | Medição da espessura, largura e comprimento |
| Balança digital analógica | Medição de toda biomassa em uso             |
| Estufa digital            | Secar os briquetes                          |
| Cadinho de porcelanas     | Para realização de ensaios laboratoriais    |
| Mufla                     | Queima dos briquetes                        |

### 3.4. Métodos e procedimentos

#### 3.4.1. Alocação das unidades amostrais e Delineamento experimental

As unidades amostrais foram alocadas no campus experimental do Instituto Superior Politécnico de Gaza-Chókwé. A produção ocorreu no ambiente aberto e os ensaios ocorreram no laboratório em um ambiente fechado com um controle de circulação de ar.

A experimentação foi conduzida por meio de um delineamento em blocos causalizados, com dois blocos, a secagem combinada (estufa convencional e ar livre), e 3 tratamentos níveis de granulometria, compreendida entre (1, 2 e 4,75mm), sobre 3 repetições para cada tratamento. Figura 4 ilustra as unidades de secagens utilizadas para a realização do estudo, a secagem em estufa convencional e a secagem ao ar livre.



**Figura 4**-Unidades de secagem, a)-Estufa convencional; b)-Diferentes tipos de crivos  
 Fonte: autor

Usou-se o delineamento em blocos com a finalidade de reduzir a possibilidade da existências do erro experimental através do controle da variação existente entre as unidades experimentais (secagem e os níveis de granulometria) por meio das casualizações, desta forma foram seleccionadas aleatoriamente diferentes amostras e alocadas em seus respectivos blocos. A tabela 2 ilustra o plano experimental utilizado para a realização estudo, as suas combinações.

Tabela 2 - Plano experimental

| Tratamentos<br>(Granulometria) | Bloco 1 (Secagem em estufa convencional) | Bloco 2 (Secagem em ar livre) |
|--------------------------------|--|-------------------------------|
|                                | Número de repetição                      | Número de repetição           |
| Tratamentos 1 (1 mm)           | 3  | 3                             |
| Tratamento 2 (2 mm)            | 3  | 3                             |
| Tratamento 3 (4.75mm)          | 3  | 3                             |

### 3.4.2. Colheita e preparo das amostras

Para a realização do presente estudo foram utilizadas as seguintes componentes: a biomassa residual da casca de coco (epicarpo fibroso e lenhoso) e aglutinante de (fécula de mandioca e farinha de milho) com proporção de 80% da massa residual e 20% de material ligante.

Em suma, foram necessárias 200kg de resíduos da casca de coco, assim sendo foram colectadas 100 kg de resíduos de casca de coco seco (Epicarpo fibroso) provenientes da província de

Inhambane. A escolha do local deu-se pela alta concentração de comércio específico de venda de coco, devido à alta movimentação turística e a gastronomia típica do mesmo.

Após a colheita dos resíduos (Epicarpo fibroso), foram colectadas 100kg da parte mais duro do resíduo da casca de coco o (Epicarpo lenhoso), fornecido pela empresa Bantu comercial, localizada na cidade de Chókwe, empresa que dedica-se no processamento de coco.

Após a colheita dos resíduos da casca do coco, foi necessário a aquisição do material ligante, para realização deste estudo usou-se a mistura de dois adesivos naturais: a fécula de mandioca e farinha de milho, com o objectivo de aumentar a sua capacidade de lubrificação, reduzido a ficção das partículas, e aumentado a facilidade na compactação. A fécula da mandioca foi produzido localmente, o processo produtivo passou por três etapas, sendo que inicialmente a mandioca foi cortada em cavacos e de seguida secados ao ar livre. No período de 15 dias, após a secagem foi posteriormente triturado por meio de um pilão e almofariz, até tornar-se pó. A figura 5 ilustra o processo produtivo da fécula da mandioca, que ocorreu manualmente.



**Figura 5-** Produção da fécula de mandioca, a)- Corte da mandioca em cavacos; b) – Secagem da mandioca cortada em cavacos

Fonte: autor

Após a aquisição da matéria-prima, as amostras residuais de casca de coco passaram pelo processo de carbonização incompleta, em um forno metálico, num período de duas horas, para obtenção de moinhos de carvão. Após a carbonização as amostras foram trituradas manualmente por meio de um pilão e almofariz, de seguida crivadas manualmente por meio de crivos padronizadas com aberturas de (1; 2 e 4,75mm) respectivamente, a escolha do níveis granulometrias finos, deu-se pela facilidade de união entre particulares finas, devido a natureza

do material, do modo a facilitar a compactação. A Figura 6 ilustra o processo preparativo das amostras dos resíduos da casca de coco.



**Figura 6:** Processo preparativo das amostras dos resíduos da casca de coco, a)-Carbonização incompleta dos resíduos em forno metálico; b)-Trituração dos resíduos com almofariz e pilão; c)- Crivas dos resíduos

Fonte: autor

Após a obtenção de partículas, fez-se a mistura do material ligante. Foram misturadas 65% de fécula de mandioca e 35% de farinha de milho industrial e refinado, que servira como adesivo natural, a mistura passou por um processo de tratamento prévio de pré-gelatinização, por meio de aquecimento para a obtenção do gel, a mistura foi dissolvida em água, com a proporções de 650 gramas de farinha para 3 litros de água, aquecida até atingir a gelatinização. A Figura 7 ilustra o processo produtivo do material ligante, a adição da mistura e água, produção do gel.



**Figura 7.** Produção do material ligante, a)- Adição da mistura e água; b)- Produção do gel

Obtido o gel, foram adicionados a mistura de finos de biomassa de casca de coco com as

proporções de 80% de resíduos e 20% de aglutinantes, misturados manualmente até atingir a homogeneização ou seja, até atingir a consistência da massa necessária para a ligação com as partículas de moinhos de finas de casca de coco, para a produção de briquetes, como ilustrado na Figura 8.

### 3.4.3. Produção briquetes

Após a obtenção da massa, seguiu-se para o processo de produção dos briquetes. A massa foi submetida a uma briquetadeira manual quadrangular, de seis aberturas de 10cm de largura e comprimento de 7cm de altura, aplicada uma carga de 6 toneladas que corresponde a 143 kgf.cm<sup>2</sup>, com a finalidade de unir as partículas. A Figura 6 ilustra o processo da produção dos briquetes, desde mistura até a prensagem.



**Figura 8-** Produção dos briquetes, a)-Mistura da biomassa e o gel; b)- Produção dos briquetes em uma briquetadeira manual

Fonte: autor

Após a produção os briquetes, foram encaminhados de imediato ao laboratório para pesagens, por meio de uma balança digital, e posteriormente encaminhados para a secagem, certa quantidade de briquetes foram submetidas a secagem em estufa convencional e o restante foi submetida a secagem ao ar livre. A secagem ocorreu no período de 72h, com uma temperatura média diária de 24° C, e uma velocidade de vento médio de 19 (km/h).

Após a secagem as amostras de briquetes foram encaminhados para o laboratório para a realização de medições e pesagens, que servirão de dados para determinar os parâmetros físico-químico e energético dos briquetes.

### 3.5. Análise de dados

Para análise dos dados sobre os parâmetros físicos, químicas e energética dos briquetes, usou-se a análise imediata conforme a norma técnica ABNT-NBR 8293/83, que consistem na determinação do teor de humidade, material volátil; teores de cinzas, teor de carbono fixo em percentagem, portanto estes parâmetros, condicionam a determinação do poder calorífico e densidade energética.

#### 3.5.1. Determinação de teor de humidade

Para a determinação do teor de humidade, os briquetes foram submetidos a uma secagem em estufa digital da marca P-selecta Digitheatat TEF há uma temperatura de 105°C durante 2h, o material foi medido 2h em 2horas, até atingir o peso constante dos briquetes.

O teor de humidade foi determinado pela seguinte Equação número 1, abaixo ilustrado:

$$TU = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 \quad \text{Equação [1]}$$

Onde:

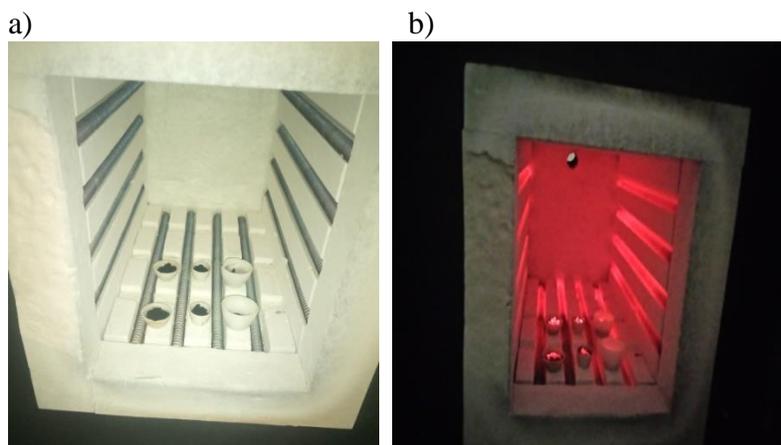
TU- teor de humidade (%);

$m_0$ - Massa inicial (g);

$m_1$ -Massa final (g).

#### 3.5.2. Determinação do teor de material volátil

Para a análise de material volátil foram colocadas 2g de briquetes, secos em estufa até peso constante isento de humidade, em um cadinho de porcelana em seguida foi lavado a Mufla da marca Zvymen System-snol, a uma temperatura de 350°C ± 10°C, e o tempo de 3 minutos, o o tipo de Mufla e Cadinhos utilizados, estão ilustrados na Figura 9 abaixo.



**Figura 9-** Determinação do material volátil, a)- Cadinhos na mufla ligada desligada; b)-cadinhos na Mufla ligada

Fonte: autor

Em seguida, os cadinhos foram retirados da Mufla e colocadas na estufa para esfriamento e, posteriormente pesado em uma balança analítica da marca Nimbus AEadam com precisão mínima de 0.001g. Inicialmente fez-se a pesagem dos cadinhos vazios.

De acordo com a norma ABNT 8112/86 determina que os resultados obtidos para o teor de materiais voláteis não devem diferir um do outro em valores relativos mais de 2%.

O teor de material volátil foi calculado de acordo com a Equação número 2, abaixo representado:

$$\%MV = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad \text{Equação [2]}$$

Onde:

$MV\%$ - teor de material volátil, em %;

$m_1$  -massa inicial da amostra, em gramas;

$m_2$  - Massa final da amostra, em gramas.

### 3.5.3. Determinação do teor de cinzas

A análise do teor de cinzas foi feita por meio de uma Mufla, inicialmente foram pesados os cadinhos vazios e de seguida adicionados 2g de briquetes isento de humidade, posteriormente colocadas na Mufla para a queima, previamente aquecidas a uma temperatura de  $550^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ , e o tempo de 10 horas até a sua completa calcinação.

Após a queima total das amostras, os cadinhos foram colocadas na estufa para resfriar, posteriormente pesados para determinação da massa final das cinzas, conforme a Figura 10 Abaixo ilustrado.

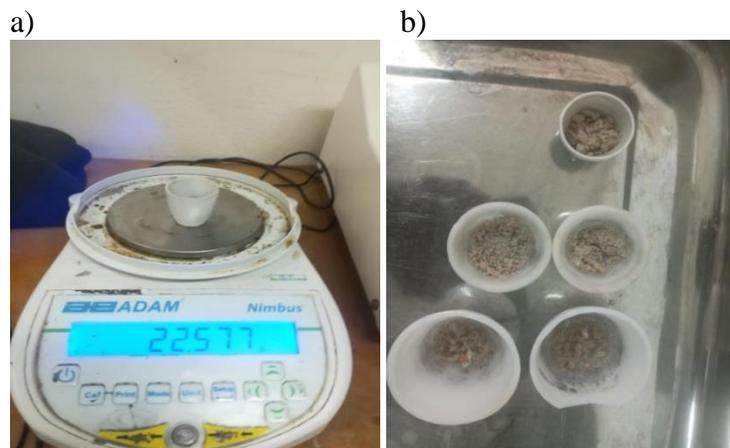


Figura 10- Determinação de teor de cinzas, a)-Pesagem dos cadinhos em uma balança analógica; b)- Formato das cinzas de diferentes tratamentos

Fonte: autor

Segundo a norma NBR 8112/86 estabelece que os resultados obtidos para o teor de cinzas não devem diferir um do outro em valores relativos mais 10%.

O teor de cinzas foi determinação pela Equação número, 3 abaixo ilustrado:

$$\%TCZ = \frac{P_{CZ}}{P_{ca}} * 100 \quad \text{Equação [3]}$$

Onde:

$T C z$  %- Percentagem do teor de cinzas (%);

$P_{CZ}$ - Peso das cinzas, em gramas (g);

$P_{as}$ - Peso da amostra seca, em gramas (g).

#### 3.5.4. Determinação do Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo (CF) representa a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de humidade, para determinação do teor de carbono fixo (%CF), seguiu-se a metodologia prescrita na norma NBR 8112, subtraindo-se 100% dos teores de materiais voláteis e de cinzas, foi calculado através da Equação número 4, abaixo ilustrado:

$$\%CF = 100 - (MV + TCz) \quad \text{Equação [4]}$$

Onde:

*CF%*- Percentagem do teor de carbono fixo (%);

*MV*- Percentagem do teor de material volátil;

*TCZ*- Percentagem do teor de cinzas.

### **3.5.5. Determinação do Poder calorífico superior**

A análise do poder calorífico superior foi estimado utilizando-se a fórmula estabelecida por Dias *et al.* (2012), propõe que o valor calorífico da madeira em MJ/kg, e da maior parte dos resíduos agro-florestais pode ser calculada usando a seguinte Equação número 5, abaixo representado:

$$PCS = 20,0 * (1 - TCZ - TU) \quad \text{Equação [5]}$$

Onde:

PCS- Poder calorífico superior em MJ/kg;

TCZ- Teor de cinzas (%);

TU- Teor de humidade do briquete (%).

### **3.5.6. Determinação do Poder calorífico inferior**

O valor do Poder calorífico inferior ou líquido leva em conta a energia não recuperada a partir do vapor dos resíduos, na oxidação do hidrogénio, desta forma o PCI será calculado de acordo com a fórmula estabelecida pelo Dias *et al.*, (2012), para briquetes resíduos de madeira e resíduos agro-florestais, usando a seguinte Equação número 6, abaixo ilustrado:

$$PCI = 18,7 \times (1 - TU) - 21,2 \times TCZ \quad \text{Equação [6]}$$

**Sendo que:**

PCI- Poder calorífico inferior da amostra mj/kg;

TU- Teor de humidade do briquete (%)

TCZ- Teor de cinzas (%).

### **3.5.7. Determinação da densidade dos briquetes**

A determinação da densidade aparente dos briquetes, foi feita pelo método estequeométrico, que relaciona a massa e o volume. Por meio de um parquímetro analógico metálico foram feitas medições lineares de largura, comprimento e altura dos briquetes para a obtenção do volume, a massa dos briquetes foi obtidas a partir de uma balança digital com precisão de 0,1g, a densidade foi calculada pela seguinte Equação número 7, abaixo ilustrado:

$$D_{ap} = \frac{m_b}{V_b} \quad \text{Equação [7]}$$

Onde:

$D_{ap}$ - Densidade aparente ( $g/cm^3$ );

$m_b$ - Massa do briquete (g);

$V_b$ - Volume do briquete  $cm^3$ .

### 3.5.8. Determinação da Densidade energética

A densidade energética foi dada ou obtida a partir do produto entre a densidade media e o poder calorífico superior de cada briquete em mj/m.

A densidade energética foi calculada pela Equação número 8, abaixo ilustrado:

$$D_E = D_{ap} * PCS \quad \text{Equação [8]}$$

Sendo que:

$D_E$ - Densidade energética em  $Kg/m^3$ ;

$D_{ap}$ - Densidade aparente em ( $g/cm^3$ );

PCS- Poder calorífico superior em MJ/kg.

### 3.5.9. Análise estatística

Os dados foram analisados numa planilha Microsoft Office Excel 2010, posteriormente processados no pacote estatístico *Mini tab 18*. Para a análise exploratória dos dados, fez-se o teste de Shapiro-Wilks para analisar a normalidade dos dados, e teste de Breusch-Pagan para testar a Homocedasticidade das variâncias, posteriormente teste de análise de variância (ANOVA) a um nível de 5% de significância. Fez-se o teste t pareado do modo a verificar se existe ou não a diferença significativa nos níveis de granulometrias e secagem, e por fim foi aplicado o teste de Tukey para a comparação das médias de modo a determinar a diferença entre os briquetes a 5% de significância.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Análise dos parâmetros físicos, químico.

Os parâmetros físicos e químicos, foram obtidas a partir da análise imediata que refere-se a determinação do teor de água do material (humidade), o teor de material que se queima no estado gasoso (material volátil) e no estado sólido (carbono fixo), e também o teor de material residual após a combustão (Cinzas).

Os resultados acerca da análise imediata dos briquetes proveniente de resíduos de casca de coco carbonizado e confeccionados a diferentes tamanhos de partículas, em duas formas de secagem, estão descritos na Tabela 3, onde briquetes de maior granulometria, secados ao ar livres, apresentaram resultados mais satisfatórios em relação as outras.

Tabela 3- Resumo dos resultados referente a análise imediata dos briquetes produzidos a partir dos resíduos da casca de coco

| Secagem/granulometria | Humidade (%) |          | Material Volátil (%) |          | Teor de cinzas (%) |          | Carbono fixo (%) |          |
|-----------------------|--------------|----------|----------------------|----------|--------------------|----------|------------------|----------|
|                       | Estufa       | Ar livre | Estufa               | Ar livre | Estufa             | Ar livre | Estufa           | Ar livre |
| Tratamento 1 (1mm)    | 36%          | 18%      | 70%                  | 74%      | 25,5%              | 20,7%    | 4,5%             | 5,3%     |
| Tratamento 2 (2mm)    | 25%          | 16%      | 73%                  | 82%      | 14,8%              | 12,4%    | 3,2%             | 14,6%    |
| Tratamento 3 (4,75)   | 21%          | 19%      | 78%                  | 78%      | 4,6%               | 4,1%     | 17,4%            | 17,9%    |

De acordo com a Tabela 3, verificou-se que o teor de humidade perante a secagem em estufa tende a diminuir na medida que a faixa da granulometria aumenta, sendo que apresentaram valores que varia de 36% a 21%. Estes valores são distintos da margem pedrita na literatura para briquetes ligno-celulosos, estabelecido pelo Gonçalves *et al.*, (2009), onde afirmam que o teor de humidade dos briquetes deve estar na faixa entre 15 a 20%, porque um alto teor de humidade afecta o poder colorífico e consequentemente sua eficiência energética, e valores muito baixos de teor de humidade, podem levar à quebra do material ou perda total durante a combustão. Observa-se que os briquetes secados ao ar livre apresentaram um baixo teor de humidade, especialmente para as partículas de 2mm. A isso justifica-se porque a secagem ao ar livre proporciona maior vaporização da água em ar livre em relação em estufa, devido a incidência directa do sol, e circulação do vento sobre os briquetes.

Os briquetes secados em estufa apresentaram resultados similares aos encontrados por Miola *et al.*, (2020), que obteve 19% e 35,8% de humidade para os briquetes de resíduos de casca de coco com amido, sem tamanho das partículas especificadas. Estes resultados são totalmente distintos às encontradas por Silva (2020), que obteve teor de humidade de 12% e 14% para resíduos de casca de coco com partículas de 2 e 8mm. Perante aos resultados obtidos neste estudo para briquetes secados ao ar livre, são semelhantes aos resultados encontrados por Silveira (2008), para teor de humidade em briquetes de coco verde entre 12 e 15%, Esteves, Abud e Barcellos (2015), também encontraram valor similar para briquetes feitos com fibra e pó da casca do coco, de 12%. Sendo assim, o teor de humidade obtido no presente estudo pode comprometer na eficiência de queima do briquete, pois quanto maior o teor de humidade, menor será o poder calorífico.

O teor de materiais voláteis implica a facilidade de queima do resíduo ou a facilidade com que o combustível inicia a queima, observa-se na Tabela 3, que o briquete secado em estufas tem a tendência de aumentar na medida que aumentamos os tamanhos das partículas, onde variaram de 71% a 78% valores próximos obtidos por Barros (2015), para briquetes de fibra de coco de 77,1% de material volátil. Os briquetes secados ao ar livre apresentaram maiores teores de materiais volateais em relação aos secados em estufa devido existência do baixo teor de humidade.

Nota-se que os briquetes confeccionados a uma granulometria de 2mm, secados ao ar livre apresentou o maior teor de material volátil de 82%, relaciona-se pelo facto dos mesmos apresentarem o menor teor de humidade. Verifica-se que o briquete confeccionado por partículas de 4,75mm obteve o mesmo teor de material volátil em ambas formas de secagem, justifica-se pelo facto de não haver influência da secagem para partículas de 4,75mm em relação a o teor de material volátil.

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo comparados aos teores de materiais voláteis encontrados por Silva (2007), nos resíduos de madeira, para produção de briquetes (sem espécie definida), obteve a média de 78,66%, de material volátil, nota-se não haver grandes diferenças já que todos os valores estavam na faixa de 70% a 85%. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Esteves, Abud e Barcellos, (2015) que encontraram o valor de

79% Material Volátil, para a biomassa da casca de coco verde.

Perante aos resultados de teor de material volátil obtidos pelo Vieira *et al.* (2012) para briquetes produzidos por finos de carvão vegetal de 31,2% foram baixos, sem causas identificadas, pois o uso de finos de carvão vegetal com granulometria média abaixo de 5 mm provoca a elevação nos teores de materiais voláteis dos briquetes, sendo assim Silveira (2008), estabelece que o teor de matérias voláteis dos briquetes devem estar na faixa de 85% a 95%, valores não encontrados nesse estudo pelo facto de uso de partículas muito finas, que apresentaram um baixo índice de porosidade, por tanto a baixa porosidade dificulta a queima devido ao menor número de espaços livres para a difusão do calor.

O teor de voláteis é um índice importante para a avaliação dos briquetes, pois indica a percentagem de materiais com potencial de geração de calor, portanto o teor de voláteis e o teor de cinzas (ou inertes) fornecem informações aproximadas da combustibilidade dos resíduos (Gonçalves, 2009).

Segundo Dias *et al.* (2012), os teores de cinzas de resíduos agrícolas são elevados, devido à presença de uma maior quantidade de substâncias inorgânicas, quando comparados com a madeira, principalmente madeira de eucalipto que tem teores inferiores a 1%, com menor teor de cinzas, mas elevado será o teor de material volátil, ou seja o teor de cinzas corresponde à percentagem de material inerte, que não produz calor.

Verifica-se na Tabela 3, que o teor de cinzas dos briquetes tende a diminuir na medida que aumenta o tamanho das partículas, quanto menor for o teor de cinzas maior será a quantidade de materiais combustíveis, conseqüentemente, proporcionaram um alto poder calorífico, visto que os materiais minerais não participam do processo de combustão (Brand, 2010). Os briquetes secados ao ar livre apresentaram um baixo teor de cinzas em relação aos secados em estufa, visto que biomassa confeccionada com maior partículas 4,75mm, apresentaram menor teor de cinzas ambas pertenceram na margem de 4%, valores aceites pela literatura, estabelecido por Made (2009), que o teor de cinzas não pode ser superior a 5%, esses resultados são menores encontrados por Esteves (2014) para briquete de fibra de coco verde, que apresentou valores de 3,06% de teor de cinzas, valores similares aos encontrados pela Silva (2020), que obteve um teor de cinzas de médio de 5,40%.

Altos teores de cinzas podem levar também à corrosão do queimador e a desgastes de todos os

equipamentos por abrasão. Dos resultados obtidos para briquetes de partículas de 4,75mm, são totalmente distintos dos encontrados por Marcelino (2018), para briquetes produzidos a partir de resíduos de casca de coco, que obteve teores de cinzas de 13%, resultados totalmente semelhantes aos briquetes com partículas de 2mm. Os briquetes de granulometria de 1mm apresentaram maiores teor de cinzas, estes resultados são similares aos encontrados por Miola *et al.* (2020) que 23,4% de teor de cinzas. Pimenta *et al.*, (2015), ao produzirem briquetes a partir de finos de carvão de casca de coco obtiveram valores de teor de cinzas 36,93%. A possível causa associa-se a elevada quantidade do material ligante e aos elementos que dão origem as cinzas, que são bastante encontrados na casca de coco.

Quando o teor de cinzas se apresenta elevado, reduz-se o poder calorífico superior (PCS), que possui relação directa com a composição química da matéria-prima queimada Dias *et al.*, (2012). No caso da casca do coco, o poder calorífico é baixo por causa do teor de cinzas, isso já indica um resultado não bom para o poder calorífico de briquetes de menores partículas.

O teor de carbono fixo é um importante indicador quando a finalidade é a geração de calor, pois quanto maior o carbono fixo, maior o calor gerado. Segundo Brito e Barrichello (1982), o teor de carbono fixo presente em biomassa deve ser de 15 a 25%. Perante os resultados encontradas neste estudo conforme a Tabela 4, somente os briquetes confeccionados com granulometria de 4.75mm, estão dentro da faixa pedrita pela literatura, pelo facto de que o teor de carbono fixo apresentarem uma relação directa com teor de cinzas, pois quanto mais alto for o teor de cinzas mais baixo será o teor de carbono fixo. Nota-se que alta concentração de teor de cinzas encontradas nos briquetes confeccionados com partículas menores de 1mm e 2mm, que afectaram negativamente o teor de carbono fixo.

Quando se obtêm resultados muito elevados de teor de carbono fixo, afecta directamente a combustão, com a queima mais lenta e, conseqüentemente, implicando maior tempo de residência nos aparelhos de queima em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo (Brito; Barrichello, 1982).

O teor de carbono fixo encontrado por Silva (2020), foi de 17,4%, Marozzi (2012), realizou estudo com várias biomassas, como casca de arroz, bagaço de cana e sabugo de milho, e identificou variação de 17 a 21% de carbono fixo, Esteves (2014) obteve teor de carbono fixo de 23,4% para briquetes de casca de coco, (Barros, 2012; Vale *et al.*, 2017) obteve teor de carbono

fixo de 23%.

Entretanto, a literatura aponta que, até certo ponto, quanto maior for o teor de carbono fixo, maior será o poder calorífico (Andrade *et al.*, 2004; Dias júnior, 2016; Protásio *et al.*, 2012). Os briquetes secados ao ar livre apresentaram teores de carbono fixo aceitáveis devido a ligação existente entre o carbono fixo com o teor de cinzas e o material volátil, ou seja o baixo teor de cinzas e o alto teor de material volátil condicionaram um teor de carbono fixo positivo.

#### 4.1.1. Análise do poder calorífico

Os resultados inerentes a análise calorífica dos briquetes de resíduos casca de coco estão ilustrados na Tabela 4, onde os briquetes confeccionados com maiores partículas e secados ao ar livre, apresentaram melhor resultados em relação aos briquetes confeccionados com menores partículas e secados em estufa.

Tabela 4- Análise calorífica dos briquetes

| Secagem/Granulometria | Poder calorífico superior em MJ/kg |          | Poder calorífico inferior em MJ/kg |          |
|-----------------------|------------------------------------|----------|------------------------------------|----------|
|                       | Estufa                             | Ar livre | Estufa                             | Ar livre |
| Tratamento 1 (1mm)    | 7,7                                | 12,26    | 6,3                                | 11,0     |
| Tratamento 2 (2mm)    | 12,2                               | 14,32    | 10,7                               | 13,0     |
| Tratamento 3 (4.75mm) | 14,9                               | 15,38    | 13,5                               | 13,9     |

De acordo com a Tabela 4, observa-se que os valores de poder calorífico superior e inferior tendem a aumentar na medida que aumentamos a nossa faixa granulométrica. Justifica-se pelo facto de que os briquetes com maiores valores de poder calorífico estarem associados aos maiores valores de carbono fixo, observando-se o contrário para o teor Cinzas Protásio *et al.* (2012). O alto poder calorífico do briquete é a quantidade de calor que desprende 1 kg de combustível quando de sua combustão completa. Carvalho (2010), afirma que quanto maior for o poder calorífico superior, maior será a energia contida no combustível. E o poder calorífico inferior é a quantidade de calor necessária para produzir 1kg de combustível, através da combustão deste com o excesso de ar e gases de descarga, resfriados até o ponto de ebulição da água, evitando sua condensação.

Segundo Silveira (2008), uma quantidade de poder calorífico superior considerada suficiente

para a combustão compreende entre 4,300 e 5,000 kcal/kg. Dias *et al.*, (2012), sugerem que o poder calorífico dos briquetes de madeira e resíduos agro-industriais, os valores devem ser encontrados na faixa de 17-18 mj/kg de PCS e 15,4-16,5 mj/kg de PCI. No presente estudo, o valor encontrado para biomassa de resíduo de casca de coco, maiores foi de 15,38 mj/kg, ou 3,741 kcal/kg, um pouco abaixo do recomendável, estes valores similares encontrados por Vale *et al.* (2012) que obteve um poder calorífico superior de 13,6 mj/kg, ou 3,248 kcal/kg e inferior de 12,4 mj/kg. Miola *et al.* (2020), obtiveram um poder calórico 15,6 mj/kg para os briquetes do mesmo material com aglutinante água e de 11,7 MJ/kg para o briquete com amido, ou 3,725 e 2,794 kcal/kg respectivamente. Pimenta *et al.*, (2015) ao produzir briquetes a partir de carvão de cascas de coco alcançou valores de poder calorífico superior de 15,443 mj/kg e 15,133 mj/kg ou 3,617 kcal/kg para os tratamentos 12/12 e 12/15 de proporção de amido e argila usado como aglutinante em relação ao peso seco total da biomassa respectivamente. Estes resultados são semelhantes aos encontrados neste estudo para briquetes de maiores partículas. Esteves, Abud e Barcellos (2015), apresentam valores acima em relação ao presente estudo em biomassa de coco de dois estados, pó e fibra, de 18,7 mj/kg ou 4.466 kcal/kg.

Os resultados obtidos neste estudo em relação a literatura foram inferiores devido a existência da dependência entre os parâmetros, pois o poder calorífico está directamente associada à quantidade de carbono fixo e materiais voláteis, e é inversamente proporcional ao teor de cinzas e à presença de humidade (Miola *et al.*, 2020). O alto teor de cinza e teor de humidade de certa forma afectaram negativamente o poder calorífico dos briquetes, especialmente para as partículas mais finas, que apresentaram valores totalmente baixos.

#### **4.1.2. Análise da densidade aparente e energética**

A Tabela 5 ilustra os valores dos resultados inerentes a densidade aparente e energética, sobre as diferentes formas de granulometrias e secagem. Os briquetes de partículas apresentaram maior densidade em relação a outras.

Tabela 5-Análise da densidade dos briquetes

| Granulometria/Secagem | Densidade aparente $g/cm^3$ |          | Densidade energética $MJ/m^3$ |          |
|-----------------------|-----------------------------|----------|-------------------------------|----------|
|                       | Estufa                      | Ar livre | Estufa                        | Ar livre |
| Tratamento 1 (1mm)    | 1,01                        | 0,99     | 7777,00                       | 12137,40 |
| Tratamento 2 (2mm)    | 0,99                        | 0,97     | 12078,00                      | 13890,40 |
| Tratamento 3 (4,75mm) | 1,06                        | 1,01     | 15794,00                      | 15533,80 |

Segundo Dias *et al.* (2012), quanto maior a densidade, maior a razão energia/volume. Somado a isso, produtos de maiores densidades são desejáveis em termos de transporte, armazenamento e manuseio dos briquetes. Os briquetes em geral apresentam uma densidade aparente que varia entre 0,5 a 1,2  $g/cm^3$ . Perante os resultados encontrados neste estudo, como ilustra na Tabela 5, a densidade aparente dos briquetes variaram de 0,99 a 1,06  $g/cm^3$ . Desta forma a secagem em estufa convencional, proporcionou maior densidade aparente aos briquetes em relação a secagem em feita ao ar livre, que apresentou uma variação de densidade aparente de 0,97 a 1,01 $g/cm^3$ , valores totalmente distintos da literatura. Quanto maior a densidade do briquetes, melhor será a qualidade do mesmo, pois se reflecte em maior peso de material para combustão em um mesmo volume, o que facilita a logística de transporte. Esses valores são similares encontrados por Silva (2020), onde obteve a densidade aparente de 0,99 $g/cm^3$  para briquetes de casca de coco de 8mm. Nones *et al.*, (2017), obtiveram uma densidade aparente de 0,89 $g/cm^3$  para mesmo material sobre as mesmas condições. Miola *et al.*, (2020), obteve resultados de densidade aparente do mesmo material com aglutinante de amido de 0,431 $g/cm^3$ . Os valores de densidade obtidas por Esteves, Abud e Barcellos (2015), para os briquetes do pó de coco e de fibra de coco apresentaram valores 0,5 $g/cm^3$ .

A alta densidade, justifica-se pelo facto de que os briquetes com partículas menores que 5mm apresentarem uma baixa porosidade, e que consequentemente resultam em briquetes muito densos dessa forma a taxa de combustão dos produtos muito densos, proporciona um maior período de combustão.

A densidade energética é uma característica de suma importância para avaliar a qualidade dos briquetes, uma vez que é resultado das características de maior interesse: a densidade e o poder calorífico. De acordo com os resultados obtidos nesse estudo as partículas de menor granulometrias, apresentaram a menor densidade energética, por apresentarem um poder

calorífico superior baixo. Estes resultados são similares aos encontrados por Esteves (2014), que gerou valores de 9419,70 e 9735,00  $\text{mj/m}^3$  para os briquetes de pó e fibra respectivamente, e superiores aos encontrados por Silva (2020), que obteve 9435  $\text{mj/m}^3$  (convertido a 2,25 $\text{Gcal/m}^3$ ) para briquetes de mesmo material. (Souza e Vale, 2016) obtiveram Valores de densidade energética entre 12500 e 19500  $\text{mj/m}^3$  (convertidos a 3,95 e 4,27  $\text{Gcal/m}^3$ ) em briquetes fabricados com seis tipos de biomassas, entre elas a madeiras e resíduos agrícolas.

Nota-se na Tabela 5, que os briquetes com maiores partículas apresentaram maior densidade energética sendo que o valor mais alto foi de 15794,00  $\text{mj/m}^3$ , (convertido a 3,775 $\text{Gcal/m}^3$ ). Estes valores são semelhantes aos encontrados por Barros (2015), de 3,10 $\text{Gcal/m}^3$  de densidade energética.

A densidade energética caracteriza quantas energia têm uma unidade de volume do briquete. Quanto maior essa característica maior o potencial desse biocombustível. A densidade energética é proporcional à densidade aparente dos briquetes. Os briquetes de casca de coco verde apresentam vantagem energética quando comparado à lenha, que possui densidade energética de 3224,00 a 4187,00  $\text{MJ/m}^3$ . Este resultado confirma a observação feita (Oliveira, 2012), de que a compactação de resíduos de base ligno-celulósicos gera briquetes com 2 a 5 vezes mais densidade de energética que a lenha.

#### **4.2. Análise dos efeitos da granulometria e secagem sobre a análise imediata**

A Tabela 6 apresenta a comparação das médias sobre os parâmetros físicos e químicos dos briquetes. Dos resultados, observa-se que não existe uma tendência clara do efeito das condições sobre a interação entre a biomassa e a granulometria sobre o teor de humidade, teor de material volátil e carbono fixo, aplicado o teste de *Tukey* a nível de 5% de significância, não havendo diferença significativa estatisticamente entre os tratamentos, pelo facto de não haver grande diferenças nos tamanhos da partículas, segundo Petriscoski (2017), geralmente são aceitável granulometria entre 5 e 10 mm para a produção de briquetes.

Para mais detalhes sobre os valores da análise de variância e teste de Tukey, ver o apêndice da (Tabela 8 a 17 e Gráficos 2 a 6) referente a Anova, normalidade e Tukey a um nível de significância de 5% dos diferentes tratamentos e fases da experimentação.

Tabela 6-Teste de Tukey a 5% de significância para análise imediata e seus respectivos desvios padrão

| Granulometria          | Teor de<br>humidade (%)     | de<br>Teor de material<br>volátil (%) | Teor de cinzas<br>(%)  | Carbono<br>fixo<br>(%) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Tratamento 1 (1mm)     | 27 <sup>a</sup> ± 1.52      | 72 <sup>a</sup> ± 0.49                | 23 <sup>a</sup> ± 1.43 | 4 <sup>a</sup> ± 0.52  |
| Tratamento 2 (2mm)     | 20 <sup>a</sup> ± 0.46      | 77 <sup>a</sup> ± 0.63                | 13 <sup>b</sup> ± 1.47 | 8 <sup>a</sup> ± 0.26  |
| Tratamento<br>(4.75mm) | 3<br>20 <sup>a</sup> ± 0.42 | 78 <sup>a</sup> ± 1.73                | 4 <sup>c</sup> ± 1.53  | 4 <sup>a</sup> ± 0.46  |

*Médias que compartilham a mesma letra em cada linha não diferem entre si com base no teste de Tukey a nível de significância de 5%.*

Perante os resultados verificados na Tabela 6, nota-se uma semelhança entre os valores médios dos tratamentos para o teor de humidade, material volátil e de carbono fixo. Estes resultados indicam a necessidade de aumentar o tamanho das partículas, vistos que ambos estavam abaixo de 5mm, que é o nível mínimo estabelecido pela literatura.

Diante dos resultados obtidos nota-se que a interação entre a biomassa e granulometria com 95% de confiança de perante o teor de cinzas foram estatisticamente significativa, justifica-se Pelo facto de não haver uma dependência directa de teor de cinzas em relação aos outros parâmetros. Nota-se que os valores médios de teor de cinzas, tendem a diminuir uniformemente quando o tamanho da partícula aumenta, conforme ilustra o Gráfico 1.

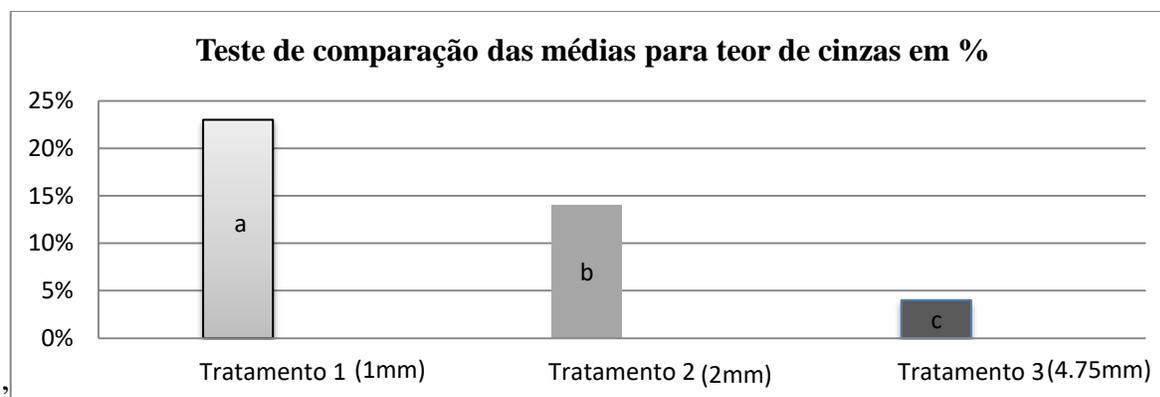


Gráfico 1-Teste de Tukey para teor de cinzas

*Médias que não compartilham a mesma letra diferem entre si com base no teste de Tukey a nível de significância de 5%.*

Verificou-se no Gráfico 1, que os resultados médios de teor de cinzas estão acima de 4% o que indica que a percentagem do teor de cinzas é alta. A diferença existente entre as médias dos tratamentos é pelo facto de haver a alteração da composição dos materiais que dão a origem as cinzas na medida que alteramos os tamanhos das partículas, assim apresentando diferentes tipos de cinzas, conforme ilustrado na Figura 8, encontrados na página 30.

#### 4.2.1. Análise dos efeitos da secagem e granulometria sobre o poder calorífico e densidade

A Tabela 7 abaixo ilustra os resultados do teste de comparação de média da análise energética conservado pelo teste de Tukey a nível de significância de 5%. Observa-se que na comparação das médias sobre os parâmetros acima ilustrado, nota-se a não existência de diferença significativa estatisticamente, sobre a interacção entre a biomassa e a granulometria.

Tabela 7- Teste de Tukey para parâmetros energéticos e seus respectivos desvios padrão

| Granulometria | Poder calorífico superior MJ/kg | Poder calorífico Inferior MJ/kg | Densidade aparente g/cm <sup>3</sup> | Densidade energética MJ/m <sup>3</sup> |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--|
| Tratamento 1  | 9,980 <sup>a</sup> ± 0.23       | 8,65 <sup>a</sup> ± 1.71        | 1,0 <sup>a</sup> ± 0.00              | 9957,2 <sup>a</sup> ± 0.28             |
| Tratamento 2  | 13,26 <sup>a</sup> ± 0.30       | 11,85 <sup>a</sup> ± 2.68       | 0.98 <sup>a</sup> ± 0.03             | 12984,2 <sup>a</sup> ± 0.34            |
| Tratamento 3  | 15,14 <sup>a</sup> ± 0.63       | 13,70 <sup>a</sup> ± 1.71       | 1,035 <sup>a</sup> ± 0.00            | 15663,9 <sup>a</sup> ± 0.35            |

*Médias que compartilham a mesma letra em cada linha não diferem entre si com base no teste de Tukey a nível de*

*significância de 5%.*

Diante dos resultados obtidos na Tabela 7, observar-se que as médias dos tratamentos do poder calorífico e a densidade não diferiram entre si, pelo facto de haver uma relação de ligação entre os parâmetros anterior, ou seja os resultados obtidos perante análise imediata condiciona o resultado do poder calorífico e consequentemente a densidade. Padila *et al.*, (2016), não obteve médias com diferenças significativas do poder calorífico e a densidade, pelo facto de ter usado tamanhos de partículas menores que 5mm, semelhantes ao este estudo.

## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo sobre o aproveitamento energético dos resíduos da casca de coco em forma de briquetes, conclui-se que, não existem diferença significativa entre a granulometria e a secagem, quanto ao desempenho energéticos dos briquetes.

A produção fez-se manualmente por meio de uma briquetadeira manual de 6 bocas, aplicada uma força de  $147\text{kfc}^{-1}$ .

Portanto sobre a influência da granulometria no desempenho energético dos briquetes, observou-se que os briquetes com partículas maiores, apresentaram características favoráveis em relação briquetes de partículas de tamanhos menores, assim apresentado o maior desempenho energético, e quanto sobre a influência da secagem, os briquetes secados ao ar livre apresentaram melhores resultados em relação ao briquete secado em estufa, desta forma a secagem apresenta influência directa no desempenho energético de briquetes.

Estes resultados, demonstraram que os briquetes de maior partículas (4,75), secados ao ar livre apresentaram o maior desempenho energético, sendo que apresentaram propriedades que atendem as especificações estabelecidas pela literatura, desta forma podendo ser um substituto ideal para o combustível lenhoso existente no país..

## **6. RECOMENDAÇÕES**

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo recomenda-se:

### **I. Para o país:**

- O uso dos briquetes da casca de coco como fonte energética para o múltiplo uso em diferentes sectores do país, sendo que os mesmos apresentam características semelhantes às outras fontes energéticas existentes como a lenha e carvão.

### **II. Para produtores:**

- A valorizar dos resíduos da casca de coco e outros resíduos agro-florestais, por meio da produção de briquetes, do modo a valorizar e agregando valores;
- A secagem em ar livre em relação a estufas convencionais, e o uso de tamanhos de partículas maiores que 4.

### **III. Para os próximos pesquisadores**

- O uso de prensas mais industrializadas para a produção de briquetes, do modo a proporcionar melhor compactação e a existência de uniformidades dos briquetes;
- Estudos sobre a influência da compactação e os efeitos dos aglutinantes no desempenho energético e na qualidade dos briquetes, incluído a análise de viabilidade técnica, económica e ambiental;
- A quantificação do rendimento da matéria-prima perante a carbonização, e fazer comparações em relação ao combustível lenhoso usado no país;
- Estudos sobre aspectos e parâmetros relacionados a resistências mecânicas dos briquetes de casca de coco e avaliação do índice de combustão.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACIS. (2011). *quadro legal para emprego e migracao mocambique* (Vol. III). maputo.
- AMARAL, F. C., & TAVARES, S. R. ( 2013). *Diferença do teor de fibra da Cana-de-açúcar para fins energéticos motivada pelo bioma. Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos.*
- ANDRADE, A. M., PASSOS, P. R., MARQUES, L. G., OLIVEIRA, L. B., VIDAURRE, g. B., & ROCHA, J. d. (2004). *Pirólise de resíduos do coco-da-baia (Cocos nucifera Linn) e análise do carvão vegetal.* Viçosa: Revista Àrvore.v28,n5,.
- ANDRADE, L. F., & BIGATON, R. P. (2016). *Briquetagem de bagaço de cana-de-açúcar.* Universidade Federal da Grande: Dourados.
- ANEEL), A. n. (2011). *Segundo ciclo de revisao tarifaria periodica das concessionarios de distribuicao de energia electrica.* Brasilia.
- BARROS, L. (2013). *ensidade energética de briquetes produzidos.* Brasília: Universidade de Brasília.
- BARROS, L. (2015). *Densidade energética de briquetes produzidos.* Brasília: Universidade de Brasília.
- BENEDITO CUNGUARA, J. G. (2013). *Análise situacional, constrangimentos e.* Maputo, Moçambique: Direcção de Economia, Ministério da Agricultura.
- BERTOLO, L. R., QUEIROZ, P. N., LINO, R. Y., GARCIA, V. R., VAZ, W. A., & SANTOS, W. I. (2010). *Desenvolvimento de briquetes com folhas de árvores geradoras de energia térmica.* senai-sao paulo: revista Eletrônica de Educação e Tecnologia.
- BIOMACHINE. (2007). *briquetes.*Disponível em: <<http://www.biomachine.com.br/biomachine.asp>>. acesso a 01 de agosto de 2022.
- BIOMAX. (2007). *Briquetes.*Disponível em: <<http://www.biomachine.com.br/biomachine.asp>>. acesso a 21 de julho de 2022.

- BORGHI, M. M. (2012). *Efeito da granulometria na avaliação dos briquetes*. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Jerônimo Monteiro, ES.
- BRAND, M. A. (2010). *Energia de Biomassa Florestal*. Rio de Janeiro: Interciência.
- BRÍGIDA MIOLA, M. M. (2020). *Aproveitamento energético dos resíduos de cascas de coco verde para produção de briquetes*. Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza – Fortaleza (CE), Brasil.
- BRITO, L. B. (1982). *Carvão vegetal de madeira* (Vol. 146). Piracicaba.
- CAIRES, R. R. (2010). *briquetagem de resíduos – biomassa*. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Campinas.
- CAMPOS. (2008). *Carvão de Eucalyptus: Efeitos dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR*.
- CHAVES, A. D. (2013). *A importância dos levantamentos florístico e fitossociológico para a conservação e preservação das florestas*. Campinas, Brasil.
- COLLARES, D., & PAULA, S. (2015). *Propostas para o aproveitamento do potencial energético da casca do coco-verde*. .
- CORTEZ, L. A., LORA, E. E., & GÓMEZ, E. O. (2008). *Biomassa para Energia*. Campinas, sp: UNICAMP.
- COSTA, G. P., & MORAES, J. T. (2011). *Fabricação de Briquetes como Alternativa para Destinação Adequada dos Resíduos de Madeira na Indústria Moveleira no. Vitória*.
- COUTO, L. C., COUTO, L., WATZLAWICK, L. F., & CÂMARA. (2004). *Vias de valorização energética da biomassa*. *Biomassa e Energia/Rede nacional de*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa.
- CUGALA D, L. M. (2012). *Economic injury level of the oriental fruit fly, Bactrocera dorsalis (Diptera: Tephritidae), on commercial mango farms in Manica province, Mozambique*.
- D.B., M., & SERRA, J. (2012). *Glicerina: uma abordagem sobre a produção e o tratamento*.

*Revista Liberato, Novo Hamburgo.*

- DEL GATTO, F. (2003). *Forest law enforcement in Mozambique – An overview, DNFFB and FAO*,. Maputo, Mozambique.
- DERMIBAS, K., & SAHIN-DERMIBAS, A. ( 2009). *Compacting biomass for energy densification. Energy Sources Part A-Recovery Utilization and Environmental Effects, Philadelphia*,.
- DIAS JÚNIOR, F. A. ( 2016). *Produção de briquetes de moinha de carvão vegetal e resíduos lignocelulósicos visando uso bioenergético; Sci. For., Piracicaba, v. 44, n. 110.*
- DIAS, J. (2012). *Produção de briquetes e peletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. brasil*.
- DIAS, M. L. (2007). *Reciclagem de PET e polímeros biodegradáveis. Propriedades térmicas.*
- DNTF, D. N. (2009). *Relatório Anual 2008.DNTF, Ministério da Agricultura. Maputo, Moçambique.*
- PADILLA, I. C. (2016). *Produção e Caracterização Físico-Mecânica de Briquetes de Fibra de Coco e Palha de Cana-de-Açúcar. sorocaba-sao paulo, brasil: revista virtual de quimica.*
- ENERGY, B. A. (2012). *bioenergy – biomass . Brazil.*
- ESTEVES, M. (2014). *estudo do pontencial energeticoe aproveitamento das cascas de coco verde para producao de briquete. alagoas, maceio: universidade federal de alagoas.*
- ESTEVES, M. R., ABUD, A. K., & BARCELLOS, K. M. (2015). *Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes (Vol. 11). Maceió, -ALAGOAS, Brasil: SCIENTIA PLENA.*
- F., Q. W. (2003). *Utilização Energética de Resíduos Vegetais, LPF/IBAMA. Fundação de Tecnologia Florestal e Geoprocessamento. Brasília.*
- FALCAO, D. M. (2013). *Produção e Consumo Doméstico de Combustíveis Lenhosos em Moçambique. Faculdade de Ciências e Tecnologia-Lisboa : Universidade Nova de*

Lisboa.

FAO. (2003a). Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/country/57478/en/moz/> e acessado em 04.08.2022.

FERNANDES, A. M. (2014). *Análise da produção de madeira para o fornecimento sustentável de energia doméstica aos centros urbanos de Moçambique. Tese de Doutorado.* Curitiba: UFPR.

FURTADO, M. V. (2012). *variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal.* brasil.

GENTIL, L. (2008). *Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira.* Brasília: Universidade de BRASÍLIA.

GONÇALVES, F. B., YAMAJI, F. M., FERNANDEZ, B. O., RÓZ, A. L., & FLORIANO, F. (2013). *Caracterização e comparação entre diferentes granulometrias de serragem de Eucalyptus grandis para confecção de briquetes.* . Brasil: Revista Instituto Florestal.

GONÇALVES, J., SARTORI, M. P., & LEÃO, A. (2008). *Energia de.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.

LEITE, C. e. (2006). *cultura corporativa.* RAP Rio de Janeiro.

LIPPEL. (2014). *lançando Uma Usina de Briquetagem.*

LOO, S. K. ( 2008). *The handbook of biomass combustion and co-firing.* London: Earthscan, 2008.

LOPES, F. R. (1988). *Trabalho subordinado ou trabalho autónomo: um problema de qualificação.* portugal .

MACEDO, L. B. (2015). *Propriedades físicas de painéis aglomerados de madeira.*

MACHADO, F. S., & ANDRADE, A. M. ( 2004). *Propriedades termoquímicas dos finos de carvão vegetal e de carvão mineral, para a injeção nas ventaneiras de altos-fornos*

- siderúrgicos. Biomassa & Energia, v. 1, n. 4.*
- MAE. (2005). *Perfil do Distrito de Chókwè Província de Gaza.*
- MAGALHAES, T. M. (2018). *Inventário florestal nacional.* Maputo.
- MARINHO, N. P. (2012). *Análise química do bambu-gigante (Dendrocalamus giganteus).*
- MAROZZI, C. (2012). *Caracterização de resíduos agroindustriais e florestais visando a briquetagem.* Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro: Centro de Ciências Agrárias.
- MARTINS, M. P., BENICIO, E. L., DIAS JÚNIOR, A. F., ALMEIDA, R. B., & CARVALHO, A. M. (2016). *Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e celulose. Revista Árvore, Viçosa, v. 40, n. 1, p.*
- MATARUCA, M. J. (2014). *avaliacao do efeito da aplicação de produtos naturais no controlo da mosca-branca no conqueiro.* Universidade Eduardo Mondlane, FAEF: Maputo.
- MATTOS, B. D. (2013). *ratamento da madeira de duas espécies florestais por polimerização in situ de monômeros metacrilatos.* Universidade Federal de Pelotas: Pelotas.
- MELO, S. (2000). *rodução de briquetes de carvão vegetal com alcatrão de madeira. 2000. 96p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, .*
- MENEZES, M. (2013). *Poder Calorífico e Análise Imediata da Maravalha de Pinus (Pinus sp) e araucária (Araucaria angustifolia) de reflorestamento como Resíduos de Madeireira. 65p.*
- MESA, J. M., OLIVARES, E., BARBOZA, L. A., & BROSSARD, L. E. (2003). *irólise rápida em leito fluidizado: uma opção para transformar biomassa em energia limpa. Revista Analytica, São Paulo, n. 4, p. 32-36.*
- MIOLA, M. M. (2020). *aproveitamento energético dos resíduos de cascas de coco verde para produção de briquetes. Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza – Fortaleza (CE), Brasil.*

- MORAES, C. H. (2011). *processo e dispositivos para fabricação de briquetes a partir de finos de carvão vegetal com aglomerante a base de extracto de frutos de palmeiras da espécie syagrus*. Brasil.
- MORAIS, M. R., & FREITAS, K. T. (2006). *Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. Encontro de energia no meio rural*. Campinas.
- MORAIS, M. S. (2006). *Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. Encontro de energia no meio rural*. campinas.
- NASCIMENTO, J. C. (2011). *eterminação da atividade antioxidante pelo método DPPH e doseamento de flavonóides totais em extratos de folhas da Bauhinia variegata L. Revista Brasileira de Farmácia*.
- NUNES, A. P. (2018). *participação genótipo da leishmania brasiliana na forma dessimada leishmaniose tegumentar*. Brasil.
- NBR2144., A. B.-A. (2001). *Papel, cartão epastas celulósicas - Determinação do resíduo (cinza) da incineração a 900 °C Rio de janeiro*.
- OLIVEIRA, S. V., & WAQUIL, P. D. (2015). *Dynamics of production and commercialization of yerba mate in Rio Grande do Sul, Brazil. Ciência Rural, v. 45, n. 4, p.750–756.*
- PEREIRA, B. L. (2013). *Estudo da degradação térmica da madeira de Eucalyptus através de termogravimetria e calorimetria. Revista Árvore, v. 37, n. 3, p. 567–57*.
- PETRICOSKI, S. M. (2017). *Briquetes produzidos com mistura de podas urbanas, glicerina e resíduos de processamento de mandioca. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura para obtenção do Título de Mestra*. Paraná: Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- PIMENTA, A. e. (2015). *Utilização de resíduos de coco (Cocos nucifera) carbonizado para a produção de briquetes. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n.1*.
- QUIRINO, W. F., & BRITO, J. O. (1991). *Dissertação de Mestrado*,. Universidade de São

Paulo.

- RAMBO, M. K., SCHMIDT, F. L., & FERREIRA, M. M. (2015). *Analysis of the lignocellulosic components of biomass residues for biorefinery opportunities. Talanta* .
- ROCHA, A. M., SILVA, M. S., FERNANDES, F. M., SOARES, P. M., & KONISHI, F. (2015). *Aproveitamento de fibra de coco para fins energéticos: revisão e* . São Paulo.
- ROCHA, A. M., SILVA, M. S., RIBEIRO, C. D., YAMAJI, F. M., & VENDRASCIO, L. (2010). *Efeito da granulometria nas propriedades físico-mecânico de briquetes de pinus SP. Anais do V Congresso Internacional de Bioenergia*,. Curitiba.
- RODRIGUES, G., HELMER, L. J., DEVENS, M. C., & FONSECA, P. R. (2017). *Produção de briquetes para queima utilizando finos da produção de carvão vegetal e glicerina*. Bahia : Universidade Federal da Bahia -UFBA.
- ROSA, R. A., ARANTES, M. D., PAES, J. B., ANDRADE, W. S., & MOULIN, J. (2012). *Qualidade do carvão vegetal para uso doméstico. Journal of Biotechnology and Biodiversity*.
- ROTÁSIO, T. P., BUFALINO, L., TONOLI, G. H., COUTO, A. M., & TRUGILHO, P. F. (2011). *Guimarães Júnior, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. Pesquisa Florestal Brasileira* .
- SANT'ANNA, M. C., LOPES, D. F., CARVALHO, J. B., & SILVA, G. F. (2012). *caracterização de briquetes obtidos com resíduos da agroindústria*. Campina Grande: Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais.
- SANTOS, F. A. (2014). *timização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando a produção de etanol celulósico. Química Nova*, v. 37.
- SANTOS, R. e. (2016). *Polpação kraft e kraft/aa da madeira pré-hidrolisada de híbrido Eucalyptus urophylla x grandis. Ciência Florestal*, v. 26, n. 4, p. 1281–1290 .
- SILBERSTEIN, E. (2012). *E. UnB mapeia matérias primas para a fabricação de briquetes*  
*Disponível*

em: <[http://www.unbciencia.unb.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=366:unb-mapeia-materias-primas-para-a-abricao-de-briquetes&catid=41:florestal](http://www.unbciencia.unb.br/index.php?option=com_content&view=article&id=366:unb-mapeia-materias-primas-para-a-abricao-de-briquetes&catid=41:florestal)>. Acesso em: 29 jul.2012. Faculdade de Agronomia da Unb.

SILVA, D. A., YAMAJI, F. M., BARROS, J. L., RÓS, A. L., & NAKASHIMA, G. T. (2015). *Caracterização de biomassas para a briquetagem*. brasil .

SILVA, R. G. (2020). *Producao e caracterizacao de briquetes de biomassas lignocelulosicas em diferentes granulometrias* . Rio Largo, AL: UFAL.

SILVEIRA, M. S. (2008). *aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em salvador - BA*. Salvador.

SOARES, L. S., MORIS, V. A., YAMAJI, F. M., & PAIVA, J. M. (2015). *Utilização de Resíduos de Borra de Café e Serragem na Moldagem de Briquetes e Avaliação de Propriedades*. Matéria. Rio de Janeiro. .

SOARES, V. e. (2014). *orrelações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de Eucalipto*. Revista *Árvore*, Viçosa, v.38. .

SOUSA, F., & VALE, A. T. (2016). *Densidade energeticas de briquetes de biomassa llignocelulosicos e sua relacao com os parametros de briquetagem*. pesquisa florestal brasileira .

TÉCNICAS-ABNT, A. B. (2004). *Resíduos Sólidos-Classificação*. NBR 10.004. Rio de Janeiro.

TEIXEIRA, S., PENA, A., & MIGUEL, A. (2010). *Briquetting of charcoal from sugar-cane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel*. *Waste Management*. .

TEMMERMAN, M. e. (2006). *Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes*. *Biomass and Bioenergy*, Oxford .

VALE, A. T. (2004). *Caracterização da biomassa e do carvão vegetal do coco-da-baía (cocos*.

VASSILEV, S. (2010). *na overview of the chemical composition of biomasse. fuel*. UK.

VENDRASCO, M. J. (2010). *Detailed descriptions of the localities and. processing of*

*specimens are provided in. Australia.*

VIEIRA, S. M., CARVALHO, C., & TRINDADE, L. (2017). *producao de carvao vegetal apartir de carbonizacao de capim elefante(pennisetia purpureum schum. brasil : the journal of engineering and exact sciencies.*

VIOLA, N. M. (2012). *Produção e caracterização física e mecânica de compósito plástico made.*

YAMAJI, F. M., VENDRASCO, L., FLORES, W. D., & CHRISOSTOMO, C. D. (2010). *Efeito da granulometria nas propriedades físico-mecânico de briquetes de pinus SP. Anais do V Congresso Internacional de Bioenergia, Curitiba.*

ZAGO, M. D. (2010). *tecnologia de informação e da comunicação e os projectos de trabalho online. Brasil: ufrj.*

## ANEXOS 1

### ➤ Teor de humidade

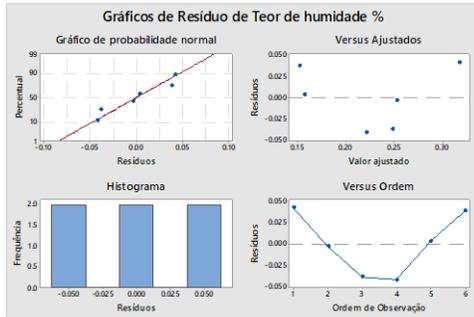


Gráfico 1- Teste de normalidade para o teor de humidade

Tabela 8-Análise de variância para o teor de humidade

| Fonte       | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|-------------|----|----------|----------|---------|---------|
| Tratamentos | 2  | 0.006100 | 0.003050 | 0.95    | 0.513   |
| Blocos      | 1  | 0.014017 | 0.014017 | 4.36    | 0.172   |
| Erro        | 2  | 0.006433 | 0.003217 |         |         |
| Total       | 5  | 0.026550 |          |         |         |

### ➤ Densidade aparente

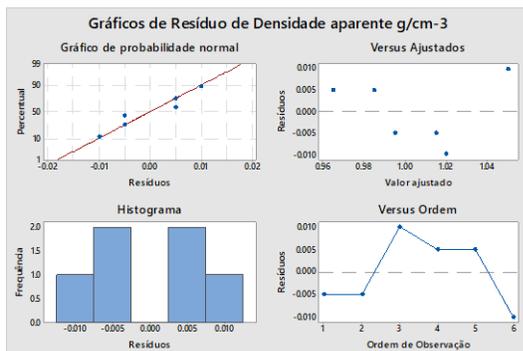


Gráfico 2- Teste de normalidade para a densidade aparente

## ANEXOS 2

### ➤ Material volátil

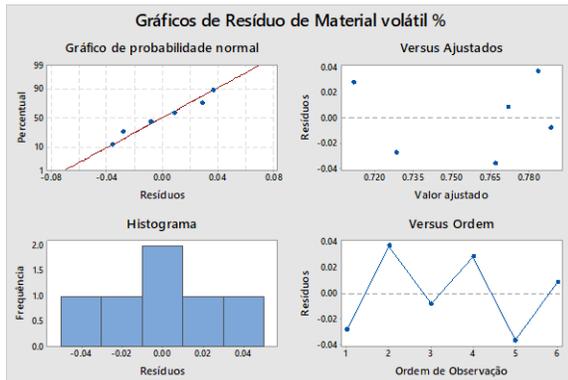


Gráfico 3- Teste de normalidade para teor de material volátil

Tabela 9-Análise de variância para o teor de material volátil

| Fonte       | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|-------------|----|----------|----------|---------|---------|
| Tratamentos | 2  | 0.004433 | 0.002217 | 1.00    | 0.500   |
| Blocos      | 1  | 0.000417 | 0.000417 | 0.19    | 0.707   |
| Erro        | 2  | 0.004433 | 0.002217 |         |         |
| Total       | 5  | 0.009283 |          |         |         |

### ➤ Teor de cinzas

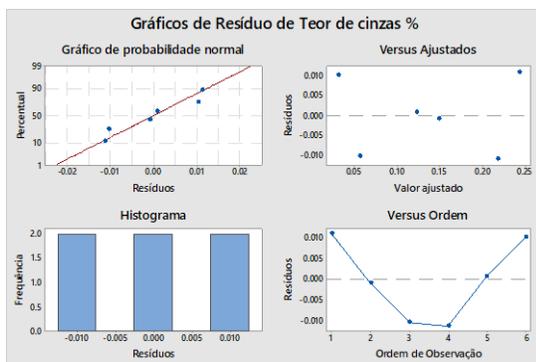


Gráfico 5- Teste de normalidade para o teor de Cinzas

### ANEXOS 3

#### Análise de Variância

Tabela 10-Análise de variância para o teor de cinzas

| Fonte       | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|-------------|----|----------|----------|---------|---------|
| Tratamentos | 2  | 0.035158 | 0.017579 | 75.72   | 0.013   |
| Blocos      | 1  | 0.000988 | 0.000988 | 4.26    | 0.175   |
| Erro        | 2  | 0.000464 | 0.000232 |         |         |
| Total       | 5  | 0.036611 |          |         |         |

#### ➤ Teor carbono fixo

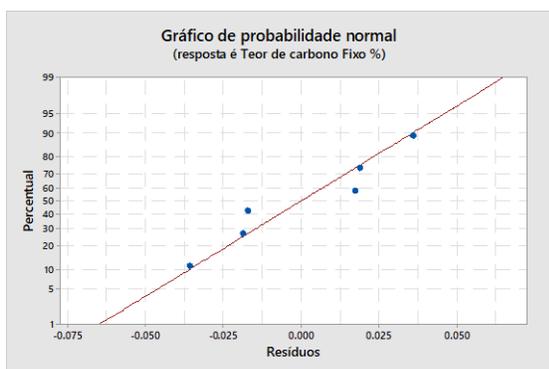


Gráfico 6- Teste de normalidade para o teor de carbono fixo

Tabela 11-Análise de variância teor de o carbono fixo

| Fonte       | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|-------------|----|----------|----------|---------|---------|
| Tratamentos | 2  | 0.017008 | 0.008504 | 4.41    | 0.185   |
| Blocos      | 1  | 0.002688 | 0.002688 | 1.39    | 0.359   |
| Erro        | 2  | 0.003854 | 0.001927 |         |         |
| Total       | 5  | 0.023551 |          |         |         |

## ANEXOS 4

### ➤ Densidade energética

Tabela 12-Teste de Tukey e Confiança de 95% para densidade energética

| Tratamentos | N | Média   | Agrupamento |
|-------------|---|---------|-------------|
| 3           | 2 | 15663.9 | A           |
| 2           | 2 | 12984.2 | A           |
| 1           | 2 | 9957.2  | A           |

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.*

Tabela 13-Análise de variância para a densidade energética

| Fonte       | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|-------------|----|----------|----------|---------|---------|
| Tratamentos | 2  | 32606631 | 16303315 | 6.09    | 0.141   |
| Blocos      | 1  | 5826473  | 5826473  | 2.18    | 0.278   |
| Erro        | 2  | 5356320  | 2678160  |         |         |
| Total       | 5  | 43789424 |          |         |         |

Tabela 14-Tabela 14-Teste de Tukey e Confiança de 95% para o teor de Cinzas

| Tratamentos | N | Média  | Agrupamento |
|-------------|---|--------|-------------|
| 1           | 2 | 0.2310 | A           |
| 2           | 2 | 0.1360 | B           |
| 3           | 2 | 0.0435 | C           |

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.*

**ANEXO 5**

**FICHA DO CAMPO**

Temperatura (dia)

1 \_\_\_\_\_ /2 \_\_\_\_\_ /3 \_\_\_\_\_ /4 \_\_\_\_\_ /media \_\_\_\_\_

Velocidade de vento (dia)

1 \_\_\_\_\_ /2 \_\_\_\_\_ /3 \_\_\_\_\_ /4 \_\_\_\_\_ /media \_\_\_\_\_

Tabela 15-Ficha do campo

| BLOCO I (ESTUFA)    |              |    |            |    |              |    |            |    |              |    |            |    |
|---------------------|--------------|----|------------|----|--------------|----|------------|----|--------------|----|------------|----|
|                     | T1 (1mm)     |    |            |    | T2 (2mm)     |    |            |    | T3 (4.75mm)  |    |            |    |
| Repetição           | Peso inicial |    | Peso final |    | Peso inicial |    | Peso final |    | Peso inicial |    | Peso final |    |
|                     | A1           | A2 | A1         | A2 | A1           | A2 | A1         | A2 | A1           | A2 | A1         | A2 |
| 1                   |              |    |            |    |              |    |            |    |              |    |            |    |
| 2                   |              |    |            |    |              |    |            |    |              |    |            |    |
| 3                   |              |    |            |    |              |    |            |    |              |    |            |    |
| BLOCO II (AR LIVRE) |              |    |            |    |              |    |            |    |              |    |            |    |
|                     | T1 (1mm)     |    |            |    | T2 (2mm)     |    |            |    | T3 (4.75mm)  |    |            |    |
| Repetição           | Peso inicial |    | Peso final |    | Peso inicial |    | Peso final |    | Peso inicial |    | Peso final |    |
|                     | A1           | A2 | A1         | A2 | A1           | A2 | A1         | A2 | A1           | A2 | A1         | A2 |
| 1                   |              |    |            |    |              |    |            |    |              |    |            |    |
| 2                   |              |    |            |    |              |    |            |    |              |    |            |    |
| 3                   |              |    |            |    |              |    |            |    |              |    |            |    |

Onde: T1- Tratamento 1, T2- Tratamento 3, T3- Tratamento 3, A1- Primeira amostra, A2- Segunda amostra

Avaliação feito por \_\_\_\_\_

Aos \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_