



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DE AGRICULTURA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

PROJETO FINAL

**Avaliação do potencial energético dos briquetes produzidos a partir
da *Bambusa vulgaris***

Monografia a ser apresentada e defendida como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura
em Engenharia Florestal

Autor: Mirna da Victória José

Tutor: Eng. Edson Moisés Chilaquene Massingue (MSc)

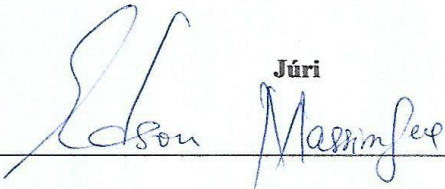
Lionde, Dezembro de 2022




INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Projecto de Licenciatura, sobre *Avaliação do potencial energético dos briquetes produzidos a partir da Bambusa vulgaris*, apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito do Trabalho de Culminação do Curso em forma de Monografia em Engenharia Florestal.

Júri



Supervisor: Eng. Edson Moisés Chilaquene Massingue (MSc)



Avaliador 1: Eng. Pedro Venancio Wate (MSc)



Avaliador 2: Prof. Dr. Raimundo Gamela

Lionde, Dezembro de 2022

| | |
|---|-------------------------------------|
| ÍNDICE | |
| ÍNDICE DE TABELAS | I |
| ÍNDICE DE FIGURAS | II |
| DECLARAÇÃO..... | Error! Bookmark not defined. |
| AGRADECIMENTOS | VI |
| RESUMO | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| I. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Problema e Justificação do estudo | 3 |
| 1.2. Objectivos | 5 |
| 1.2.1. Geral | 5 |
| 1.2.2. Específicos | 5 |
| 1.2.3. Hipóteses..... | 5 |
| II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 6 |
| 2.1. Potencial energético de Moçambique | 6 |
| 2.2. Bambu | 6 |
| 2.2.1. Descrição da espécie: <i>Bambusa vulgaris</i> | 6 |
| 2.2.2. Historial e distribuição geográfica | 7 |
| 2.2.3. Utilidade e seus aspectos socioeconómicos e ambientais | 7 |
| 2.3. Processo de briquetagem | 8 |
| 2.3.1. Etapas da fabricação dos briquetes..... | 8 |
| 2.3.2. Factores que afectam o processo de briquetagem | 9 |
| 2.3.3. Aglutinante | 10 |
| 2.4. Avaliação química dos briquetes | 10 |
| 2.4.1. Teor de humidade..... | 10 |
| 2.4.2. Teor de cinzas..... | 11 |
| 2.4.3. Teor de Materiais Voláteis | 11 |
| 2.4.4. Teor de carbono fixo | 11 |
| 2.5. Densidade e Poder calorífico | 12 |
| 2.5.1. Densidade | 12 |
| 2.5.2. Poder calorífico | 12 |
| III. METODOLOGIA..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 3.1. Localização do distrito de Chokwé..... | 14 |
| 3.1.1. Clima..... | 15 |
| 3.1.2. Vegetação..... | 15 |
| 3.1.3. Relevo e solos..... | 15 |
| 3.1.4. Economia..... | 15 |
| 3.2. Materiais e Métodos..... | 16 |
| 3.2.1. Materiais..... | 16 |
| 3.2.2. Métodos..... | 16 |
| 3.3. Análise de dados..... | 20 |
| 3.3.1. Análise química dos briquetes..... | 20 |
| 3.3.2. Densidade e poder calorífico..... | 23 |
| 3.3.3. Experimentação..... | 25 |
| 3.3.4. Análise de dados..... | 26 |
| IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 27 |
| 4.1. Análise química dos briquetes..... | 27 |
| 4.2. Densidade e poder calorífico dos briquetes..... | 30 |
| 4.3. Análise estatística..... | 32 |
| 4.3.1. Efeito dos factores tamanho de partículas e secagem sobre a análise química..... | 32 |
| 4.3.2. Densidade e poder calorífico..... | 34 |
| V. CONCLUSÕES..... | 36 |
| VI. RECOMENDAÇÕES..... | 37 |
| VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 38 |
| VIII. ANEXOS..... | 45 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Materiais usados | 16 |
| Tabela 2: Composição dos briquetes | 18 |
| Tabela 3: Modelo experimental..... | 25 |
| Tabela 4: Média dos briquetes obtidos da análise química | 27 |
| Tabela 5: Média dos briquetes da densidade e poder calorífico..... | 30 |
| Tabela 6: Média dos briquetes da densidade nos factores tamanho de partículas e secagem | 34 |
| Tabela 7: Resumo da ANOVA da análise química | 45 |
| Tabela 8: Resumo da ANOVA para densidade e poder calorífico..... | 45 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Mapa da área de estudo..... | 14 |
| Figura 2: Preparação da matéria-prima: a) bambu em pedaços; b) carbonização do bambu; c) trituração do carvão do bambu; d) homogeneização dos finos do carvão de bambu. | 17 |
| Figura 3: Confeção do aglutinante: a) mistura de fécula de mandioca e farinha de milho; b) aglutinante (pasta gelatinosa). | 18 |
| Figura 4: Produção de briquetes: a) prensa (briquetadeira); b) pesagem do briquete na balança electrónica..... | 19 |
| Figura 5: Secagem dos briquetes: a) estufa solar; b) secagem ao ar livre. | 20 |
| Figura 6 Determinação do teor de cinzas: A) pesagem do cadinho com amostra; B) cadinhos na mufla; C) estufa para resfriamento; D) pesagem das cinzas. | 21 |
| Figura 7: Média dos briquetes da análise química nos factores tamanho de partículas e secagem | 33 |
| Figura 8: Media dos briquetes na secagem ao ar livre e na estufa solar..... | 35 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA: análise de variância;

ABNT: Associação Brasileira de Normas e Tecnologia

cm: centímetros;

FAO: Food and Agriculture Organization

GW: gigawatt

GWh: gigawatt hours

g: gramas;

J: joule;

Kg: quilograma;

Kcal: quilocaloria

km²: quilômetros quadrados;

MAE: Ministério de Administração Estatal'

m³: metros cúbicos

mm: milímetros;

ph: potencial hidrogeniônico

%: percentagem;

°C: graus celsius;



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DECLARAÇÃO

Eu Mirna da Victória José 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, 06 de Dezembro de 2022

Mirna da Victória José

(Mirna da Victória José)

DEDICATORIA

Dedico este trabalho a minha mãe, Isabel Luís que não desistiu da minha formação e que não deixou faltar nada na minha vida. Aos meus irmãos Edgar Uanela, Elton Uanela e Maira José pelos puxões de orelha, pelo incentivo, força, encorajamento e pelo amor.

A vós dedico!

Com ele está o braço de carne, mas connosco, o SENHOR, nosso Deus, para nos ajudar e para guerrear. E o povo descansou nas palavras de Ezequias, rei de Judá. (2 Crônicas 32:8 A)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar por todos anos da minha vida e por me ter proporcionado bênçãos e força em todos os momentos em especial nos mais difíceis para não desistir.

Agradeço a minha mãe Isabel Luís pelo amor, carinho e força depositados em mim e que mesmo em meios de dificuldades nunca deixou faltar nada e sempre pautou pela minha formação. E aos meus irmãos Edgar Uanela, Elton Uanela e Maira José pela força e ajuda e incentivo em todos os momentos.

Ao Eng. Edson Chilaquene Massingue pela orientação durante a realização deste trabalho, paciência, disponibilidade, dedicação, pelas críticas e conselhos.

Agradeço ao Instituto Superior Politécnico de Gaza, em especial aos docentes do curso de Engenharia Florestal, Eng. Severino Macoô, Eng^a Juvência Yolanda, Eng. Emídio Matusse, Eng. Pedro Venâncio Wate, dr. Sérgio Bila, dr. Arão Finiasse, Dr. Mário Tuzine e aos demais docentes do ISPG pelos conhecimentos transmitidos, desempenho e motivação que contribuíram bastante para a minha formação.

Aos colegas e amigos em especial a Lézia da Cruz, Zélia Zitha, Luisa Pinho, José Jorge, Afonso Quintino, Jacob Osvaldo, JC, Joel Chugwane, Dario Lote por todas situações que enfrentamos tanto boas como aquelas que achamos que não iam sobreviver a elas, pelo companheirismo em especial a Dinercia Ramiro pela sua amizade.

Aos meus amigos Anivaldo Govene, Adilson da Gilda, Adila Remane, Ana Rosa, Argilencia da Fatima, Iria da Sheila, Dineria Licumba, Alex Rivaldo, Domingos, Fernando Gomes, Gimo, Guilherme, Nercia Langa, Raimundo Macumbuie, Pedro Machava, pela amizade, amor, ajuda e companheirismo.

E a todos que directa ou indirectamente contribuíram para a minha formação e realização desse trabalho.

Meu muito obrigado!

RESUMO

Cada vez mais se tem fortalecido o pensamento de preservação das florestas nativas e do planeta para as gerações futuras, como um meio de se alcançar esse propósito tem se feito pesquisas relacionadas com a produção de energia sustentável. Em busca de se minimizar a pressão sobre os remanescentes nativos, as biomassas alternativas tem sido estudadas para fins energéticos, dentre elas, o bambu se apresenta como uma fonte com grande potencial energético, seu crescimento e propagação é rápido e pode ser explorada a partir dos 3 anos de idade. O presente trabalho teve como objectivo produzir briquetes a partir de finos de carvão de bambu com vista a avaliar o seu potencial energético. O bambu foi colectado na Província de Inhambane, foi reduzido em cavacos de tamanhos de 25 a 35 cm, carbonizado em forno metálico e a posterior triturado. Os finos resultantes foram peneirados em mesh de 1 mm, 2 mm e 4,75 mm para a produção de briquetes em um delineamento inteiramente causalizado com arranjo factorial sendo os factores tamanho de partículas (1 mm, 2 mm e 4,75 mm) e secagem (em ar livre e estufa solar) envolvendo 4 tratamentos (T1: 1 mm em ar livre e 1 mm em estufa solar; T2: 2 mm em ar livre e 2 mm em estufa solar; T3: 4,75 mm em ar livre e 4,75 mm em estufa solar; T4: mistura de partículas em ar livre e mistura de partículas em estufa solar). Como aglutinante foi empregado a fécula de mandioca e a farinha de milho em mistura. Os briquetes foram produzidos em uma briquetadeira manual a uma carga de 143 kgf.cm², a um total de 4 briquetes por tratamentos. Os parâmetros avaliados foram o teor de humidade, teor de cinzas, o teor de materiais voláteis, o teor de carbono fixo, a densidade aparente e energética e o poder calorífico superior e inferior. Observou-se que quanto mais se reduziã os tamanhos de partículas melhores resultados tiveram, como baixo teor de humidade e cinzas, maiores densidades e poder calorífico, concluindo-se que os tamanhos de partículas tiveram influencia no potencial energético de briquetes com destaque aos tratamentos T1, T2 e T3. Observou-se também que o processo de secagem na estufa solar não foi ideal devido ao altos valores de teor de humidade e de cinzas obtidos, de modo que a secagem ao ar livre forneceu briquetes mais densos, com mais poder de queima e estáveis.

Palavras-chave: *Briquete, Bambu, Potencial energético, Poder Calorífico*

ABSTRACT

It has been increasingly strengthened the thought of preservation of native forests and the planet for future generations, as a means to achieve this purpose has been done research related to the production of sustainable energy. In search of minimizing the pressure on native remnants, alternative biomass has been studied for energy purposes, among them, the bamboo presents itself as a source with great energy potential, its growth and propagation is fast and can be exploited from 3 years of age. The present work aimed to produce briquettes from bamboo charcoal fines in order to evaluate its energy potential. The bamboo was collected in Inhambane Province, reduced in chips of sizes 25 to 35 cm, carbonized in a metallic oven and later crushed. The resulting fines were screened at mesh sizes of 1 mm, 2 mm and 4.75 mm for the production of briquettes in an entirely causal design with factorial arrangement being the factors particle size (1 mm, 2 mm and 4.75 mm) and drying (free air and conventional oven) involving 4 treatments (T1: 1 mm in free air and 1 mm in conventional oven; T2: 2 mm in free air and 2 mm in conventional oven; T3: 4.75 mm in free air and 4.75 mm in conventional oven; T4: mixture of particles in free air and mixture of particles in conventional oven). As binder was employed the cassava starch and corn flour in mixture. The briquettes were produced in a manual briquetting machine at a load of 143 kgf.cm², at a total of 4 briquettes per treatments. The parameters evaluated were the moisture content, ash content, the volatile materials content, the fixed carbon content, the bulk and energy density and the upper and lower calorific value. It was observed that the more the particle sizes were reduced the better results had, as low moisture content and ash content, higher densities and calorific value, concluding that the particle sizes had influence on the energy potential of briquettes with emphasis on treatments T1, T2 and T3. It was also observed that the drying process in the conventional oven was not ideal due to the high values of moisture content and ash obtained, so that the open air drying provided denser briquettes, with more burning power and stable.

Keywords: *Briquette, Bamboo, Energetic potential, Calorific power*

I. INTRODUÇÃO

Moçambique é um país com uma diversificada matriz energética, composta por fontes de energias renováveis (87,5%) e fontes não renováveis. Como fontes renováveis, o país dispõe dos recursos hídricos, recurso solar, recurso marítimo, recurso eólico, recurso geotérmico e recurso de combustíveis lenhosos (REM, 2017). Este último (lenha e carvão vegetal) constitui a maior fonte de produção e consumo de energia estimado pelo Ministério da Energia (2007) como sendo usada por pelo menos 95% da população para suprir as suas necessidades energéticas.

Segundo IFN (2018), de 2007 a 2018, verificou-se um decréscimo de 21% da área florestal total e 36% da área florestal produtiva, se devendo não só a mudança da definição florestal mas também do desmatamento. Factores como a agricultura, os incêndios florestais descontrolados são intensificadores no problema do desmatamento, mas alguns autores advogam que a colecta de lenha e carvão vegetal é um dos maiores motivos desse aumento na taxa de desmatamento (Siteo & Tcháuque, 2007).

Diante deste cenário, como forma de aliviar a pressão nas florestas, novas pesquisas estão sendo feitas relacionados com a potencial implementação de energias alternativas com origem renovável e com baixo potencial poluidor do meio ambiente (Protásio *et al.*, 2014). E neste contexto os briquetes são a melhor alternativa, pois, possuem maior eficiência que os combustíveis lenhosos e são sustentáveis (MMA, 2018).

A produção desses briquetes é feito pelo processo chamado por briquetagem, que transforma um material de baixa densidade em um de alta qualidade, concentrando a energia disponível na biomassa. Este processo consiste na aplicação de pressões ou temperaturas com intuito de aumentar a sua densidade, obtendo um combustível com homogeneidade nos tamanhos de partículas, maior densidade e resistência usando biomassa florestal, agrícola e resíduos (Quirino, *et al.*, 2012). O briquete apresenta as seguintes propriedades: fácil manuseio, e armazenamento, maior temperatura de chama, pouca produção de fumo e cinzas, fazendo deste um excelente substituto dos combustíveis lenhosos (Dantas, 2012).

Dentre as diversas fontes energéticas, busca-se a fonte que esta ligada com a sustentabilidade do meio ambiente, de rápido crescimento e propagação, de baixo preço e que ocupe menores áreas. Sendo assim, o bambu é uma espécie com grande potencial por ser usada, pois este recurso natural tem um poder de renovação de pouco tempo, rápida propagação, ciclo de corte curto, potencial substituto da madeira e é uma espécie florestal que não compete com outras em termos de

velocidade de crescimento e de aproveitamento da área (Liu, 2014). Friederichs *et al.*, (2015) destaca que existem varias formas de usar o bambu como fonte de energia dentre elas: transformalo em carvão; transformar a serragem do bambu para a produção de briquetes e transformar o carvão moído em briquetes de carvão. Mas para isso necessita ser estudada para mais conhecimento cultural e de uso. Sendo assim esses estudos para o desenvolvimento de briquetes a partir de bambu podem suscitar inúmeros benefícios de ordem ambiental, económica e social. Neste contexto, o presente trabalho tem como objectivo avaliar o potencial energético dos briquetes produzidos a partir da *Bambusa vulgaris*, analisando os parâmetros químicos, densidade e o poder caloríficos dos mesmos.

1.1. Problema e Justificação do estudo

A globalização trouxe grandes feitos, inovações e crescimento de cidades (associada ao aumento populacional), mas também trouxe alguns aspectos negativos como o aumento da necessidade de energia que influenciou na exploração das florestas além da sua capacidade de regeneração (Falcão, 2013). As florestas desempenham um papel importante na conservação de solos e água, diversidade biológica para a modulação do ciclo de carbono e o melhoramento do microclima, para além de protegerem o meio ambiente contra fenómenos naturais como erosão, alterações climáticas externas. Esta apresenta a parte faunística e da flora com produtos madeireiros e não madeireiros, (Mendes, 2011).

Na África-subariana a procura de energia lenhosa tem estado a aumentar enquanto que a oferta esta decrescendo, sendo o carvão responsável pela maior parte da procura total e de mais de 95% da procura nas zonas urbanas (GTZ, 2009). Este aumento na procura esta directamente associado ao aumento da taxa de natalidade verificada nas zonas urbanas que é estimado em 4% ao ano. Cada aumento de 1% ao nível de urbanização significa 14% de aumento no consumo do carvão vegetal (Belward *et al.*, 2011).

O continente Africano encontra-se fortemente dependente da disponibilidade de combustíveis lenhosos para o consumo da população tanto rural quanto a urbana e Moçambique não esta alheio a esta realidade. Entretanto Moçambique é um dos poucos países da África Austral que ainda detém de um área de florestas nativas consideráveis, contudo estão sujeitas a uma elevada taxa de degradação e desmatamento florestal (Magalhães, 2017). De acordo com Falcão (2013), a taxa anual de desmatamento de 0.58% reduz significativamente a disponibilidade de matéria-prima e a sustentabilidade da floresta. Como consequência que o desmatamento traz, diminuição da produtividade da terra, perda da biodiversidade, aumento do aquecimento global, alterações do clima, entre outras. Fearnside (2005) admite que o desmatamento é uma combinação crescente da pressão sobre os recursos florestais e Sitóe (2013) considera como um dos maiores factores impulsionadores desse problema, a colecta de lenha e carvão vegetal.

Um estudo realizado pelos SPFFB (2003) de Sofala, refere que a preferência dos consumidores locais é o carvão vegetal visto que se apresenta mais acessível em relação as outras fontes de energia referente aos preços, contudo a biomassa utilizada para a sua produção é retirada das florestas nativas, criando uma forte pressão sobre os recursos (Falcão, 2013).

Dito que as florestas nativas tem sofrido muita pressão devido ao consumo excessivo de combustíveis lenhosos, este trabalho sintetiza a seguinte questão de pesquisa: qual fonte pode ser usada para gerar energia que seja sustentável e que atenda as questões ambientais em evidência a preservação das florestas nativas?

Como forma de mudar esse cenário e suprir a demanda pela energia novas alternativas usando biomassa surgem, como os briquetes, que são utilizados para a queima em substituição dos combustíveis lenhosos e que estes contém cinco vezes mais energia. Segundo Dias *et al.*, (2012), o briquete apresenta uma densidade de 500 a 1200 kg/m³ em comparação com o carvão vegetal que apresenta de 200 a 400 kg/m³. Os tipos mais comuns de briquetes são os produzidos a partir de finos de carvão e os produzidos a partir de biomassa (Furtado *et al.*, 2010).

O bambu é uma planta com a maior taxa de crescimento no mundo (Okahisa, 2018), é renovável devido à estrutura fisionômica (raízes e rizoma), suporta cortes sucessivos durante anos sem se replantar, permite recuperar solos degradados, evita a erosão, controla água e absorve grandes quantidades de carbono. Sendo assim o uso do bambu como uma nova fonte energética para a produção de briquetes torna-o como uma melhor escolha e atende as preocupações do milênio (Protásio *et al.*, 2014). Contudo é necessário que sejam feitos estudos com vista a analisar o material e a forma pelo qual o briquete é produzido possa gerar energia. Dentro deste escopo, o presente trabalho visa avaliar o potencial energético dos briquetes de bambu, com vista a fornecer informações técnicas em relação a produção dos briquetes como uma alternativa para a diminuição da exploração dos recursos florestais que estão cada vez mais escassos e a estimular a implantação de áreas de cultivo do bambu.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral

- Avaliar o potencial energético dos briquetes produzidos a partir da *Bambusa vulgaris*

1.2.2. Específicos

- Produzir briquetes a partir da *Bambusa vulgaris*;
- Determinar os parâmetros químico-físico, densidade e poder calorífico dos briquetes;
- Analisar a influencia do tamanho de partículas e da secagem no desempenho energético dos briquetes.

1.2.3. Hipóteses

Ho: Não existem diferença significativa nos factores tamanhos das partículas e secagem em relação ao desempenho energéticos do briquete;

Há: Existem diferença significativa nos factores tamanhos das partículas e secagem em relação ao desempenho energéticos do briquete.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Potencial energético de Moçambique

Moçambique dispõe de uma vasta gama de recursos energéticos renováveis e não renováveis, que proporciona condições favoráveis, não só para satisfazer as suas necessidades internas em termos de energia, como também para exportar para países da região da África Austral e para outros mercados internacionais (Rena, 2012; Pereira, 2012; Intellica, 2012).

A matriz de produção de energia do país é composta maioritariamente por fontes de energias renováveis (87,5%), divididas nomeadamente em recurso hídrico, recurso eólico, recurso geotérmico, recurso solar e recurso de biomassa (lenha e carvão vegetal) (REM, 2017). Este último segundo o Ministério da energia (2015) representa a maior fonte de produção e consumo de energia de cerca de 80% da população moçambicana para satisfazer as suas necessidades. A procura anual desta fonte energética foi estimada em 16 milhões de m³ por ano, o equivalente a cerca de 706 milhões de dólares anuais que o PIB não tem contabilizado (Sitóe & Tchaúque, 2007).

Biomassa como a quantidade de material orgânico que constitui os seres de um ecossistema existente numa determinada área e que pode ser expressa em peso, volume, área ou número (Protásio *et al.*, 2014). Segundo Atlas de Energias renováveis de Moçambique (2013), o país dispõe de um espectro teórico com 2 GW de energia de biomassa e com um grande potencial para o aproveitamento de bioenergia a partir de biomassa florestal, com destaque para a indústria açucareira, de papel, e de explorações agrícolas. Estima-se que os resíduos da actividade florestal a nível nacional poderiam gerar 750 GWh de energia.

2.2. Bambu

2.2.1. Descrição da espécie: *Bambusa vulgaris*

Reino: Plantae

Filo: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Ordem: Poales

Família: Poaceae

Género: *Bambusa*

Espécie: *Bambusa vulgaris*

O *Bambusa vulgaris* tem origem asiática, conhecido no Havai como Ohe, no Japão como Tom, na China como Chu e em Moçambique como bambu verde. É uma espécie de bambu entouceirante de

médio porte, possuindo uma distribuição normal pantropical, possui uma espessura de parede de 7 a 15 mm (Ailton Júnior, 2015). Esta espécie pode ser usada na construção civil, na indústria de polpa e papel, artesanato, moveis, quebra ventos, bem como na reabilitação de áreas degradadas (National Tropical Botanical Garden, 2014).

2.2.2. Historial e distribuição geográfica

A palavra bambu foi adoptada por Carvlon Linné em 1753, provavelmente pelo som que esta produz quando submetida ao fogo ou seja, "bam-boo" (Greco & Cromberg, 2011). É definida como uma planta da família poaceae que apresenta no líquen do seu tecido uma estrutura dura como a madeira, mas mais leve e flexível, que a diferencia das outras plantas (Mike,2016:10).

Não se conhece ao certo a data ou o local da sua origem, mas acredita-se que tenha surgido no período Cretáceo, pouco antes da Era Terciaria (Cruz, 2017). Acredita-se que a China foi a primeira a fazer uso do bambu e a desenvolver técnicas para áreas diversas há mais de 7000 anos (Lugt, 2017:43).

Os registos científicos actuais, baseados em longas análises filogenéticas (Bamboo Phylogeny Group, 2012), informam que existem no mundo 119 géneros com 1482 espécies de bambu, classificados em três famílias: Arundinarieae (546 espécies), Bambuseae (812 espécies) e Olyreae (124 espécies), que são bambus herbáceos (Clark, 2015; Nayak & Mishra, 2016). Ainda que seja um grupo bem estudado, esses números continuam aumentando, devido às novas descobertas de espécies e géneros (Bamboo Phylogeny Group, 2012). As plantas de bambu são encontradas em quase todos os continentes, distribuindo-se em regiões tropicais, subtropicais e temperadas da Ásia, América, África e Oceânia.

Em Moçambique o bambu mais abundante é o chamado bambu africano *Oxyternanthera abyssinica* que é nativo. Há outras espécies que se tornaram raças locais como a *Bambusa vulgaris*, *Bambusa vulgares striata*, que são usados como ornamentos e geralmente encontrados em jardins. No entanto há também presença da *Dendrocalanus hamiltonii*, bambu verde e de grande diâmetro, que se pode encontrar na margem do rio Búzi, em Jecua, no distrito de Manica e em outros locais.

2.2.3. Utilidade e seus aspectos socioeconómicos e ambientais

O bambu é utilizado desde os tempos mais remotos (Banik, 2015) para inúmeros fins, podendo-se citar alimentação, tanto para os seres humanos como para animais, construção civil, móveis, artesanato, fabricação de produtos têxteis, biomassa energética e outras matérias-primas industriais

para os mais diferentes produtos (Smole, 2013). Deste modo, os bambus, por serem um recurso disponível em abundância em diversas regiões do mundo como fontes de matéria-prima, desempenham um importante papel no processo de desenvolvimento socioeconómico de algumas regiões (Yeasmin, 2014). Além disso, é o grupo de plantas com a mais alta taxa de crescimento em biomassa no mundo (Chaowana, 2014; Okahisa, 2018), são bastante ramificados e possuem função estrutural. A composição de seus tecidos compreende, em média, 62% de células de parênquima, 20% de fibras e 18% de tecidos condutores, formados pelo xilema e floema (Nayak & Mishra, 2016).

O bambu como uma fonte energética apresenta-se melhor em relação às diversas espécies de árvores de valor comercial pelas seguintes razões (Minke, 2016:11):

- É de rápido crescimento e recuperação, o que contribui para a produção de grandes quantidades de biomassa em comparação com o eucalipto por exemplo;
- O bambu permite também recuperar solos degradados;
- Evitar erosão;
- Controlar o ciclo de água e absorver grandes quantidades de carbono.

2.3. Processo de briquetagem

A briquetagem é a tecnologia de fabricação de briquetes, produto que possibilita o aproveitamento energético da biomassa (Zago *et al.*, 2010). Este processo é considerado uma forma bastante eficiente para concentrar a energia disponível de biomassa, (Capote, 2012). E para que a aglomeração seja eficiente é necessário de 8% a 12% da quantidade de água de acordo com Quirino (2002) mas Alves Júnior & Santos (2002) consideram uma faixa de humidade de 8% a 15% na produção de briquetes. Para uma compactação eficiente, Silva *et al* (2018) considera que uma mistura de partículas de vários tamanhos pode melhorar a qualidade dos briquetes.

2.3.1. Etapas da fabricação dos briquetes

De acordo com Mualimo (2020), o processo de fabricação dos briquetes, consiste nas seguintes etapas:

- Moagem e classificação do carvão: consiste na determinação das características da compactação do material a ser briquetado. Nesta etapa ocorre também o ajuste da humidade e o tipo de aglutinante a ser usado;

- Mistura: ocorre a mistura do aglutinante com o carvão, onde este deve ser distribuído uniformemente por todo o material;
- Prensagem ou compactação: consiste na aplicação de força com intuito de promover um formato definido e resistência do briquete;
- Secagem: consiste no aquecimento e resfriamento lento dos briquetes, evitando rachaduras e facilidade de manuseio.

2.3.2. Factores que afectam o processo de briquetagem

2.3.2.1. Teor de humidade

Segundo Mualimo (2020), existe uma faixa de teor de humidade em que um material pode ser briquetado. Humidade excessiva pode provocar explosões devido à formação do vapor, mas uma matéria-prima muito seca dificulta a aglomeração das partículas. Diversos estudos recomendam um teor de humidade na faixa de 5 e 10%.

2.3.2.2. Tamanho das partículas

Segundo Borghi (2012), os tamanhos de partículas não só influenciam na aglomeração das partículas mas também nos parâmetros físicos-químicos dos briquetes. Quanto menor for o tamanho das partículas da biomassa maior será a área superficial de suas partículas, se fazendo necessário o uso de aglutinante para obter bons briquetes.

A mistura ideal deve ser composta por matéria-prima triturada em diversos tamanhos de partícula, dependendo do tipo de material e do diâmetro da matriz é aceitável uma granulometria entre 5 e 10 mm. Briquetes compactados com granulometrias menores são mais densos, desde que submetidos à elevada temperatura e pressão para melhor se aglomerarem (Gonçalves, 2010).

2.3.2.3. Temperatura

Com o aquecimento é possível obter produtos estáveis com menor dimensão, isto se comparados com matérias de mesma composição mas que foram compactados sem aquecimento. Algumas pesquisas indicaram que a temperatura máxima não deve ultrapassar 220 °C, porém depende da matéria-prima, pré-tratamento, tempo e teor de água (Petricoski, 2017).

2.3.2.4. Pressão

A aplicação de pressão pelos equipamentos de compactação da biomassa favorece diferentes mecanismos de ligação. Em altas pressões, os ligantes naturais da biomassa são extraídos das células vegetais que contribuem para interligação e coesão das partículas (Dias Júnior, 2013).

2.3.3. Aglutinante

Quando o material a ser aglomerado não possui características intrínsecas de aglutinação usa-se o aglutinante, então este funciona como adesivo e contribui para interligação e coesão das partículas (Dias *et al.*, 2012). As partículas de carvão vegetal, ou para esse caso de bambu, por terem passado pelo processo de carbonização, apresentam baixa concentração de ligantes e necessitam de um extra de ligantes para produzir bons briquetes (Texeira *et al.*, 2011).

Segundo Dias *et al.*, (2013), a escolha do tipo de aglutinante é em função do custo e do uso a ser dado o briquete. E geralmente os aglutinantes são mais caros que a matéria-prima principal então é necessário que um balanço entre as quantidades destes componentes.

As principais características do aglutinante são: alta resistência mecânica, elevada taxa de aglomeração, inexistência de material inerte na sua composição, resistência a humidade, fácil uso e boas condições de operacionalidade (De Melo, 2010).

De acordo com Zanella (2018), os aglutinantes podem ser classificados em aglutinante do tipo matriz quando envolve as partículas do material formando uma matriz contínua (alcatrão vegetal e mineral); aglutinante do tipo filme quando usado como solução ou dispersão e a água destaca-se como solvente comum (fécula de mandioca) e o aglutinante do tipo químico quando dependem das reacções químicas efectivas do aglomerado entre si ou entre o aglomerante e o material a ser aglomerado (silicato de sódio).

2.4. Avaliação química dos briquetes

2.4.1. Teor de humidade

De acordo com Santos *et al.*, (2019) o teor de humidade se refere a quantidade de água presente na biomassa florestal que interfere no aproveitamento energético e em altos valores este reduz o poder calorífico, dificultando a queima do combustível.

Segundo Brand (2010), é necessário eliminar e uniformizar a quantidade de água da biomassa para melhor aproveitamento do material. Esta característica tem importante relevância para o aproveitamento energético da biomassa, pois a presença de água ocasiona a redução do poder calorífico, uma vez que, parte do calor gerado é consumida na evaporação da água (Santos *et al.*, 2013).

2.4.2. Teor de cinzas

As cinzas são compostas por todo material que não queima. É o resíduo no processo da combustão, podendo ser provenientes de substâncias inorgânicas do vegetal, ou podem ser incorporados a biomassa (terra, areia, pedras) na realização de algumas operações (Brand, 2010). Quando a biomassa tem um alto nível de cinzas seu poder calorífico reduz e por consequência seu rendimento energético também reduz. Dependendo da espécie e da quantidade de matérias inorgânicas da amostra este varia de 0.5% e 5% (Manico *et al.*, 2020).

As cinzas em alta concentração diminuem o poder calorífico e causam perdas de energia mas podem ser usadas com fertilizantes em solo florestais, influenciando diretamente no pH e macronutrientes do solo (Nascimento, 2013).

2.4.3. Teor de Materiais Voláteis

Segundo Petricoski (2017), o teor de materiais voláteis refere-se a fração de biomassa que, por via de decomposição térmica até aos 900 °C, passa para a fase gasosa sob a forma de variados gases voláteis dos combustíveis. Este contribui com cerca de 70% de calor para o processo de combustão e afecta a estabilidade das chamas, a formação de poluentes e a eficiência da combustão (Williams, 2012). Como resultado em elevados valores, a biomassa apresenta uma elevada reactividade que influencia no processo de combustão, na medida em que uma parte do combustível da biomassa é vaporizado antes de ocorrerem as reacções de combustão em fase gasosa (Fernandes, 2015).

Segundo Chaves *et al.*, (2013), a elevada reactividade da biomassa causada pela elevada quantidade de materiais voláteis, pode contribuir para uma baixa eficiência energética, visto que no aparelho de queima esta fica pouco tempo.

2.4.4. Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo é a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e a humidade (Manico *et al.*, 2020). Este contribui para entender o comportamento energético e os processos de combustão. Esta combustão se passa em três fases que ocorrem simultaneamente, a evaporação da humidade, a pirolise com a queima dos compostos voláteis e a queima do carbono fixo que é consumido na terceira etapa da combustão (Petricoski, 2017).

Para Chaves *et al.*, (2013), o teor de carbono fixo tem uma relação directa com o poder calorífico e uma relação inversa com o teor de materiais voláteis, implicando que quanto maior for o teor de carbono fixo maior será o seu tempo de residência no aparelho queimador.

2.5. Densidade e Poder calorífico

2.5.1. Densidade

Foelkel (2016), refere-se que a densidade exprime a qualidade do que é denso, compacto e determina a qualidade de matéria que esta presente em uma unidade de volume. Segundo o mesmo autor a densidade aparente se baseia no peso absolutamente seco por unidade de volume, importante para as movimentações, manuseios e stockagem do material combustível.

Este é um parâmetro importante na compactação pois quanto maior for a densidade, maior a razão a energia/volume e geralmente os materiais com alta humidade e tamanho de partículas maiores tendem a reduzir a densidade do produto final, enquanto as temperaturas e pressões de processo elevadas aumentam a densidade do produto (Protásio, 2012). De acordo com Dias *et al.*, (2012), a densidade aparente dos briquetes varia em geral de 500 e 1200 kg/m³, enquanto no carvão vegetal varia de 200 a 400 kg/m³. Portanto o processo de briquetagem é bastante eficiente para concentrar energia disponível na biomassa.

Segundo Foelkel (2016), a densidade energética é a quantidade de energia efectiva ou útil disponível por unidade de volume desse combustível. Quanto maior for a quantidade de água no material combustível, menor será o poder calorífico e sua densidade energética. De acordo com Protásio *et al.*, (2014), a briquetagem é um processo eficiente para aumentar a densidade energética- relação entre o poder calorífico superior e a densidade energética de um combustível. E a carbonização dos produtos é uma alternativa para o aumento da densidade energética visto que esta reduz a humidade Protásio *et al.*, (2012).

2.5.2. Poder calorífico

De acordo com Ohana (2012), o poder calorífico é a quantidade de calor liberadas na combustão completa de uma unidade de massa de um combustível. Um carvão ou briquete é bom quando apresenta alto poder calorífico visto que o tempo de queima é directamente proporcional à energia liberada pelo combustível.

Este autor ainda cita que o poder calorífico divide-se em poder calorífico superior e poder calorífico inferior. O poder calorífico superior é a quantidade de calor liberada durante a combustão com água condensada, enquanto que o poder calorífico inferior se refere a quantidade de calor liberada durante a combustão com a água sob a condição de vapor (Thais Oshiro, 2016). Este último é muitas vezes utilizado para fins de referência, especialmente em aplicações industriais.

Segundo Mendes (2011), o poder calorífico na base seca, varia com o teor de cinza da amostra, sendo que quanto maior for a percentagem de cinzas do combustível, menor será o poder calorífico. E além dessa característica, outras como o teor de humidade, composição elementar, entre outras, podem comprometer o poder calorífico (Rodrigues, 2010).

III. METODOLOGIA

Neste capítulo descreveu-se a localização e descrição da área de estudo, materiais usados, colecta e preparação da matéria-prima, produção de briquetes, análise de dados e análise estatística. Na análise de dados foram avaliados a parte física, química, densidade energética e o poder calorífico dos briquetes. A comunhão de todos esses parâmetros ditou o potencial energético dos briquetes produzidos a partir do bambu como um potencial substituto dos combustíveis lenhosos.

3.1. Localização do distrito de Chokwé

O trabalho foi realizado no distrito de Chokwé, localizado 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 1.864 km² de superfície. O distrito está dividido em quatro postos administrativos nomeadamente: cidade de Chokwé, Macarretane, Xilembene e Lionde (onde foi realizado o trabalho); oito aldeias 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 (PEDD, 2012). A figura 1 abaixo indica o mapa do distrito de Chokwé:

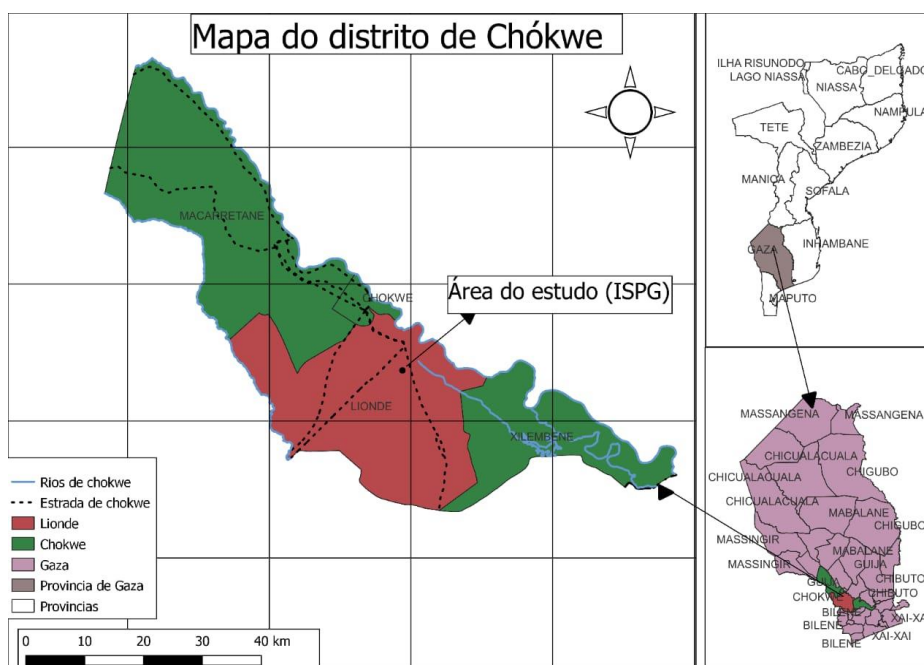


Figura 1: Mapa da área de estudo

3.1.1. Clima

O clima do distrito é dominado pelo tipo semi-árido (seco de savana), onde a precipitação varia de 500 a 800mm, confirmando o gradiente do litoral para o interior, enquanto a evapotranspiração potencial de referência (ET_o) é da ordem dos 1400 a 1500 mm. As temperaturas médias anuais variam entre os 22°C e 26°C e a humidade relativa média anual entre 60-65% (MAE, 2005).

3.1.2. Vegetação

Segundo a MAE (2005) A vegetação predominante no distrito de Chókwè 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.

3.1.3. Relevo e solos

Todo o distrito de Chókwè 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).

3.1.4. Economia

No distrito de Chókwè 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 consorciação com base em variedade locais. Em algumas regiões há recurso à tração animal e tratores para a produção agrícola (MAE, 2005).

3.2. Materiais e Métodos

3.2.1. Materiais

A tabela 1 abaixo indica os materiais usados e a sua utilidade.

Tabela 1: Materiais usados

| Materiais | Utilidade |
|---------------------------------------|---|
| Estacas de bambu | Matéria-prima |
| Fécula de mandioca e farinha de milho | Material ligante (cola) |
| Forno metálico | Carbonização da matéria-prima |
| Triturador | Triturar o carvão do bambu |
| Peneiras (mesh) | Homogeneização dos finos do bambu |
| Prensa (Briquetadeira) | Compactação dos briquetes |
| Balança electrónica e digital | Mensuração do peso |
| Paquímetro | Mensuração da altura, comprimento e espessura |
| Estufa solar | Secagem dos briquetes |
| Cadinhos de porcelana | Usadas para ensaios na mufla |
| Mufla | Calcinação das amostras |
| Estufa digital | Resfriamento dos cadinhos com amostra |

3.2.2. Métodos

3.2.2.1. Colecta e preparação da matéria-prima

Para a realização desse trabalho foi usada como matéria-prima indivíduos da espécie *Bambusa vulgaris*, vulgarmente conhecido por bambu verde. Estes apresentavam um diâmetro médio de 5 cm e uma altura de 12 metros e foram colectados na Província de Inhambane, distrito de Maxixe.

Devido a altura do bambu, foi preciso corta-lo em pedaços compreendidos de 25 cm a 35 cm (figura 2.a) que a posterior foram colocados no forno metálico para a carbonização incompleta (figura 2.b) que durou cerca de 2 horas. Após a obtenção do carvão de bambu, este foi triturado até se obterem os finos de carvão (figura 2.c). E por fim seguiu-se a homogeneização dos finos do carvão de bambu através das peneiras (mesh) de diferentes tamanhos (figura 2.d). Estes procedimentos podem ser verificados na figura 2 abaixo:



Figura 2: Preparação da matéria-prima: a) bambu em pedaços; b) carbonização do bambu; c) trituração do carvão do bambu; d) homogeneização dos finos do carvão de bambu.

As etapas descritas acima ilustram o primeiro procedimento antes da produção dos briquetes que é a preparação da matéria-prima. Nesta etapa destaca-se a transformação das estacas do bambu até aos finos de carvão, para posterior produção de briquetes.

Na produção de briquetes de finos de carvão, usa-se normalmente um aglutinante (cola) para facilitar a aglomeração e densificação das partículas, sendo assim como aglutinante foi usada a fécula de mandioca e a farinha de milho industrial obtidas no comércio de Chokwé. De acordo com Teixeira *et al.*, (2011) e Dias *et al.*, (2012) as partículas do carvão por terem passado pelo processo de carbonização apresentam baixa concentração de ligantes naturais e necessitam de uma carga extra de ligantes para produzir bons briquetes. Sendo assim após os procedimentos de transformação da matéria-prima, seguiu-se a preparação do aglutinante, usando a farinha de milho e a fécula de mandioca na proporção 7:13 ou seja usou-se 35% da farinha de milho e 65% da fécula de mandioca. Pesou-se 650g da mistura de farinhas (figura 3.a) com 4,5 litros de água e se confeccionou numa panela até formar uma pasta gelatinosa como ilustra a figura 3 (b):



Figura 3: Confeção do aglutinante: a) mistura de fécula de mandioca e farinha de milho; b) aglutinante (pasta gelatinosa).

Esta etapa é importante visto que ira permitir a briquetagem dos finos de carvão do bambu pois esta pasta gelatinosa serve como cola que ajuda na aglomeração das partículas. A escolha do uso de aglutinantes é devido perda das características intrínsecas de aglutinação do material pois este passou pelo processo de carbonização, sendo assim o briquete não se forma após a compactação.

3.2.2.2. Produção de briquetes

Esta é a etapa que ocorre a compactação da biomassa para se formar o briquete, mas para isso, primeiro adicionou-se uma percentagem de água ao aglutinante e de seguida misturou-se os finos de bambu com o aglutinante (a proporção era em função dos tamanhos de partículas como indica a tabela 2) até atingir a consistência de massa ideal para formação dos briquetes. A tabela 2 abaixo indica como foi feita a produção dos briquetes de acordo com a sua composição:

Tabela 2: Composição dos briquetes

| Tratamento | Tamanho de partículas | Composição |
|------------|-----------------------|----------------------------------|
| T1 | 1 mm | 85% finos de bambu, 15% gelatina |
| T2 | 2 mm | 85% finos de bambu, 15% gelatina |
| T3 | 4,75 mm | 80% finos de bambu, 20% gelatina |
| T4 | Mistura | 85% finos de bambu, 15% gelatina |

A diferença na composição do tratamento T3 em comparação com os demais tratamentos deveu-se a dificuldade na aglomeração das partículas devido ao seu tamanho. Após esta etapa, a massa obtida foi colocada na briquetadeira manual (figura 4.a) com seis aberturas de 10 cm de largura e comprimento e 7 cm de altura, e compactada a uma força de 143 kgf.cm² formando briquetes de formato rectangular que foram pesados de imediato no laboratório por meio de uma balança digital como ilustra na figura 4 (b) abaixo:

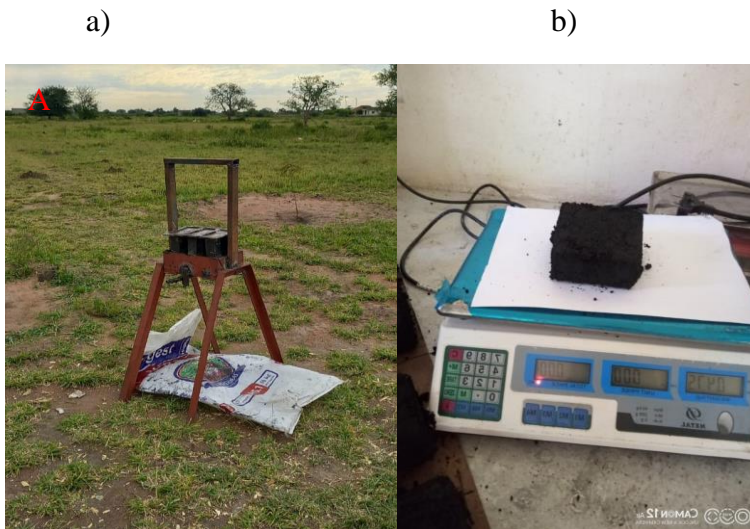


Figura 4: Produção de briquetes: a) prensa (briquetadeira); b) pesagem do briquete na balança electrónica

As figuras acima ilustram a prensa usada para a compactação dos briquetes e a seguir a sua pesagem para se poder controlar o peso do mesmo após a sua secagem. O processo de briquetagem ocorreu por meio de um processo de alta pressão onde é destruída a elasticidade natural das fibras e para que isso acontece é necessária a presença de uma quantidade de água variando de 8 a 15%. Portanto o processo de pesagem após a compactação do briqueteta facilita o controle da quantidade de água perdida durante o processo de secagem.

3.2.2.3. Secagem dos briquetes

Esta etapa é importante pois é onde ocorre a retirada da humidade do material. Após a pesagem dos briquetes produzidos, estes foram transportados para a secagem, uns em ambiente fechado ou seja na estufa solar (figura 5.a) e outros ao ar livre (figura 5.b) durante 72 horas com uma temperatura média de 24°C, e uma velocidade média do vento em 19 km/h:



Figura 5: Secagem dos briquetes: a) estufa solar; b) secagem ao ar livre.

As figuras acima indicam as duas formas de secagem adoptadas para o presente trabalho, para se comparar e verificar nas duas condições como os briquetes apresentam seu desempenho. Devido a quantidade de água presente durante a compactação, é necessário que esta seja reduzida por meio da secagem para o uso final.

3.3. Análise de dados

Após a recolha dos dados, estes foram organizados e introduzidos numa planilha do Microsoft Excel para as análise química, densidade e poder calorífico dos briquetes.

3.3.1. Análise química dos briquetes

A análise química dos briquetes refere-se a um conjunto de ensaios realizados geralmente no laboratórios e tem por objectivo, quantificar através de uma sequência de etapas, os teores de humidade, de cinzas, de materiais voláteis e de carbono fixos, contidos numa determinada amostra. Usou-se a norma ABNT-NBR 8293/83 para a análise química em triplicata.

3.3.1.1. Teor de humidade dos briquetes

O teor de humidade é a quantidade de água existente num determinado combustível sólido e para que este seja utilizado seguro e eficiente é necessário que essa quantidade seja reduzida mediante secagem (Fernandes, 2015). Após a produção dos briquetes, estes foram pesados de imediato e a posteriores secados em dois ambientes diferentes. Findo o período de 72h, os briquetes foram pesados e submetidos a estufa de secagem a uma temperatura de 105°C, onde foram medidos de duas (2) em duas horas até atingirem o seu peso constante.

Para determinação o teor de humidade, foi usada a seguinte equação 1:

$$TH = \frac{pi-pf}{pi} \quad \text{Equação [1]}$$

Onde:

TH: Teor de Humidade

pi: peso inicial

pf: peso final

3.3.1.2. Teor de cinzas dos briquetes

O teor de cinza é um dos parâmetros que fornece informações aproximadas da combustibilidade dos resíduos visto que é a percentagem em massa de cinza após a queima completa do briquete (Dias *et al.*, 2012). Este foi determinado com auxílio de cadinhos de porcelana com 2g de amostra de cada tratamento, onde os cadinhos eram previamente pesados (figura 6.a) para se determinar o seu peso e a posterior pesados com os 2g de amostra de cada tratamento e foram conduzidos para o mufla a 550° C por ±10h (figura 6.b) para que queimassem completamente. O forno mufla utilizado foi da marca Zvymen System-snol. De seguida as amostras foram retiradas da mufla e alocadas na estufa para o resfriamento (figura 6.c) e em seguida a pesagem (figura 6.d) para a posterior se determinar o teor de cinzas. A figura 6 abaixo ilustra todas a etapas realizadas:

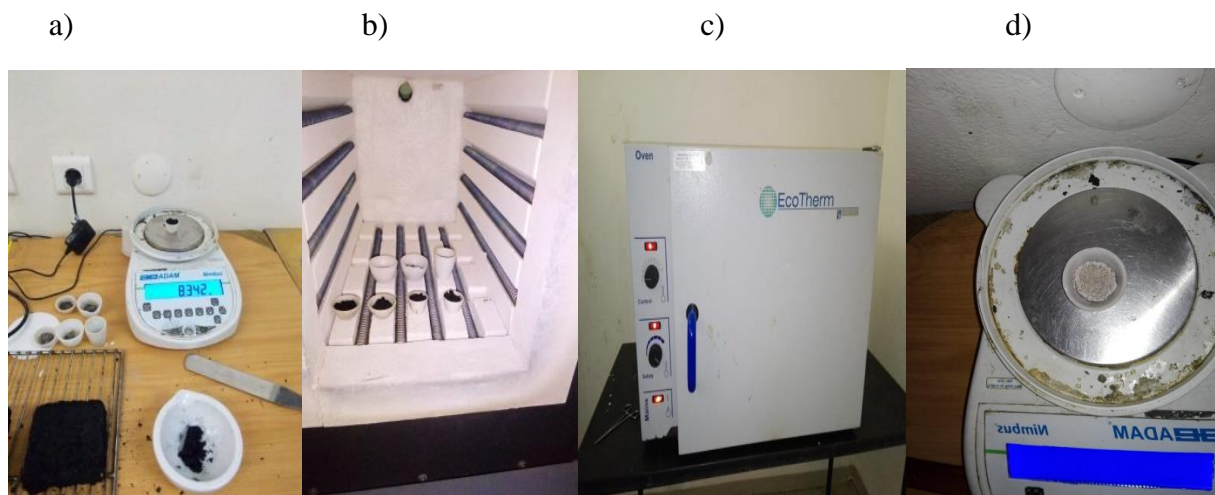


Figura 6 Determinação do teor de cinzas: A) pesagem do cadinho com amostra; B) cadinhos na mufla; C) estufa para resfriamento; D) pesagem das cinzas.

Após a realização destes procedimentos, com os dados obtidos fez se o cálculo do teor de cinzas de acordo com a equação 2:

$$TCZ = \frac{P_{cz}}{P_{as}} * 100 \quad \text{Equação [2]}$$

Onde:

TCZ: Teor de Cinzas

Pcz: Peso das cinzas, em gramas (g);

Pas: Peso da amostra seca, em gramas (g).

3.3.1.3. Teor de Materiais Voláteis

O teor de materiais voláteis como o teor de cinzas também fornece informações aproximadas da condutibilidade dos resíduos e refere-se a 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 do combustível. Para determinar o teor de materiais voláteis foi utilizado um total de 2g de amostra de cada tratamento, pesada na balança de precisão que posteriormente foram colocados em cadinhos de porcelana previamente pesados e conduzidos na mufla a uma temperatura de 550°C durante um período de 3 minutos. As amostram foram retiradas da mufla e colocadas na estufa digital da marca P-selecta Digitheatat TEF para resfriamento e em seguida os cadinhos com as amostram foram pesadas. Os dados obtidos foram usados para determinar o teor de materiais voláteis a partir da equação 3 indicada abaixo:

$$TMV = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100 \quad \text{Equação [3]}$$

Onde:

TMV: teor de Materiais voláteis (%);

Mi: massa inicial da amostra (g);

mf: massa final da amostra (g).

3.3.1.4. Teor de carbono fixo

De acordo com Amaral PM *at al.*, (2015), o teor de carbono fixo depende principalmente do teor de materiais voláteis. O teor de carbono fixo foi determinado a partir da fórmula obtida na literatura, onde os dados necessários para os cálculos foram retirados dos testes anteriormente realizados (Teor de materiais voláteis e cinzas), como indica a equação 4 abaixo:

$$TCF = 100 - (TMV - TCZ) \quad \text{Equação [4]}$$

Onde:

TCF: Teor de Carbono Fixo (%);

TMV= Teor de Materiais Voláteis (%);

TCZ= Teor de Cinzas (%).

3.3.2. Densidade e poder calorífico

3.3.2.1. Densidade aparente

Borghì (2012) destaca que o conceito físico da densidade é a quantidade de massa contida na unidade de volume. A determinação da densidade aparente dos briquetes foi a partir do método estereométrico que é a relação massa e volume, onde a massa dos briquetes foi obtida a partir da pesagem na balança eletrônica, o comprimento, a largura e a altura foram obtidos com auxílio do paquímetro digital. A partir da equação 5, foi determinada a densidade aparente dos briquetes:

$$Da = \frac{m}{v} \quad \text{Equação [5]}$$

Equação [6]

$$v = c \times l \times h$$

Onde:

Da: densidade aparente (kg/m³);

m: massa seca do briquete (kg);

v: volume do briquete (m³);

c: comprimento (m);

l: largura (m);

h: altura (m).

3.3.2.2. Densidade energética

A densidade energética (De) dos briquetes foi obtida a partir do produto entre a densidade aparente e o poder calorífico superior, como mostra a equação 7:

$$De = Da * PCS \quad \text{Equação [7]}$$

Onde:

De: Densidade energética (Gcal/m³);

Da: densidade aparente (kg/m³):

PCS: Poder Calorífico Superior (Kcal/m³).

3.3.2.3. Poder calorífico

O poder calorífico de um combustível pode ser definido como a quantidade de energia térmica libertada durante a queima completa de uma unidade de massa e esta pode ser dividida em superior e inferior. O poder calorífico superior 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 (Salgueiro, 2014). E a sua determinação foi a partir da fórmula 8 de Dias *et al.*, (2012):

$$PCS = 20,0 * (1 - TH - TCZ) \quad \text{Equação [8]}$$

Onde:

PCS: Poder Calorífico Superior (Kcal/kg);

TH: Teor de Humidade (%);

TCZ: Teor de Cinzas (%).

E o poder calorífico inferior é a energia disponível por unidade de massa de combustível após se deduzir as perdas com a evaporação da água (Dias *et al.*, 2012) e esta foi determinada pela seguinte equação 9:

$$PCI = 18,7 * (1 - TCZ) - 21,2 * TH \quad \text{Equação [9]}$$

Onde:

PCI: Poder Calorífico Inferior (Kcal/kg);

TCZ: Teor de Cinzas (%);

TH: Teor de Humidade (%).

3.3.3. Experimentação

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente causalizado (DIC) com arranjo factorial 4×2, sendo os factores tamanhos de partículas (1 mm, 2 mm, 4,75 mm e mistura) e secagem (ar livre e estufa solar) com 4 repetições cada, sendo no total 8 tratamentos e 32 unidades de amostra como ilustra na tabela 3 abaixo:

Tabela 3: Modelo experimental

| Tratamento | Factores | | Repetições |
|------------|---------------|--------------|------------|
| | Granulometria | Secagem | |
| 1 | 1 mm | Ar livre | 4 |
| 1 | 1 mm | Estufa solar | 4 |
| 2 | 2 mm | Ar livre | 4 |
| 2 | 2 mm | Estufa solar | 4 |
| 3 | 4,75 mm | Ar livre | 4 |
| 3 | 4,75 mm | Estufa solar | 4 |
| 4 | Mistura | Ar livre | 4 |
| 4 | Mistura | Estufa solar | 4 |

3.3.4. Análise de dados

Os dados foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade de Shapiro Wilk. Verificada esta preposição, realizou-se a análise de variância (ANOVA) para cada parâmetro analisado, ou seja, para a análise química, densidade e poder calorífico (dados em anexo 1 e 2) e quando detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey a um nível de 5% de significância ($p < 0.05$) para comparação das médias, com auxílio do pacote estatístico *Minitab 18 Statistical Software*.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise química dos briquetes

Análise química dos briquetes pode determinar o seu valor económico (Fernandes, 2015), com os resultados obtidos os briquetes secados ao ar livre para os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram resultados que qualificam o uso do bambu para fins energéticos, mas mesmos os que foram secados na estufa tiveram em alguns parâmetros resultados que se aproximam dos demais. A tabela 4 abaixo indica os resultados obtidos desta análise química feita em triplicata:

Tabela 4: Média dos briquetes obtidos da análise química

| | | Análise química | | | | | | | |
|------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | TH % | | TCZ % | | TMV % | | TCF % | |
| Trat | T.P | AL | EC | AL | EC | AL | EC | AL | EC |
| T1 | 1 mm | 14,6 (1,3) | 17,2 (10.,1) | 6,70 (0,1) | 12,7 (0,2) | 45,4 (0,6) | 45,6 (0,5) | 47,8 (0,6) | 41,6 (0,2) |
| T2 | 2 mm | 16,3 (1,4) | 18,0 (6,5) | 7,45 (0,07) | 11,2 (0,03) | 82,7 (9,3) | 80,0 (9,1) | 20,8 (7,5) | 29,7 (0,16) |
| T3 | 4,75 mm | 16,1 (6,6) | 17,4 (7,5) | 7,8 (0,04) | 21,4 (0,2) | 87,3 (0,4) | 85,7 (0,7) | 4,8 (0,4) | 2,1 (3,3) |
| T4 | Mistura | 18,3 (1,0) | 18,8 (0,7) | 20,0 (0,08) | 13,0 (7,07) | 18,3 (0,15) | 18,3 (0,12) | 61,6 (0,18) | 68,5 (7,1) |

*Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão

Legenda: Trat: Tratamento; T.P: tamanho de partículas; TH: Teor de Humidade; Da: Densidade aparente; TCZ: Teor de Cinzas; TMV: Teor de Materiais Voláteis; TCF: Teor de Carbono fixo; A.L: Ar Livre; E.C.: Estufa Solar

A variação dos resultados obtidos para o teor de humidade foi de 14,6 a 18,8% tendendo a subir a medida que os tamanhos de partículas aumenta para a secagem ao ar livre, isto porque nestas condições há maior vaporização da água devido a incidência directa do sol sobre os briquetes. Estes valores encontrados estão dentro da literatura pois de acordo com Gonçalves *et al.*,(2009), o teor de humidade para a queima varia de 15-20%.

Ananias Júnior (2013) na caracterização de briquetes produzidos a partir de resíduos agro-florestais (moinha de carvão vegetal e resíduos de bambu) obteve valores de teor de humidade na faixa de 12,2 a 17,5% onde o aumento estava relacionado com o aumento dos resíduos de bambu na composição dos briquetes, enquanto M.A Brand (2019) obteve para as 4 espécies avaliadas

(*Bambusa vulgaris*, *Phyllostachys bambusoides*, *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys nigra*) valores do teor de humidade de 8.06%, 7.5%, 3.9% e 5.2% respectivamente mas Friederichs *et al.*, (2015) obteve valores que variavam de 7,4 a 8,01 para briquetes da mesma espécie. Observa-se que Ananias Júnior (2013), obteve valores de teor de humidade altos se comparados com a literatura consultada, mas não distantes aos valores obtidos neste trabalho, contudo a literatura (Balduino *et al.*, 2015) recomenda que o teor de humidade ideal é o menor possível visto que em valores altos estes afectaram a densidade energética e o poder calorífico negativamente.

O teor de cinzas representa a fracção que resta após a queima da matéria orgânica, que é transformada em energia, gás carbónico e água e que em alta concentração pode diminuir o poder calorífico e causar a perda de energia (Juarês, 2020). Os valores obtidos após a análise do teor de cinzas variaram de 6,7 a 20,0% para ar livre e de 12,7 a 21,4% para estufa solar, qualificando os tratamentos T1, T2 e T3 secados ao ar livre como melhores briquetes em relação aos outros.

Segundo Vassilev *et al.*, (2010), o teor de cinzas pode variar entre 0,1% e 46,3%, sendo assim os valores encontrados estão de acordo com a literatura, mas Mande (2009) aponta que altos teores de cinzas podem levar a corrosão do queimador e o desgaste de todos equipamentos por abrasão quando forem superiores a 4%, sendo assim os valores obtidos neste trabalho são altos em relação ao que a literatura recomenda.

No experimento realizado por Júnior *et al.* (2011), obteve 2,06% do teor de cinzas para *Bambusa vulgaris* Schard enquanto Amaral, P.M. *et al.*, (2015) caracterizando briquetes de duas variedades de *Bambusa vulgaris* obteve 7,19% e 7,09% que se aproximam os valores encontrados neste trabalho para os tratamentos T1, T2 e T3 para as condições de secagem ao ar livre. Portanto os teores de cinzas para o material analisado podem ser considerados altos se comparados com os valores reportados na literatura. Um dos factores que influencia neste teor em espécies de bambu é o alto teor de sílica (Liu *et al.*, 2014). Além desse factor, outros como composição anatómica dos materiais lignocelulósicos, idade, espécie, variedade do material e local de extracção das fibras são exemplos de características ligadas a essa propriedade (Júnior *et al.*, 2011).

O teor de materiais voláteis refere-se a fracção de biomassa que por via de decomposição térmica até aos 900°C, este contribui com cerca de 70% de calor para o processo de combustão (William, 2012). De acordo com Júnior *et al.*, (2014), quanto maior for o teor de material volátil no combustível maior será a sua capacidade de reactividade e rápida ignição ou seja gerar chamas. Sendo assim os briquetes dos tratamentos T2 e T3 apresentaram um valor alto comparado ao que

Amaral, P.M. *et al.*, (2015) obteve que foi de 75,54% e 73,95%, mas superior se comparado com os tratamentos 1 e 4 enquanto M.A. Brand *et al.*, (2019) ao estudar o potencial de espécies de bambu para a produção de briquetes, obteve para a *Bambusa vulgaris*, *Phyllostachys bambusoides*, *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys nigra*: 82.25%, 81.88%, 80.62% e 79.01% respectivamente. Portanto os teores de matérias voláteis para os materiais analisados neste trabalho, apresentaram valores altos para dois tratamentos (T2 e T3) se comparados com os valores reportados na literatura e que a mesma recomenda, mas também apresentaram valores baixos para dois tratamentos (T1 e T4).

O teor de carbono fixo é uma importante propriedade pois esta atrelada ao tempo de resiliência da biomassa na fornalha de queima, gerando energia por mais tempo. De acordo com Foelkel (2016), o teor de carbono fixo da biomassa costuma variar entre 14% a 16,5% mas Caraschi *et al.*, (2012) aponta que maiores teores de carbono fixo são desejáveis, visto que aumentam o tempo de residência do combustível no aparelho de queima. Os valores obtidos neste trabalho variaram de 4.8 a 61.6% para secagem ao ar livre e 2.1 a 68.5% para secagem na estufa solar, o que significa que os briquetes do tratamento T3 que apresentaram um teor de carbono fixo menor terão uma queima mais rápida no aparelho de queima em comparação com os outros tratamentos, como o tratamento T4 que apresentou o maior teor de carbono fixo, que segundo Maia (2013), quanto maior o valor do carbono fixo maior será o calor gerado durante a combustão. O teor de carbono fixo tem uma relação inversa com os teores de cinzas e materiais voláteis, nota-se que para os tratamentos que apresentaram menor teor de materiais voláteis, tiveram altos teores de carbono fixo e vice-versa.

Em experimento realizado por M.A. Brand *et al.*, (2010), o valor do teor de carbono fixo para *Bambusa vulgaris* foi de 15.26%, enquanto o valor obtido por Amaral, P.M. *et al.*, (2015) esteve entre 17,27% e 18,96% e Ananias Júnior (2013) obteve entre 52,04 a 16,40 onde verificou um decréscimo no seu teor quanto mais se aumentava os resíduos de bambu na composição do briquete. Portanto, os teores de carbono fixo obtidos neste trabalho podem ser considerados altos (excepto o tratamento T3) se comparados com os valores encontrados na literatura, contudo estes valores indicam que os briquetes dos tratamentos T1, T2 e T4 tem maior tempo no aparelho de queima.

4.2. Densidade e poder calorífico dos briquetes

De acordo com os valores obtidos na densidade e no poder calorífico, os briquetes secados ao ar livre apresentaram melhores valores se comparados com os outros. A tabela 5 abaixo, indica os resultados obtidos através da densidade e do poder calorífico dos briquetes:

Tabela 5: Média dos briquetes da densidade e poder calorífico

| Trat | TP | Densidade | | Poder calorífico | | | | | |
|------|---------|-------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | Da (kg/m ³) | | De (Gcal/m ³) | | PCS (kcal/kg) | | PCI (kcal/kg) | |
| | | A.L | E.C | A.L | E.C | A.L | E.C | A.L | E.C |
| 1 | 1 mm | 667,8 (63,7) | 561,2 (94,8) | 2,5 (0,22) | 1,7 (0,56) | 3758,6 (72,8) | 2991,8 (540,8) | 3427,0 (76,3) | 2650,4 (571,5) |
| 2 | 2 mm | 650,1 (49,4) | 569,6 (43,3) | 2,3 (0,15) | 1,8 (0,45) | 3637,7 (68,9) | 3143,3 (559,1) | 2801,9 (73,1) | 3303,3 (592,7) |
| 3 | 4,75 mm | 679,7 (26,1) | 469,4 (45,5) | 2,3 (0,16) | 1,3 (0,26) | 3424,0 (192,4) | 2920,8 (354,2) | 3079,0 (203,9) | 2626,8 (374,5) |
| 4 | Mistura | 532,9 (42,8) | 341,8 (51,7) | 1,4 (0,21) | 1,09 (0,18) | 2782,1 (184,8) | 3209,9 (323,6) | 2471,4 (195,5) | 2883,6 (301,1) |

*Os valores em parênteses referem ao desvio padrão.

Legenda: Trat: tratamento; TP: tamanho de partículas; De: Densidade energética; PCS: Poder calorífico Superior; PCI: Poder Calorífico Inferior; A.L: Ar Livre; E.C.: Estufa Solar

De acordo com *Dias et al.*, (2012) quanto maior for a densidade, maior a razão energia/volume. Este ainda considera este parâmetro como importante para análise de qualidade. Os valores da densidade aparente obtidos variam de 532.9 a 679.7 kg/m³ na secagem ao ar livre e de 341.8 kg/m³ a 569.6 kg/m³ para secagem na estufa solar. Observa-se que os valores obtidos neste trabalho na secagem ao ar livre são maiores e melhores se comparados aos obtidos na estufa solar, e de acordo com Brand (2010) quanto mais alta a densidade aparente maior será a densidade energética, o que reflecte em economia em transporte e menor espaço para armazenamento. Segundo *Dias et al.*, (2012) a densidade aparente varia entre 500 a 1200 kg/m³, sendo assim os valores obtidos neste trabalho podem ser considerados dentro do recomendado pela literatura.

Dias Júnior et al., (2014) ao produzir briquetes de resíduos de bambu em mistura com moinhos de carvão vegetal, em diferentes proporções obteve valores de densidade aparente na faixa de 210 a 680 kg/m³ mas sobe as mesmas condições Ananias Júnior (2013) obteve valores que oscilaram ente 211 a 473 kg/m³.

De acordo com Freitas *et al.*, (2016) ao avaliar briquetes de *B. vulgaris*, *D. asper* e *B. tuloides* obteve valores da densidade aparente na faixa de 1220 kg/m³. Observa-se que os valores obtidos por Freitas *et al.*, (2016) apresentaram uma média superior aos demais estudos citados. No entanto, esta diferença significativa entre os valores da densidade aparente obtida neste trabalho e na literatura (Freitas *et al.*, 2016) não inviabiliza o uso dos briquetes do bambu em substituição dos combustíveis lenhosos, pois o mesmo apresentou valores dentro da faixa reportada na literatura. A densidade energética é o produto entre a densidade aparente e o poder calorífico superior, os valores obtidos variam entre 1.4 a 2.5 Gcal/m³ para secagem ao ar livre e de 1.09 a 1.8 Gcal/m³, destacando o tratamento T1 com melhor densidade energética.

Freitas, (2016) avaliando 3 espécies de bambu (*B. vulgaris*, *D. asper* e *B. tuloides*) obteve valores de densidade energética na faixa de 5.14 a 5.50 Gcal/m³ que comparando com os valores obtidos neste trabalho foram muito altos, porém próximos do carvão de bambu obtidos por Santos et.al., (2016) na faixa de 2,16 a 3,19G.cal/m³ e 2,30 para Eucalipto.

A densidade energética é um parâmetro importante pois avalia a qualidade dos briquetes e deseja-se valores altos da mesma pois são indicadores de maiores quantidades de energia por unidade de massa. Portanto, de acordo com os valores obtidos, os tratamentos que indicaram melhores densidades energéticas foram T1, T2 e T3 nas condições de secagem ao ar livre.

O poder calorífico superior mede a quantidade de energia liberada de um determinado combustível sólido por unidade de massa. Os valores obtidos do poder calorífico dos briquetes, variou de 2782.17 kcal/kg a 3758.68 kcal/kg para secagem ao ar livre e de 2920.8 a 3209.9 Kcal/kg para secagem na estufa solar, onde o maior valor foi obtido pelo tratamento T1 secado ao ar livre em contra partida o mesmo apresentou uma diminuição de 20% para o mesmo tratamento secado na estufa, sendo assim, o melhor poder calorífico foi obtido a partir da secagem ao ar livre, mas o menor valor do poder calorífico foi verificado no tratamento T4 secado ao ar livre com um aumento de 13% para o mesmo tratamento mas secado na estufa. Portanto apesar dessa contradição, pode-se usar os dois tipos de secagem para a produção de briquetes.

Segundo Cortez *et al.*, (2018), a média geral de combustível sólido de origem vegetal para o poder calorífico é de 3749,88 kcal/kg, e os valores obtidos neste trabalho estão alguns fora e outros aproximados e superior a esse valor observado na literatura.

Em seu experimento, Silva *et al.*, (2018) obteve para bambu um poder calorífico de 4448,88 kcal/kg, enquanto M.A. Brand *et al.*, (2019) obteve valores de poder calorífico superior para

espécies de bambu (*B. vulgaris*, *P. bambusoides*, *P. edulis* e *P. nigra*) variando entre 4,575 kcal/kg a 4,716 kcal/kg e Ananias Júnior (2013) obteve valores na faixa de 6,427,01 kcal/kg a 7.824 kcal/kg. Portanto os poderes caloríficos obtidos neste trabalho podem ser considerados baixos se comparados com os valores reportados na literatura.

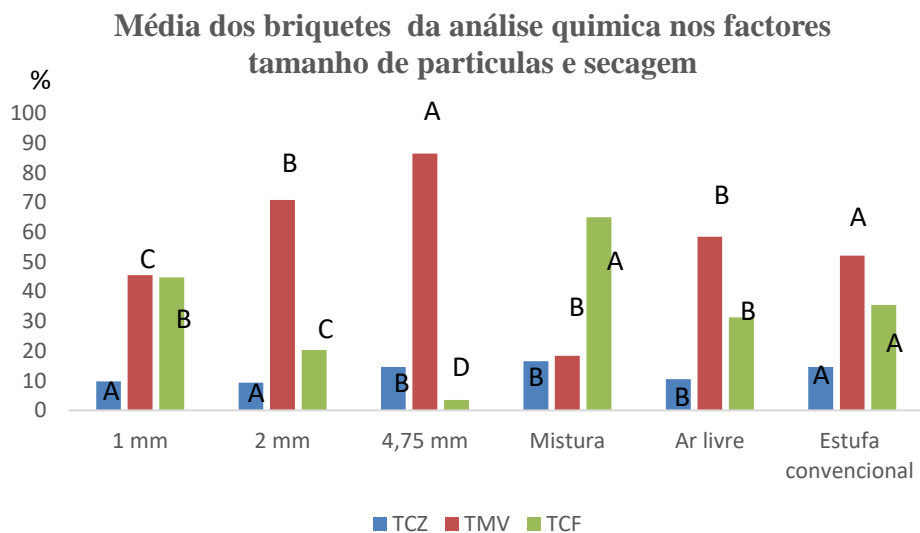
Um dos factores que influenciou na redução do poder calorífico superior é o alto teor de cinzas, sem deixar de lado os outros factores como o teor de humidade que é um parâmetro chave para obter valores superiores ou baixos. Apesar de ocorrer diferenças significativas nos valores do poder calorífico entre os valores da literatura e entre tratamentos, essas diferenças não são suficientes para inviabilizar o uso do bambu para produção e de uso de briquetes como fonte de energia em substituição aos combustíveis lenhosos.

De acordo com a FAO (2012), o poder calorífico inferior leva em conta a energia não recuperada a partir do vapor de água ou seja esta corresponde a energia disponível após deduzi as perdas com a evaporação. Os valores obtidos para o poder calorífico inferior variaram de 2471,45 a 3427.09 kcal/m³ para secagem ao ar livre e de 2626.8 a 3303.3 kcal/m³ para estufa solar estatisticamente a maioria dos tratamentos não apresentou nenhuma diferença, mas o tratamento 4 submetido ao ar livre com o valor menor diferiu dos tratamentos T1 e T2 submetidos nas mesmas condições. A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, o melhor poder calorífico foi verificado nos tratamentos T1, T2 e T3 submetidos a secagem ar livre. Em suma estes briquetes podem ser usados como fonte de energia em substituição dos combustíveis lenhosos.

4.3. Análise estatística

4.3.1. Efeito dos factores tamanho de partículas e secagem sobre a análise química

Para o teor de humidade, os valores das médias obtidas não tiveram variação estatística a um nível de 5% de significância, o que significa que as médias não diferem, não sendo necessário submetê-las ao teste de comparação das médias de Tukey. Contudo, para os teores de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo ao serem submetidos a ANOVA (anexo 1) apresentaram o valor-P igual a 0, significando que não há interacção entre o tamanho das partículas e a secagem, sendo necessário se discutir as médias dos factores (tamanho de partículas e secagem) em separado. A figura 7 abaixo, apresenta as médias dos briquetes que foram submetidas ao teste de comparação das medias de Tukey a um nível de 5% de significância:



Nota: Médias seguidas da mesma letra na coluna indica que não há diferença significativa entre os briquetes, a um nível de 95% de probabilidade para o teste de Tukey.

Figura 7: Média dos briquetes da análise química nos factores tamanho de partículas e secagem

De acordo com os valores das médias, os valores do teor de cinzas decresciam em função da diminuição do tamanho de partículas, e os melhor briquete foi de 2 mm, visto que deseja-se menores valores do teor de cinza, devido a corrosão do queimador e desgaste de equipamentos se este estiver em valor altos. A secagem ao ar livre apresentou melhores condições se comparados a secagem na estufa solar. Entretanto este parâmetro apresenta valores acima do intervalo normalmente observado na literatura vigente para briquetes de bambu, segundo alguns autores situa-se na faixa de 2% a 8%, este facto pode estar relacionado com o alto teor de sílica que os bambus contem e a uma provável contaminação por minerais.

Resultado semelhante foi obtido por Vieira *et al.*, (2018) avaliando propriedades termoquímicas dos briquetes produzidos a partir de finos de carvão vegetal e resíduos de *Pinus spp*, constatando que com a redução dos tamanhos das partículas resultou na diminuição do teor de materiais voláteis. É provável que este facto esteja relacionado com a diminuição da porosidade das partículas e dos espaços vazios entre os finos de carvão. Em função da redução dos tamanhos de partículas e da maior compactação e justaposição do material pulverizado (Dias Júnior *et al.*, 2014). Em relação aos teores de carbono fixo, é possível detectar que o aumento dos tamanhos de partículas há uma redução no teor de carbono fixo. É provável que este facto esteja relacionado com os maiores valores do teor de matérias voláteis, visto que existe uma relação negativa com o

teor de carbono fixo, onde quanto maior for o teor de matérias voláteis menor será o teor carbono fixo e vice versa. E para as condições de secagem, observa-se que essa relação prevalece pois com valores altos do teor de matérias voláteis ocorreu a redução do teor de carbono fixo.

4.3.2. Densidade e poder calorífico

De acordo com os resultados obtidos na ANOVA (anexo 2), observou-se que existe interacção entre o Tamanho das partículas*Secagem, contudo de forma isolada o tamanho de partículas e a secagem influenciaram na densidade dos briquetes como indica a tabela 6 abaixo:

Tabela 6: Média dos briquetes da densidade nos factores tamanho de partículas e secagem

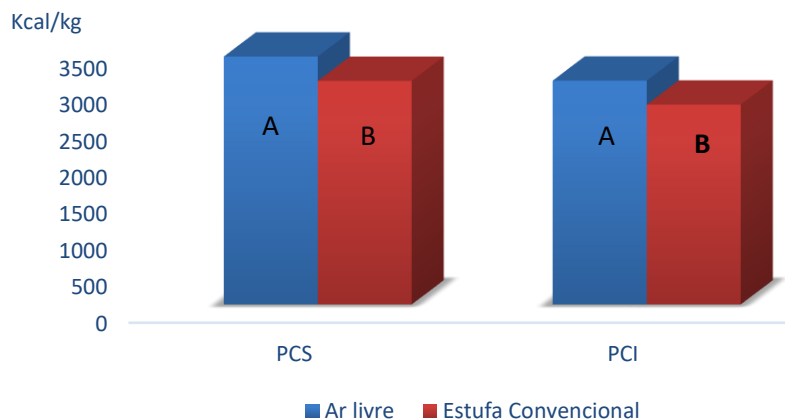
| Factores | Níveis | Médias | |
|-----------------------|--------------|--------------------|-----------|
| | | Da | De |
| Tamanho de partículas | 1 mm | 614,5 ^a | 2110537 A |
| | 2 mm | 609,9 A | 2085457 A |
| | 4,75 mm | 574,6 A | 1854026 A |
| | Mistura | 437,4 B | 1990863 B |
| Secagem | Ar livre | 632,6 A | 2171871 A |
| | Estufa solar | 483,5 B | 1498571 B |

Legenda: Da: Densidade aparente (kg/cm³); De: Densidade energética (kcal/kg) Nota: Médias seguidas da mesma letra na coluna indica que não há diferença significativa entre os briquetes, a um nível de 95% de probabilidade para o teste de Tukey.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que no factor tamanho de partículas ocorre a diminuição da densidade quando se aumenta o tamanho das mesmas, corroborando com a afirmação de Dias *et al.*, (2012) que quanto menor for o tamanho de partículas, menor será a porosidade do produto final e portanto maior será a sua densidade. E no factor secagem, a condição ar livre mostrou melhores resultados em comparação com a secagem na estufa solar. Estas situações ocorrem em simultâneo para os dois tipos de densidade, portanto partículas menores e secadas ao ar livre, maior será a sua densidade.

Para o poder caloríficos, os resultados obtidos na Anova (em anexo) indicam que há interacção entre o tamanho de partículas*secagem, contudo o tamanho de partículas não interfere no mesmo mas a secagem influencia de forma significativa, como indica a figura 8 do teste de Tukey:

Médias dos briquetes na secagem ao ar livre e na estufa solar



Nota: Médias seguidas da mesma letra na coluna indica que não há diferença significativa entre os briquetes, a um nível de 95% de probabilidade para o teste de Tukey.

Figura 8: Média dos briquetes na secagem ao ar livre e na estufa solar

De acordo com os resultados obtidos, a condição de secagem ao ar livre possibilitou maiores valores de poder calorífico. A diminuição do poder calorífico na condição de secagem na estufa solar deveu-se em maior parte pelos altos valores do teor de humidade, mas não se descarta ao todo o uso desta condição na produção de briquetes.

V. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, o bambu mostrou-se um material com um potencial energético na produção de briquetes para uso como fonte de energia.

Os briquetes com menores tamanhos de partículas apresentaram melhor desempenho nos parâmetros analisados em relação aos briquetes com tamanhos maiores.

De acordo com os resultados obtidos, existe diferença significativa entre o tamanho de partículas e a secagem quanto ao desempenho energético dos briquetes.

Portanto, os resultados encontrados, demonstraram que os tratamentos T1, T2 e T3 secados ao ar livre, foram mais eficientes, com briquetes apresentando grande potencial energético, sendo bons substitutos dos combustíveis lenhosos.

VI. RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se:

Para os próximos pesquisadores:

- Redução da secagem dos finos de carvão de bambu antes da produção dos briquetes;
- Estudos sobre o potencial energético dos briquetes de bambu na forma natural, e usando outras espécies de bambu;
- Estudos sobre o rendimento gravimétrico do bambu após a carbonização;
- Inclusão de outros parâmetros a resistência mecânica dos briquetes e avaliação do índice de combustão.

Para o país:

- O uso de novas alternativas como a combinação do bambu com outros materiais na produção de briquetes como fonte energética em substituição do carvão vegetal e da lenha visto que apresenta características que a qualificam como uma fonte sustentável e que o seu crescimento e propagação são rápidas em relação as espécies nativas. Sendo assim deve se pautar também pela plantação de bambu.

Para os produtores:

- Valorizar o bambu, tanto em resíduo ou como em biomassa seca para a produção de briquetes, como forma de evitar a desvalorização do mesmo.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ailton Junior Avaliação do Potencial Energético de Duas Espécies de Bambu Cultivadas em Santa Catarina /Ailton Leonel Junior Balduino. Lages - 2015.128 p.

Alves Junior, F.T.; Santos, G.A. Potencial de geração de biomassa para briquetagem e o perfil do mercado consumidor deste insumo na região de Cariri – CE. In. Congresso Ibero Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais, 2. Seminário em Tecnologia da Madeiras e Produtos Florestais não Madeiráveis, 1.; 2002, Curitiba. Anais... Curitiba:FUPEF, 2002. 1 – CD ROM.

Amaral, P. M. *et al.* Caracterização química, física e mecânica de briquetes de duas variedades de bambu. Instituto Magazine, v. 27, n. 1, p. 73-81, 2015.

Ananias Júnior. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agro-florestais. Instituto de Florestas Seropédica, RJ. 2013. 36p

Balduino Junior., A. L.; Balduino, T. Y.; Friederichs, G.; Cunha, A. B.; Brand, M. A. Energetic potential of bamboo culms for industrial and domestic use in Southern Brazil. Revista Ciência Rural, Santa Maria, v. 46, n. 11, p. 1963-1968, 2015.

Bamboo Phylogeny Group. An updated tribal and subtribal classification of the bamboos (Poaceae: Bambusoideae). Bamboo Science & Culture, v. 24, n. 1, p. 1-10, 2012.

Banik, R. L. Morphology and growth. In: Liese, W. & Köhl, M. (Ed.). Tropical forestry, bamboo: the plant and its uses. Switzerland:Springer International Publishing, 2015. p. 43-89. DOI:10.1007/9783-319-14133-6_3.

Belward, A., Bisselink, B., Bódis, K., Brink, A., Dallemann, J., de Roo, A., Huld, T., Kayitakire, F., Mayaux, P., Moner-Girona, M., Ossenbrink, H., Pinedo, I., Sint, H., Thielen, J., Szabó, S., Tromboni, U. e Willemen, L. (2011) Renewable energies in Africa – Current knowledge. Edited by F. Monforti, European Commission – Joint Research Centre (JRC), Luxembourg Publications Office of the European Union.

Borghi, M.M. Efeito de granulometria na avaliação de briquete. Monografia (Trabalho de Conclusão de curso). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória-ES, 2002

Brand, M.A. Energia de biomassa florestal. 1.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

Capote, F. G. Caracterização e classificação de co-produtos compactados da biomassa para fins energéticos. Dissertação (Mestrado Interinstitucional em Bioenergia) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012, 73p.

Caraschi, J. C.; Pinheiro, D. G.; Ventorin, G. Caracterização física e química dos pellets de madeira produzidos no Brasil. UFES/Vitória – 23 a 25 de julho de 2012.

Chaowana, P. Bamboo: a functionally graded composite material. Forest Products Journal, v. 65, n. 3/4, p. 48-53, 2014.

Chaves, A. M. B.; Vale, A. T.; Melido, R. C. N.; Zoch, V.P. Características Energéticas da Madeira e Carvão Vegetal de Clones de *Eucalyptus* spp. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia, v.9, n.17; p. 534. 2013.

Clark, L. G. Bamboo taxonomy and habitat. In: Liese, W. & Köhl, M. (Ed.). Tropical forestry, bamboo: the plant and its uses. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. p. 1-30. DOI:10.1007/978-3-319-14133-6_3.

Cortez L. A. B.; Lora E. E. S.; Gomes E. O (Org.). Biomassa para energia. In: Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2018.

T. W. Cruz (2017, 24 de Julho), “Abordagem da viabilidade do uso do bambu na construção civil”

Dantas, A. P., Santos, R. D., & Souza, S. D. (2012). O briquete como combustível alternativo para a produção de energia. In III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO (Vol. 19).

De Melo, V. D. P. S. Produção de briquetes de carvão vegetal com alcatrão de madeira. 2010. 64 (Mestrado). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Dias Júnior, A. F.; Andrade, A. M.; Costa Junior, D. S. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais. Pesquisa Florestal Brasileira (Online), v. 34, p. 225-234, 2014.MG.

Dias, J. M. C. D. S.; Santos, D. T.; Braga, M.; Onoyama, M. M.; Miranda, C. H.B.; Barbosa, P. F. D.; Rocha, J. D. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Embrapa Agroenergia, 2012.

Dias Júnior, A. F.; Andrada, A. M.; Costa Junior, D. S. DA. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 34, n. 79, p. 225 - 234, 2013.

Falcão, D. M. S. (2013). *Produção e Consumo Doméstico de Combustíveis Lenhosos em Moçambique*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energia e Bioenergia. Universidade Nova de Lisboa.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Anuário estatístico 2004. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em 24/05/2012.

Fernandes, P.I.C. *Estudo da Biomassa Florestal Residual Consumida em Centrais Termoelétricas*. 2015. 76p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente), Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

Freitas, A. J. Efeito da pressão e do tempo de compactação nas propriedades de briquetes de resíduos madeireiros de paricá. *Nativa*, v. 4, n. 6, p. 380-385, 2016.

Foekel, C. *Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade*. Ano 2016.

Furtado, T.S.; Valim, M.; Brand, M.A.; Bellote, A.F.J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. *Revista Pesquisa Florestal Brasileira* v.30 n. 62.p 101-106. Colombo-PR. 2010.

Gonçalves, J.E.; Sartori, M.M.P.; Leão. A.L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. *Energia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.5, p.657-661, 2009.

Gonçalves, J.E. *Avaliação energética e ambiental de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de Eucalyptus grandis*. 2010. 104p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

Greco, T. M. & Cromberg, M. *Bambu: cultivo e manejo*. Florianópolis: Insular, 2011. 184 p. GTZ (2009b) *Renewable energies in East Africa. Regional Report on Potentials and Markets – 5 Country Analyses*. Energy-policy Framework Papers, Section “Energy and transport”, Munich, Germany.

Juarês, Leonido, Levi, & Gouveia, Luis Borges. Projecto de Carvão Sustentável- Um projecto de Gestão Ambiental com uso dos Briquetes nas comunidades urbanas e periurbanas em Angola-. 2020, vol. 3, n. 2, pp. 1-37 ISSN 2184-4569

Júnior, M.G. et al. Caracterização físico-química de fibras e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. *Revista LatinAm. Metal. Mat.*, v. 33, n. 1, p. 33-42, 2011

Júnior, A. L. J. Avaliação do potencial energético da biomassa de duas espécies de bambu cultivadas em Santa Catarina. 2015. 128f. Dissertação de Pós-graduação –Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages/SC, 2015.

Júnior, A. F. D.; Andrade, A. M. D.; Júnior, D. S. C. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais. *Brazilian Journal of Forestry Research*, v. 34, n.79, p. 10, 2014.

Liu, Z.; Fei, B.; Jiang, Z.; Cai, Z.; Liu, X. Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China. *Wood Science and Technology*, v. 48, n. 5, p. 903–917. 2014.

P. van der Lugt (2017), *Booming Bamboo: The (re)discovery of a sustainable material with endless possibilities*, Materia, Naarden (Netherlands).

M. A. Brand.; Junior, A. L. B.; Nones, D. L.; Gaa, A. Z. N. Potential of bamboo species for the production of briquettes. 2019. e-ISSN 1983-4063 - www.agro.ufg.br/pat - *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 49, e54178,

MAE – Ministério da Administração Estatal (2005) Série: Perfis distritais. Ministério da Administração Estatal da República de Moçambique, Maputo, Moçambique.

Maia, C. M. B. D. F., Baratto, R. L., Guiotoku, M., Siqueira, F. C. D. J., Madari, B. E., Gabriel, W., & DE Oliveira, L. E. A. L. Efeito da temperatura de carbonização sobre características físico-químicas dos carvões de duas espécies de bambu. In: Embrapa Florestas Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Encontro Brasileiro de Substâncias Humicas, 10., 2013, Santo Antônio de Goiás. *Matéria orgânica e qualidade ambiental: anais*. Brasília, DF: Embrapa, 2013., 2013.

Magalhães, Mateus Alves. Caracterização de pellets produzidos a partir de capim-elefante para uso energético. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, v. 7, n. 3, 2017.

Mande, S.P. Thermo chemical conversion of biomass. In: KISHORE, V.V.N. Renewable energy engineering and technology. New Delhi: The Energy and Resources Institute, 2009. p.705-728.

Manico, Juarês, Leonido, Levi, & Gouveia, Luis Borges. Projecto de Carvão Sustentável—um Projecto de Gestão Ambiental Com uso dos Briquetes nas Comunidades urbanas e periurbanas em Angola—Huambo. 2020, vol. 3, n.

Mendes, C. Biocombustíveis Sólidos – Produção, Qualidade e Utilização no Mercado de Calor. In: Workshop do Laboratório Especializado em Biocombustíveis Sólidos, 2011, Coimbra. Anais...Coimbra, Portugal: Centro da Biomassa para a energia, 2011.

G. Minke (2016), *Building with Bamboo: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, 2ª edição, Birkhäuser, Basel.

Nascimento, B. B. Efeito da cinza de Biomassa Florestal na fertilidade e na sorção de imazetapir em solos ácidos. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) -Universidade de São Paulo, Piracicaba- SP.

National Tropical Botanical Garden. *Bambusa vulgaris*: Schrad. ex JC Wendl.- bambu comum. 2014.

Nayak, L. & Mishra, S. P. Prospect of bamboo as a renewable textile fiber, historical overview, labeling, controversies and regulation. *Fashion and Textiles*, v. 3, n. 2, p. 1-23, 2016. DOI: 10.1186/s40691-015-0054-5.

Ohana, Cléo Carvalho. Utilização de resíduos do processamento de teca (*Tectona grandis* L.f.) na produção de briquetes. 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Okahisa, Y. Nanostructural changes in bamboo cell walls with aging and their possible effects on mechanical properties. *Journal of Materials Science*, v. 53, p. 3972-3980, 2018. DOI: 10.1007/s10853-017-1886-8.

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 na Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Protásio, T.P. *et al.* Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.31, p.273-283, 2011.

Protasio, T. P.; Bufalino, L.; Mendes, R. F.; Ribeiro, M.X.; Trugilho, P. F.; Leite, E. R. S. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 11, p. 1252-1258, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012001100015>.

Protasio, T. P.; Trugilho, P. F.; Cesar, A. A. S.; Napoli, A.; Melo, I. C. N. A.; Silva, M. G. Babassu nut residues: potential for bioenergy use in the North and Northeast of Brazil. *SpringerPlus*, Heidelberg, v. 3, n. 124, p. 1-14, 2014.

Quirino, W.F. Utilização energética de resíduos vegetais. MMA/LPF. Brasília. 2002.

Rodrigues, V.A.J. Valorização energética de Iodo biológico da Indústria de polpa Celulósica através da briquetagem. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 2010

Santos, R. C.; Carneiro, A. C. O.; Pimenta, A. S.; Castro, R. V. O.; Marinho, I. V.; Trugilho, P.F.; Alves, I. C.N.; Castro, A. F. N. M.; Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.23, n.2, p.491-502. (2013).

Santos, K. F. dos; Ferreira, T. S.; Higuchi, P.; Silva, A. C. da; Vandresen, P. B.; Costa, A.; Spada, G.; Schimitz, V.; Souza, F. de. Regeneração natural do componente arbóreo após a mortalidade de um maciço de taquara em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Lages - SC. *Ciência Florestal*, v. 25, n.1, p. 107-117, 2019.

Santos *et al.* – Potencial de espécies de Bambu como fonte energética. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 751-758, set. 2016 DOI: dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n111.21

Silva, D. A.; Yamaji, F. M.; Barros, H. L.; Róz, A. L.; Nakashima, G. T. Caracterização de biomassas para a briquetagem. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 713-722, 2018.

Sitoe, A., e Tchaúque, F. (2007). Medição de Biomassa Florestal Utilizando Informação do Inventário Florestal: Relatório Final. Maputo, Moçambique: Direcção Nacional de Terras e Florestas/Unidade de Inventário Florestal

Smole, M. S. Plant fibers for textile and technical applications. In: Grundas, S. & Stepniewski, A. (Ed.). *Advances in agrophysical research*. London: InTech. 2013. p. 369-397. DOI: 10.5772/52372.

Texeira, S. R.; Souza, A. E.; Pena, A. F. V.; Lima, R. G.; Miguel, A. G. Use of Charcoal and Partially Pirolysed Biomaterial in Fly Ash to Produce Briquettes: Sugarcane Bagasse In: Manzanera, M. (Ed.). *Alternative Fuel: InTech*, 2011. cap. 8, p.179-200.

Thais Oshiro, L.; *Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos lignocelulosicos*; Universidade Tecnológica Federal do Parana; Londrina, 2016.

Vassilev, S.V. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, v.89, n.5, p.913-933, may, 2010.

Vieria, A. T. O; Nascimento, A. M; Andrade, A. M; Dias Junior, A. F. Propriedades termoquímicas de briquetes produzidos com finos de carvão vegetal e resíduos de *Pinus* spp. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 46, n. 119, p. 483-493, set. 2018

Williams, A Pollutants from the combustion of solid biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, v.38, n.2, p.113-137, april. 2012

Yeasmin, L. Bamboo: an overview on its genetic diversity and characterization. *Biotech*, v. 201, n. 5, p. 1-11. 2014. DOI: 10.1007/s13205-014-0201-5.

Zago, E. S.; Froehlich, A. G., O processo de briquetagem como alternativa de sustentabilidade para as indústrias madeireiras do município de Aripuanã-MT. *Revista Technoeng. Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE*. 2ª ed. v. 1, p. 1-13, 2010.

Zanella, Karine, 1987-Produção de briquetes de carvão vegetal por meio do beneficiamento do bagaço da laranja (*Citrus Sinensis*) / Karine Zanella. – Campinas, SP : [s.n.],2018.

VIII. ANEXOS

Anexo 1.

Tabela 7: Resumo da ANOVA da análise química

| | | Análise química | | | | | | | |
|-------------------------------|----|------------------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| | | TH | | TCZ | | TMV | | TCF | |
| Fonte de Variação | | Valor-F | Valor-P | Valor-F | Valor-P | Valor-F | Valor-P | Valor-F | Valor-P |
| Tamanho de partículas | de | 0.32 | 0.814 | 16.37 | 0.0 | 280.31 | 0.0 | 391.77 | 0.0 |
| Secagem | | 0.58 | 0.452 | 21.74 | 0.0 | 12.47 | 0.002 | 9.56 | 0.005 |
| Tamanho de partículas*Secagem | de | 0.05 | 0.986 | 22.91 | 0.0 | 10.62 | 0.0 | 19.91 | 0.0 |
| Erro | | 24 | | | | | | | |
| Total | | 31 | | | | | | | |

Anexo 2.

Tabela 8: Resumo da ANOVA para densidade e poder calorífico

| | | Análise energética | | | | Poder calorífico | | | |
|-------------------------------|----|---------------------------|---------|-----------|---------|-------------------------|---------|------------|---------|
| | | Da | | De | | PCS | | PCI | |
| Fonte de Variação | | Valor-F | Valor-P | Valor-F | Valor-P | Valor-F | Valor-P | Valor-F | Valor-P |
| Tamanho de partículas | de | 17.9 | 0.0 | 11.9 | 0.0 | 2.4 | 0.08 | 2.01 | 0.1 |
| Secagem | | 56.1 | 0.0 | 37.2 | 0.0 | 7.8 | 0.01 | 6.9 | 0.01 |
| Tamanho de partículas*Secagem | de | 2.6 | 0.07 | 1.2 | 0.3 | 4.7 | 0.009 | 4.2 | 0.01 |
| Erro | | 24 | | | | | | | |
| Total | | 31 | | | | | | | |