



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CÂMPUS DE POMBAL-PB**

MIKAELE GOMES BATISTA

**APROVEITAMENTO DA CASCA DE COCO E PODAS DE ÁRVORES NO
PROCESSO DE BRIQUETAGEM**

Pombal - PB

2017

MIKAELE GOMES BATISTA

**APROVEITAMENTO DA CASCA DE COCO E PODAS DE ÁRVORES NO
PROCESSO DE BRIQUETAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. ROBERLUCIA
ARAÚJO CANDEIA

Pombal - PB

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B333a Batista, Mikaele Gomes.
Aproveitamento da casca de coco e podas de árvores no processo de briquetagem / Mikaele Gomes Batista. – Pombal, 2017.
48 f. : il. color

Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2017.
"Orientação: Profª. Drª. Roberlucia Araújo Candeia".
Referências.

1. Energia Alternativa. 2. Lenha Ecológica. 3. Biomassa Vegetal. I. Candeia, Roberlucia Araújo. II. Título.

CDU 620.92(043)

MIKAELE GOMES BATISTA

**APROVEITAMENTO DA CASCA DE COCO E PODAS DE ÁRVORES NO
PROCESSO DE BRIQUETAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. ROBERLUCIA ARAÚJO CANDEIA

Apresentado em _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Roberlucia Araújo Candeia
(Orientador – UFCG/*Campus* de Pombal-PB)

MSc. Emanuel Tarcísio do Rêgo Farias
(Examinador Interno – UFCG/*Campus* de Pombal-PB)

MSc. Itala Zimaria do Nascimento Medeiros
(Examinador Externo)

Dedico ao meu Salvador Jesus Cristo, à minha mãe, meu pai, meus irmãos, meu noivo e a todos os demais familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por estar sempre presente em minha vida me dando força e coragem para enfrentar os obstáculos e por ter proporcionado a realização de mais um sonho.

À minha família, especialmente aos meus pais, Lauro Batista de Albuquerque e Marizele Gomes de Araújo Batista sendo a base e o sentido da minha vida, que fizeram e fazem o possível e o impossível para a realização dos meus objetivos.

Aos meus irmãos, Gisele Gomes Batista e Gustavo Gomes Batista, por todo incentivo e apoio prestado em todas as coisas que desejo realizar.

Ao meu noivo Danilo Lopes Fernandes, por estar sempre ao meu lado me apoiando nas decisões importantes da minha vida e também por ter me ajudado bastante na realização desta pesquisa.

A Ilustríssima Profa. Roberlucia Araújo Candeia, por ter me orientado neste Trabalho, por ter me dado à honra de poder trabalhar junto a ela no desenvolvimento de pesquisas científicas e principalmente pelos incentivos, aprendizados e amizade que irei levar por toda minha vida.

Aos amigos Emanuel Tarcísio do Rêgo Farias e José Cássio Ferreira de Sales por ter me ajudado no processo de produção dos briquetes.

Aos meus amados e queridos amigo-irmãos que irei levar pelo resto da minha vida, Isabel Medeiros de Queiroga e João Marcos Almeida Trigueiro.

Aos meus colegas de turma que lembrarei sempre, em especial aos amigos do grupo de estudos Ulisses Alencar Bezerra, José Lucas de Souza Abreu e Weberton Dantas de Sousa.

As amigas e companheira que pude dividir momentos bons e ruins durante esses cinco anos, Tatiane Sousa de Moura e Ana Paula Fonseca e Silva.

À Universidade Federal de Campina Grande e aos professores e professoras do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Câmpus de Pombal-PB.

À Banca Examinadora deste Trabalho de Conclusão de Curso, por sua colaboração e contribuição.

Enfim, agradeço a todos que direto ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e durante minha graduação.

BATISTA, M. G. Aproveitamento da Casca de Coco e Podas de Árvores no Processo de Briquetagem. 2017. 49 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB. 2017.

RESUMO

A humanidade tem ocasionado impactos ambientais negativos contribuindo para geração de resíduos, sem o devido planejamento. Estudos indicam que o aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos vem sendo considerado uma alternativa promissora para conversão energética, sob a forma de briquetes, proporcionando vantagens para o meio ambiente e a sociedade. De modo que, este trabalho objetivou avaliar o potencial dos resíduos lignocelulósicos, casca de coco e as podas de árvores, em diferentes proporções com e sem adição de aglutinante, com fins de se conhecer a melhor composição desses durante sua compactação. Realizaram-se 10 tipos de composições com e sem a presença de aglutinante (óleo de fritura), e após, serem densificadas, sob pressão e temperatura de 130 °C por 10 min, individualmente com três repetições cada, estes foram analisados através de parâmetros físico, químico e mecânico. Os resultados revelaram que briquetes constituídos com maior composição de podas de árvores sem o aglutinante, apresentaram baixo teor de umidade e cinzas e alto teor de materiais voláteis, favorecendo o poder de queima, enquanto que os briquetes com adição do aglutinante ocasionou má aglutinação, pois, não há interação entre as partículas, favorecendo o aparecimento das fissuras. Já os tratamentos com maior predominância de casca de coco indicaram boa compactação com e sem aglutinante, no entanto, obtiveram altos índices de cinzas e umidade, comprometendo o processo de combustão. Por fim, ambas as biomassas agregam características particulares ao briquete, sendo mais satisfatório incorporar aglutinantes polares do que apolares, visto permitir melhor interação entre as partículas.

Palavras chaves: Energia alternativa. Lenha ecológica. Biomassa vegetal.

BATISTA, M. G. Utilization of Coconut Bark and Tree Pruning in the Briquetting Process. 2017. 49 p. Monograph (Environmental Engineering) - Federal University of Campina Grande, *Pombal - PB*, Brazil. 2017.

ABSTRACT

Humanity has caused negative environmental impacts contributing to waste generation, without proper planning. Studies indicate that the use of lignocellulosic residues has been considered as a promising alternative for energy conversion, in the form of briquettes, providing advantages for the environment and society. So, this work aimed to evaluate the potential of lignocellulosic residues, coconut shells and tree prunings, in different proportions with and without addition of agglutinative, in order to know the best composition during compacting. Ten types of compositions were made with and without the presence of agglutinative (frying oil), and after being densified, under pressure and temperature of 130 °C for 10 min, individually with three replicates each, these were analyzed by physical parameters physical, chemical and mechanical. The results showed that briquettes constituted with a higher composition of tree pruning without the binder, frying oil, presented low moisture and ash content and high content of volatile materials, favoring the burning power, while briquettes with added agglutinative caused poor agglutination, therefore, there is no interaction between the particles, favoring the appearance of fissures. However, the treatments with higher coconut shell predominance indicated good compaction with and without agglutinative, however, they obtained high ash and moisture content, compromising the combustion process. Finally, both biomasses add particular characteristics to the briquette, being more satisfactory to incorporate polar binders than apolar, since it allows better interaction between the particles.

Keywords: Alternative energy. Ecological wood. Plant biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização dos Municípios de Coleta dos Resíduos no Estado da Paraíba	24
Figura 2. Mapa geopolítico do Município de Sousa-PB	25
Figura 3. Mapa geopolítico do Município de Pombal-PB.....	26
Figura 4. Biomassas antes e após o processo de trituração	27
Figura 5. Biomassas prontas para preparação de briquetes	27
Figura 6. Equipamentos utilizados na produção dos briquetes	28
Figura 7. Processo de produção de cada briquete.....	29
Figura 8. Teste de resistência mecânica nos briquetes	30
Figura 9. Briquetes produzidos correspondendo a cada tratamento	31
Figura 10. Valores médios correspondentes ao parâmetro de umidade nos briquetes obtidos	32
Figura 11. Valores médios correspondentes à concentração de cinzas nos briquetes obtidos .	34
Figura 12. Valores médios correspondentes à concentração de materiais voláteis nos briquetes produzidos	36
Figura 13. Valores médios correspondentes à concentração de carbono fixo nos briquetes produzidos	38
Figura 14. Valores médios correspondentes à densidade aparente em cada tratamento produzidos.	40
Figura 15. Valores médios correspondentes à resistência mecânica dos briquetes produzidos em cada tratamento	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Composição para a produção dos briquetes	28
Quadro 2. Técnicas físico-químicas com os respectivos métodos.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para o teor de umidade para cada tratamento	33
Tabela 2. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para o teor de cinzas para cada tratamento	35
Tabela 3. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para a concentração de materiais voláteis em cada tratamento	37
Tabela 4. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para a concentração de carbono fixo em cada tratamento	39
Tabela 5. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para a densidade aparente em cada tratamento	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANOVA: Análise de Variância.

CC: Casca de Coco.

CCTA: Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar.

CPRM: Serviço Geológico do Brasil.

FAO: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

LABRES: Laboratório de Resíduos Sólidos.

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora.

OCDE: Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico.

PA: Podas de Árvores.

PMSB: Plano Municipal de Saneamento Básico.

PNRS: Política Nacional de Resíduos Sólidos.

T1: Tratamento 1.

T10: Tratamento 10.

T2: Tratamento 2.

T3: Tratamento 3.

T4: Tratamento 4.

T5: Tratamento 5.

T6: Tratamento 6.

T7: Tratamento 7.

T8: Tratamento 8.

T9: Tratamento 9.

UFMG: Universidade Federal de Campina Grande.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	133
2 OBJETIVOS	155
2.1 GERAL.....	155
2.2 ESPECÍFICOS	155
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	166
3.1 RESÍDUOS.....	166
3.1.1 Resíduos lignocelulósicos	177
3.1.1.1 Casca de Coco	177
3.1.1.2 Podas de Árvores.....	188
3.2 A BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA.....	188
3.3 BRIQUETES	19
3.3.1 Processo de briquetagem.....	19
3.3.1.2 Fatores que afetam o processo de briquetagem.....	200
3.4 VIABILIDADE DA PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BRIQUETES NO BRASIL ..	222
4. MATERIAL E MÉTODOS	244
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE SOUSA E POMBAL.....	244
4.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	266
4.3 PREPARAÇÃO DOS BRIQUETES.....	288
4.4 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO.....	300
4.4.1 Análise Físico-química	300
4.4.2 Resistencia Mecânica.....	300
4.4.3 Análise Estatística.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	311
5.1 SECAGEM DOS RESÍDUOS	311
5.2 PRODUÇÃO DOS BRIQUETES	311
5.3 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA.....	322

5.3.1 Teor de Umidade	322
5.3.2 Teor de Cinzas	333
5.3.3 Teor de Materiais Voláteis	355
5.3.4 Teor de Carbono Fixo	377
5.4 DENSIDADE	39
5.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA	411
6. CONCLUSÕES	433
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	444

1 INTRODUÇÃO

A energia mais utilizada mundialmente é gerada na queima de combustíveis fósseis, ou seja, oriunda de fontes não renováveis, entretanto, a busca em conhecer e utilizar fontes alternativas vem aumentando incessantemente nas últimas décadas (PANCIERI, 2009).

Alterações na estrutura das matrizes energéticas do Brasil e de outros blocos do mundo tem se revelado nos últimos 40 anos. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2015), a oferta interna de energia entre os anos de 2014 e 2015 no Brasil, apresentou aumento da participação de fontes renováveis. Em 2015, as fontes renováveis colaboraram em 41,2% na demanda total da energia brasileira, contra 9,4% nos países da OCDE, a maioria ricos, e, 14,3% na média mundial.

Dentre as fontes energéticas renováveis produzidas e consumidas a nível mundial, e em específico no Brasil, a biomassa, oriunda de materiais orgânicos tais como: resíduos energéticos das florestas (madeira), da agricultura (resíduos vegetais da colheita, como galhos, palhas, cascas), pecuária (estrupe), ou efluentes urbanos e industriais, destacam-se entre as demais alternativas energéticas, a exemplo da eólica e solar, por apresentar baixo custo tecnológico e maior disponibilidade potencial em todas as regiões brasileiras, favorecida pelas condições climáticas (TOLMAQUIM, 2016).

No entanto, a busca pela fonte de energia para servir aos mais diferentes setores da agricultura, indústria, comércio e a sociedade suprimindo as suas necessidades, vem associado a impactos ambientais negativos, resultando principalmente no aumento da geração de resíduos, sem na sua maioria apresentar um planejamento da disposição ou destinação adequada. E, portanto, muitos podem ser reaproveitados, reduzindo os agravos ao meio ambiente e a saúde do homem (BEN, 2010; GODECKE et al., 2012; LONG et al., 2013).

A biomassa para geração de energia pode ter utilidade direta na forma de calor, como produto imediato por meio da própria combustão ou indireta, através da combustão após etapas de processamentos que podem ser físico, termodinâmico ou biológico dando origem a uma segunda fonte energética na fase sólida, líquida ou gasosa (SCHUTZ et al., 2013).

Deste modo, o aproveitamento de resíduos, em especial os lignocelulósicos, vem sendo considerado como uma alternativa promissora para conversão energética, sob a forma de briquetes. Proporcionando vantagens para o meio ambiente e a sociedade, com a redução da presença desses resíduos dispostos inadequadamente em lixões, aterros sanitários ou aterros controlados.

Briquetes são conhecidos como lenha ou carvão ecológico de alta qualidade, produzidos a partir da compactação da matéria orgânica, a exemplo do pó de serragem, galhos de árvores, cascas de vegetais entre outros, com elevada pressão e temperatura. Apresentam forma regular e constituição homogênea, sendo muito utilizados para a geração de uma dendroenergia (SANT'ANNA et al. 2012). Podendo substituir a lenha e derivados de petróleo utilizados em padarias, pizzarias e cerâmicas, proporcionando diversas vantagens como o alto poder calorífico superior ao da lenha; menor índice de poluição; tecnologia simples de baixo custo e ecologicamente correta.

Neste sentido, esta pesquisa visa investigar a constituição de briquetes, a partir das misturas de dois resíduos sólidos, a saber: cascas de coco oriundas da cocoicultura, e de galhos de árvores provenientes das podas urbanas. Para tanto, estes serão misturados em diferentes concentrações, com e sem adição de aglutinante (óleo de fritura), com o intuito de se obter melhor composição e compactação para os briquetes.

As contribuições trazidas por este projeto para a sociedade abordam relevância para os aspectos ambientais, econômicos e sociais, tais como: Quanto ao aspecto ambiental vem contribuir para reduzir a poluição ambiental na região, ocasionada pelo acúmulo de materiais lignocelulósicos nos lixões a céu aberto, além de reduzir a utilização de lenha derivada da vegetação nativa, sendo esta controlada por leis ambientais, com o intuito da preservação das florestas e/ou matas ciliares. Enquanto que nos aspectos econômico e social acredita-se que venha contribuir com a utilização desta técnica na Mesorregião do Sertão Paraibano, possibilitando a geração de renda para comerciantes e trabalhadores locais, com a finalidade de reduzir custos com a compra de lenha e agregar valor aos briquetes produzidos com resíduos agroindustriais.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o potencial dos resíduos lignocelulósicos, casca de coco e podas de árvores em diferentes proporções com e sem adição de aglutinante, com fins de obter melhor composição de briquetagem.

2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Produzir briquetes compostos por diferentes concentrações de casca de coco e poda de árvores com e sem adição de aglutinante;
- ✓ Avaliar os fatores que podem interferir na briquetagem por meio de parâmetros físico-químicos e mecânicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS

Os resíduos sólidos se tornaram um dos maiores problemas urbano e ambiental do mundo, devido ao crescimento contínuo da população e seu modo de vida. O homem cada vez mais tem transformado a natureza em produtos para suprir suas necessidades diárias. Durante os processos de transformação dos recursos naturais e principalmente após o uso do produto final, são gerados imensos volumes de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos que por muitas vezes recebem destinação e disposição finais inadequadas, poluindo ou contaminando o solo, o ar e a água, além de proliferar vetores de doenças (FERNANDES, 2016).

Diversos conceitos para resíduos sólidos podem ser encontrados ao longo da história, elaborados com várias interpretações em temáticas pouco diferenciadas. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei Federal 12.305, de 02 de agosto de 2010, traz a seguinte definição para resíduos sólidos:

“Qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Já o conceito defendido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), mostra-se mais simplório. De acordo com a Norma Brasileira de Regulamentação – NBR Nº 10.004/2004, resíduos sólidos é:

“Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2004a).

Com base na diversidade de conceitos para definir resíduos sólidos, é possível perceber sua complexidade, cada conceito é baseado no tipo e grau de conhecimento que o órgão, empresa ou qualquer tipo de interessado venha a defini-lo, o que torna confuso para o entendimento da maioria das pessoas.

3.1.1 Resíduos lignocelulósicos

De acordo com Paula (2010), resíduos lignocelulósicos são todos aqueles que apresentam, principalmente, lignina e celulose em sua constituição. Estes resíduos podem ser gerados a partir do processamento da madeira, de culturas florestais, atividades agrícolas, ou agroindustriais, além dos gerados em atividades urbanas, como na capina e podas das árvores.

3.1.1.1 Casca de Coco

Cerca de 290 mil hectares de terras brasileiras são utilizadas para o cultivo do coco, produzindo o equivalente a aproximados dois bilhões de frutos ao ano. Entre os anos de 1990 e 2009, o Brasil, se tornou o quarto maior produtor mundial de coco, trazendo boas expectativas para o crescimento tanto na produtividade quanto na abrangência de mercado (FAO, 2014).

Em 2013, a área colhida no Brasil, de acordo com a EMBRAPA, foi de aproximadamente 257.462 ha, sendo colhidos mais de 7000 frutos por hectare. As regiões localizadas na faixa litorânea do Nordeste e Norte do Brasil se destacam no quesito plantação e produção de coco, representando aproximadamente 70% da produção total brasileira (MARTINS; JESUS Jr., 2011). Sobre a mensuração de resíduos gerados, em especial advindos da cocoicultura, bem como dos resíduos de arborização, podas das arvores, geradas na mesorregião do Alto Sertão da Paraíba, a literatura revelou escassez de dados.

O coco verde possui baixo custo e vasta disponibilidade, ou seja, é um produto de fácil comercialização tanto no setor industrial quanto em locais de lazer. Após seu consumo, a casca do coco é descartada, tendo como destino lixões e/ou aterros controlados e sanitários. Calcula-se que, a cada 125 cocos descartados é ocupado um espaço de 1m³ nos aterros. Mesmo havendo variadas possibilidades para seu aproveitamento, a maioria dos gestores e da sociedade em geral descarta-o inadequadamente, provocando problemas principalmente ao meio ambiente (SILVA, 2010).

O aproveitamento do coco descartado é de imenso valor para preservação ambiental, devida a redução do volume de lixo depositada no meio ambiente, redução da poluição atmosférica e utilização como matéria-prima para o desenvolvimento de novos produtos. A trituração do coco é uma forma de aproveitar e agregar valor ao resíduo, pois tanto a fibra quanto o pó são excelentes materiais orgânicos que podem ser aplicados ao solo ou até mesmo, utilizados como fonte alternativa para geração de energia renovável (NUNES et al., 2007).

3.1.1.2 Podas de Árvores

As atividades de capinação e poda de árvores fazem parte do serviço de limpeza prestado em cidades, responsável também pela coleta, transporte e a disposição final dos resíduos gerados. A necessidade de realizar a podagem das árvores envolve vários motivos, dentre eles as melhorias na estética paisagística urbana, auxiliar na qualidade ambiental da flora urbana, além de evitar acidentes com a fiação elétrica (PMSBP, 2015).

Os resíduos provenientes de podas e remoção da arborização urbana são galhos, ramos, folhas, sementes, frutos, fustes e raízes. Descartar esse tipo de resíduo em aterros é um desperdício de materiais lignocelulósicos, além de ser muito caro. O custo médio para descartar resíduos da arborização urbana em aterros privados chega a ser em média R\$ 68,00 por tonelada. Apesar dos dados sobre gestão de resíduos da arborização urbana ser pouco divulgado, ou até mesmo não ser divulgado, estima-se que cerca de 4,4% do volume de aterros é composto por podas de árvores urbana (MEIRA, 2010).

3.2 A BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

A biomassa é todo material orgânico de origem vegetal derivados de reações entre o gás carbônico, água e a luz solar, ou seja, do processo de fotossíntese. O alto potencial energético da biomassa pode ser uma das soluções sustentáveis no quesito, utilização de fontes alternativas de energia (VIEIRA, 2012).

A energia presente na biomassa pode ser transformada em combustíveis líquidos, sólidos ou gasosos por meio de processos com conversões química, física ou biológica. De acordo com Werther et al. (2000), as biomassas com alto potencial energético incluem os resíduos agrícolas e os oriundos de atividades florestais, com potencial energético de 33% e 65%, respectivamente.

Barros (2012) enfoca que, o Brasil se destaca no cenário mundial ao se tratar do setor agrícola. A alta produtividade agrícola do Brasil traz como consequência a geração de grandes quantidades de resíduos oriundos da biomassa vegetal, sendo estes na maioria das vezes substituídos ou descartados. Tais resíduos podem ser aproveitados na forma “in natura” ou passados por processos de transformação.

Os resíduos lignocelulósicos podem ser utilizados como matéria-prima, transformando suas partículas para dar origem a um produto diferente de sua origem. A recuperação e a valorização dos resíduos são nomenclaturas de relevante importância para aproveitar ou reciclar quaisquer tipos de resíduos e, assim, contribuir com os pensamentos e atitudes sustentáveis tão almejados na atualidade. A recuperação dos resíduos consiste em seu

aproveitamento total ou parcial por meio de processos adequados, já a valorização está ligada a ações de desenvolvimento de processos tecnológicos, como por exemplo, a reciclagem (QUIRINO, 2003).

3.3 BRIQUETES

Conforme a Revista da Madeira (2014), briquetes são lenhas ecológicas, lenhas recicladas resultante da prensagem dos mais diversos tipos de resíduos florestais, industriais e alguns urbanos, podendo ainda ter adicionado algum tipo de aglutinante a sua composição. Os briquetes geralmente possuem volumes variados entre 0,8 e 30 cm³, é adequado para substituir com grande eficiência a lenha comum, o óleo combustível e o gás natural, sendo este o combustível sólido mais limpo que existe no mercado, visto como uma forma sustentável de energia.

O substituto da lenha que evita o corte de árvores apresenta características com formas regulares e composições homogêneas. Uma tonelada de briquetes equivale a 7 m³ de lenha, possui alto poder calorífico, podendo ser até três vezes maior que o da lenha, o que proporciona economia na utilização do produto em fornos, caldeiras, secadores, entre outros (AGEITEC, 2017).

Oliveira Júnior (2013) argumenta que, é possível aproveitar diversos tipos de resíduos orgânicos para geração de energia através da utilização de tecnologias simples. Uma alternativa é o processo briquetagem, que consiste em um tipo de tratamento tecnológico que submete uma determinada quantidade de massa particulada a valores de temperatura e pressão.

3.3.1 Processo de briquetagem

A briquetagem é a tecnologia de fabricação de briquetes, produto que possibilita o aproveitamento energético da biomassa. Durante o processo de briquetagem ocorre a destruição da elasticidade natural das fibras do material utilizado, pois, sua compactação acontece à alta pressão e/ou alta temperatura. A plastificação da lignina, substância encontrada nos lignocelulósicos, é um processo importante para que ocorra o agrupamento eficaz das partículas da biomassa sem a necessidade de adicionar qualquer tipo de aglutinantes (ZAGO et al., 2010).

Para Quirino (1991), existem cinco equipamentos para a compactação de resíduos lignocelulósicos, a saber: prensa extrusora de pistão mecânico, tecnologia bastante conhecida

no mundo, com pistão compactador; prensa extrusora de rosca sem fim, muito utilizada fora do Brasil; prensa hidráulica, utiliza um pistão acionado hidráulicamente; peletizadora, este tipo de equipamento funciona por processo extrusivo e por fim a enfardadeira, equipamento que comprime os resíduos elevando sua densidade, bastante adotada para enfardamento do bagaço de cana. A escolha de cada equipamento está relacionado a umidade dos resíduos, devido ao consumo de energia no processo de secagem, pois cada uma funciona com materiais de diferentes teores de umidade que variam entre 10 e 20%.

Entre os tipos de equipamentos compactadores de resíduos o mais utilizado no Brasil é a extrusora de pistão mecânico, principalmente em empresas produtoras de briquetes localizadas nas regiões Norte e Sul do Brasil. A tecnologia de compactação com descarte a pulso de pistão mecânico por compressão, como também, a extrusão com rosca sem fim a altas pressões, são os tipos de adensamento de resíduos mais cobijados (GENTIL, 2008).

Cada matéria-prima possui composição química e condições físico-químicas diferentes sendo necessário realizar etapas distintas de tratamentos até a produção do briquete. É válido salientar algumas das etapas importantes que as matérias-primas devem passar desde seu recolhimento até o armazenamento dos briquetes produzidos, como, a secagem, trituração, compactação, resfriamento e empacotamento (DIAS et al., 2012).

Para obter briquetes bem compactados, sem presença de fissuras ou rachaduras é importante que utilize a matéria-prima com fatores enquadrados nos padrões estabelecidos pela maior parte da literatura, como é o caso do tamanho das partículas, teor de umidade, entre outros (QUIRINO et al., 2012).

3.3.1.2 Fatores que afetam o processo de briquetagem

a) Teor de Umidade

O teor de umidade para o processo de compactação deve variar dependendo do tipo de matéria-prima. O excesso de umidade na biomassa pode provocar explosão devido à formação de vapor, ou dificuldade no mecanismo de ligação das partículas se estiver muito seca (GONÇALVES, 2010).

Para Dias et al. (2012), o teor de umidade da biomassa é uma variável que merece atenção, pois, trabalhar com matéria-prima de umidade adequada é muito importante para o processo de compactação. Alguns estudos mostraram que o teor de umidade ideal para compactação de resíduos lignocelulósicos, deve estar em torno de 5 a 10%, não sendo

recomendado trabalhar com valores acima de 15%, necessitando passar pela etapa de secagem antes de compactá-la.

b) Tamanho das partículas

O tamanho das partículas da biomassa não influencia apenas na aglomeração das partículas, mais também nas propriedades físico-químicas dos briquetes. Quanto menor for granulometria da biomassa maior é a área superficial de suas partículas, fazendo necessário o uso de algum material aglutinante para se obter briquetes com maior resistência (BORGHI, 2012).

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 menor são mais densos, desde que submetidos à elevada temperatura e pressão para melhor se aglomerarem (GONÇALVES, 2010).

c) Temperatura e Pressão

A temperatura e pressão são dois fatores que estão intimamente ligados no processo de briquetagem. Ao aplicar a pressão durante a compactação da biomassa particulada, conseqüentemente, também ocorre o aumento da temperatura.

As prensas briquetadeiras submetem os resíduos a uma faixa média de pressão de 1200 kg/cm², durante esse processo ocorre à destruição da elasticidade natural das fibras dos resíduos, tal destruição pode ser ocasionada devido à alta pressão e/ou alta temperatura. A quebra da elasticidade é de extrema importância que ocorra, pois gera briquetes duráveis e aptos para transporte e estocagem. A interferência dos fatores temperatura e pressão na qualidade dos briquetes dependem da natureza dos resíduos, da sua umidade e granulometria (BIOMAX, 2017).

Para Dias Júnior (2013), no processo de briquetagem à elevada pressão, a temperatura fica em torno de 100 °C, o alto grau de temperatura influencia na plastificação da lignina, atuando como aglutinante natural das partículas. Para que a aglutinação das partículas seja favorável é necessário que o material apresente umidade de 8 a 15% e granulometria das partículas entre 5 e 10 mm.

3.4 VIABILIDADE DA PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BRIQUETES NO BRASIL

Conforme dados do IBGE, em 2010, foram abatidas no Brasil 57.000 árvores para utilização da madeira correspondendo a 87.610 m³ da madeira em tora. O Ministério de Minas e Energia, (2015), revelou que a Oferta Interna de Energia do Brasil contou com a participação de 24.519 toneladas lenha e carvão vegetal. Como opção para reduzir tal impacto na extração vegetal à lenha pode ser substituída por briquetes, considerado uma lenha ecológica e 100% natural.

Os briquetes são biocombustíveis relativamente antigos, criados no século XIX pela indústria naval dos Estados Unidos. É possível utilizar variados tipos de resíduos orgânicos na produção de briquetes (SANTOS et al., 2015). No Brasil não existem estatísticas oficiais que mostram resultados referentes à produção e venda de briquetes, devido a isto, para maior conhecimento a respeito do perfil do mercado brasileiro para briquetes, a EMBRAPA Agroenergia (2012) realizou levantamento onde observou que 72% das empresas que produzem briquetes foram criadas a partir do ano 2000 e que quase 80% dessas empresas estão situadas nos Estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

Cerca de 1,2 milhões de toneladas de briquetes são produzidos por ano no Brasil, dos quais 930 mil toneladas são briquetes produzidos com resíduos da madeira e 272 mil toneladas são produzidos com diversos tipos de resíduos agrícolas. Estima-se que a demanda anual por briquetes aumente em 4,4% demonstrando assim, sua importância no mercado de energias renováveis (DIAS et al., 2012).

Um fator de considerável importância para escolha da matéria-prima utilizada na produção de briquetes está relacionado à distribuição geográfica e a disponibilidade de biomassa presente na região onde a indústria está instalada. Os principais tipos de matérias-primas utilizadas para produzir tal biocombustível são os resíduos de origem florestal como maravalha, serragem e cavacos, representando um percentual de 64% (DIAS et al., 2012).

Gentil (2009) relata que outros tipos de resíduos agrícolas podem ser utilizados na produção de briquetes, principalmente nas regiões do Brasil onde as matérias-primas mais convencionais em sua produção são escassas e custam elevado valor de frete. Outras opções de matérias-primas são: resíduos do algodão, casca de arroz, casca de coco, bagaço de cana-de-açúcar, podas de árvores, entre outros.

Do ponto de vista ambiental, a principal vantagem da utilização dos briquetes é evitar o desmatamento por ser um bom substituto da lenha natural, ajudando a reduzir impactos ambientais e conservando as florestas. Os briquetes podem ser utilizados desde indústrias a

residências, sendo que, nas indústrias, os briquetes atendem a demanda de geração de calor em fornalhas ou caldeiras e em residências como combustível para ser utilizado em fogões, fornos e lareiras (PAULA, 2010).

A falta de conhecimento sobre as normas vigentes e a inexistência de laboratórios para a realização de análises técnicas de briquetes no Brasil, além de sua utilização não fazer parte da cultura brasileira, são os principais obstáculos para comercialização e principalmente, para exportação do produto (DIAS et al., 2012).

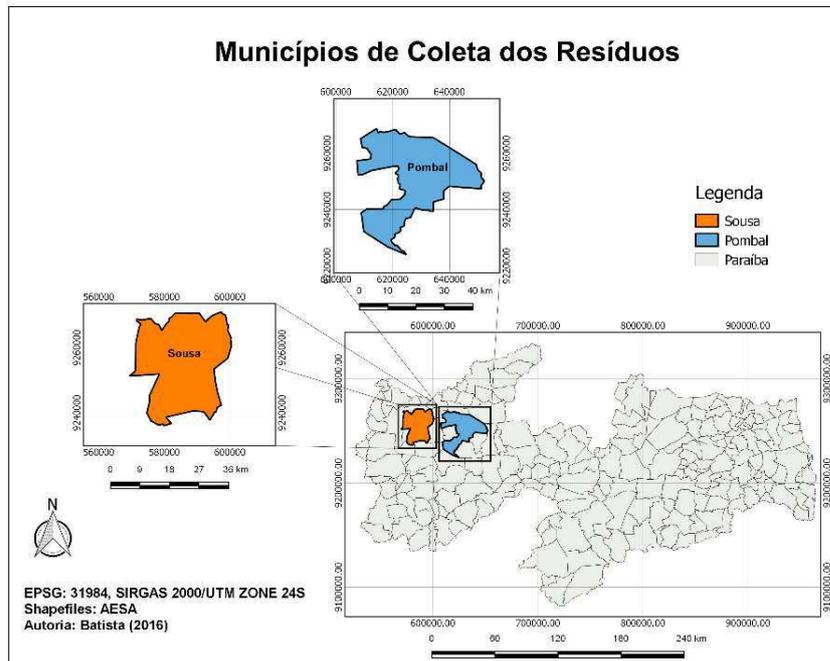
4. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada para o desenvolvimento da pesquisa remete a um estudo de caso de caráter quantitativo e qualitativo, buscando alcançar a melhor composição de briquetes produzidos com misturas em diferentes concentrações de resíduos lignocelulósicos, casca de coco e podas de árvores, os quais desempenhem um melhor potencial energético.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE SOUSA E POMBAL

Os resíduos lignocelulósicos utilizados foram coletados nos municípios de Sousa e Pombal, ambos localizados no Alto Sertão Paraibano. A biomassa da casca de coco foi coletada no município de Sousa – PB, enquanto que as podas de árvores foram recolhidas na cidade de Pombal – PB. Observa-se na Figura 1, a localização dos municípios, onde tais resíduos, utilizados no processo de briquetagem foram coletados.

Figura 1. Mapa de Localização dos Municípios de Coleta dos Resíduos no Estado da Paraíba



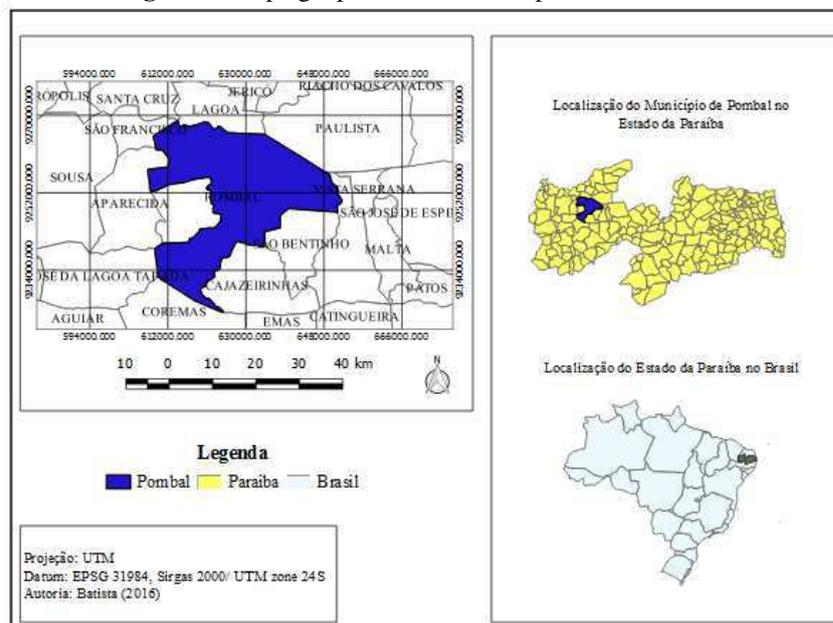
Fonte: Autoria própria, 2016.

O município de Sousa localiza-se no Nordeste brasileiro, extremo Oeste do Estado da Paraíba, mesorregião do sertão paraibano e microrregião de Sousa. Distante a 427,1 km da capital João Pessoa, sua sede está a uma altitude de 223m do nível do mar, apresenta coordenadas geográficas: latitude $06^{\circ} 45' 39''$ Sul e longitude $38^{\circ} 13' 51''$ Oeste. Sousa está

aproximadamente 25.753 residem na zona urbana e 6.357 na zona rural e uma população estimada para o ano de 2016 de 32.739 pessoas e, densidade demográfica de 36,13hab/km².

Apresenta limites geopolíticos com os seguintes municípios: ao Norte, Lagoa e Paulista, ao Sul, Coremas, Cajazeirinhas e São José da Lagoa Tapada, ao Leste, São Bentinho e Condado e a Oeste São Domingos de Pombal, Aparecida-PB, São Francisco e Santa Cruz, como mostrado na FIG. 3. O acesso ao município de Pombal – PB, a partir da capital João Pessoa é feito através da rodovia federal BR – 230, sendo que o município também é cortado por outra rodovia federal, a BR- 427 (CPRM, 2005).

Figura 3. Mapa geopolítico do Município de Pombal-PB



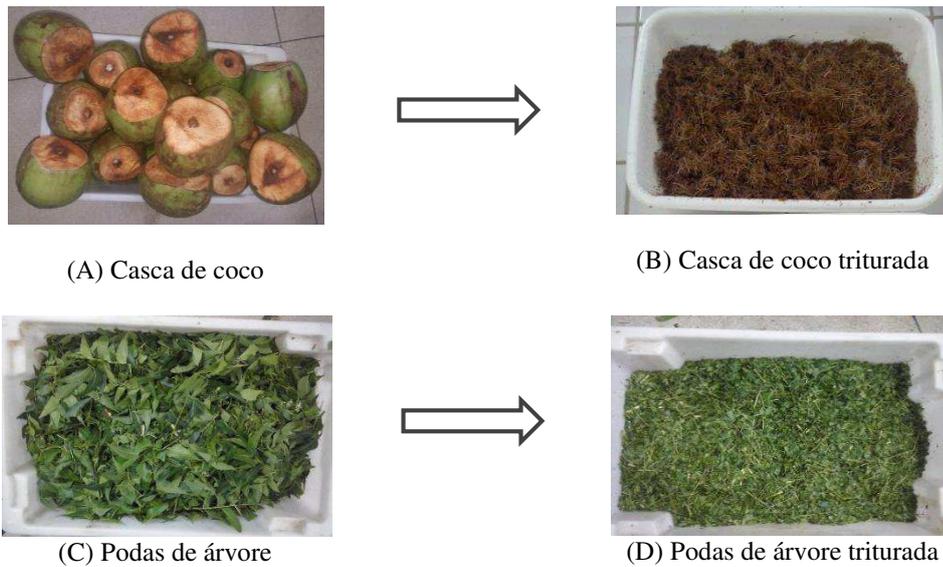
Fonte: Autoria própria, 2016.

Após a coleta, todas as biomassas foram levadas para o Laboratório de Resíduos Sólidos (LABRES) da UFCG, *Campus* Pombal, onde a pesquisa foi desenvolvida, bem como as análises físico-químicas e mecânicas.

4.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

As biomassas casca de coco (Figura 4a) e podas de árvore (Figura 4c) passaram, inicialmente, por pré-tratamento que consistiu na trituração destes, de modo a reduzir os tamanhos das biomassas. A trituração foi realizada utilizando um Triturador Orgânico da marca Trapp (TR 200). As Figuras 4b e 4d mostram os respectivos resíduos triturados.

Figura 4. Biomassas antes e após o processo de trituração

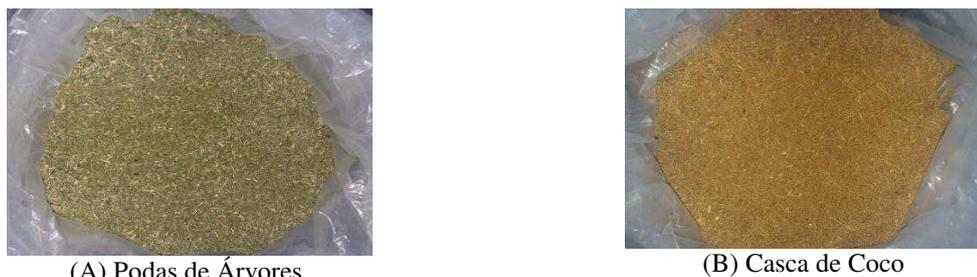


Fonte: Arquivo Pessoal (2016).

Para reduzir a umidade das biomassas, após serem trituradas, estas passaram pelo processo de secagem ao sol durante dois dias. Com base nas informações disponibilizadas pelo INPE, a temperatura média da cidade de Pombal – PB é de 31 °C, e devido a isto o período de tempo que a biomassa foi exposta ao sol, foi suficiente para reduzir seu teor de umidade. Durante o processo de secagem foi necessário fazer o revolvimento duas vezes ao dia do material para evitar problemas como o mofo e a secagem não homogênea das partículas.

Posteriormente, os tamanhos das partículas das biomassas foram reduzidos, ainda mais, com o auxílio do agitador de peneiras da marca Lucadema, acoplado-se a peneira com mesh 14 (abertura de 1,41 mm). As biomassas que foram peneiradas seguem ilustradas na Figura 5, prontas para a produção dos briquetes.

Figura 5. Biomassas prontas para preparação de briquetes



Fonte: Arquivo Pessoal (2016).

4.3 PREPARAÇÃO DOS BRIQUETES

A pesquisa aborda 10 tratamentos, os quais foram repetidos três vezes, totalizando uma produção de 30 briquetes, todos foram caracterizados por parâmetros físico-químicos e mecânicos. As composições dos briquetes analisados segue o Quadro 1, a saber:

Quadro 1. Composição para a produção dos briquetes

Tratamento	Composição dos Briquetes		
	Cascas de coco	Podas de árvores	Adição de aglutinante (óleo de fritura)
1	100%	-	SIM
2	-	100%	SIM
3	75%	25%	SIM
4	25%	75%	SIM
5	50%	50%	SIM
6	100%	-	NÃO
7	-	100%	NÃO
8	75%	25%	NÃO
9	25%	75%	NÃO
10	50%	50%	NÃO

A produção dos briquetes ocorreu em escala de bancada no LABRES, do Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar (CCTA/UFCG), utilizando uma prensa hidráulica da marca MARCON com capacidade para 15 ton./kg.força (Figura 6a) e uma matriz confeccionada em aço carbono (Figura 6b) com as seguintes dimensões: espessura da chapa 4 mm, comprimento 25 cm, diâmetro 5 cm e um socador para compactar a biomassa utilizada para produzir o briquete.

Figura 6. Equipamentos utilizados na produção dos briquetes



(A) Prensa Hidráulica



(B) Matriz

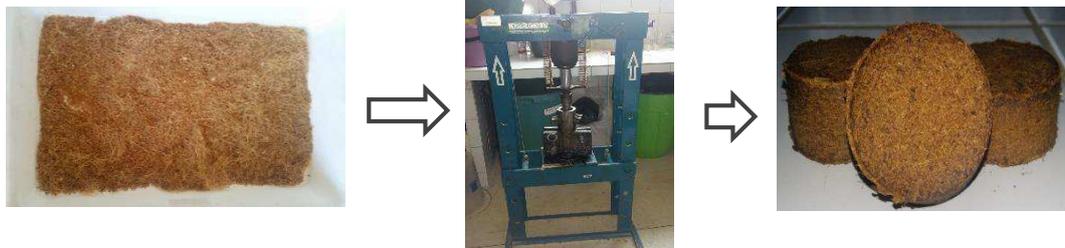
Fonte: Arquivo Pessoal (2016).

Cada briquete foi produzido com 50 g da biomassa particulada, nos tratamentos os quais foram necessários a adição de aglutinante. O óleo de fritura foi escolhido como aglutinante devido sua demanda, custo acessível e pelo apelo ambiental, visto que este quando disposto inadequadamente no meio ambiente ocasiona danos. De modo que foi inserido a biomassa 20% do aglutinante, correspondendo a 10 mL.

A biomassa referente a cada tratamento foi inserida na matriz e deixada na estufa a 130 °C durante 15 minutos. Logo após, a matriz foi acoplada na prensa para a densificação do material, sob pressões variadas. Para os briquetes constituídos de 100% de casca de coco e aqueles que apresentavam maior concentração de casca de coco, foram prensadas a 7,5 ton./kg.força. Enquanto que, os briquetes com 100% de poda de árvores e os demais com concentração predominante da poda, foram prensados a 10 ton./kg.força. A diferença da pressão utilizada ocorreu devido aos briquetes com maior presença de casca de coco não suportar uma carga maior. Quanto ao tempo de compactação, todos os briquetes foram prensados por 10 minutos.

Após a produção, os briquetes foram armazenados e encaminhados para a realização de análises físico-químicas e mecânicas. A Figura 7 ilustra o procedimento de produção de cada briquete.

Figura 7. Processo de produção de cada briquete.



Fonte: Arquivo Pessoal (2016)

4.4 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

4.4.1 Análise Físico-química

As análises físico-químicas e mecânicas foram executadas no LABRES/CCTA/UFCG, baseados nos métodos utilizados pela ABNT mostrados no Quadro 2, a seguir:

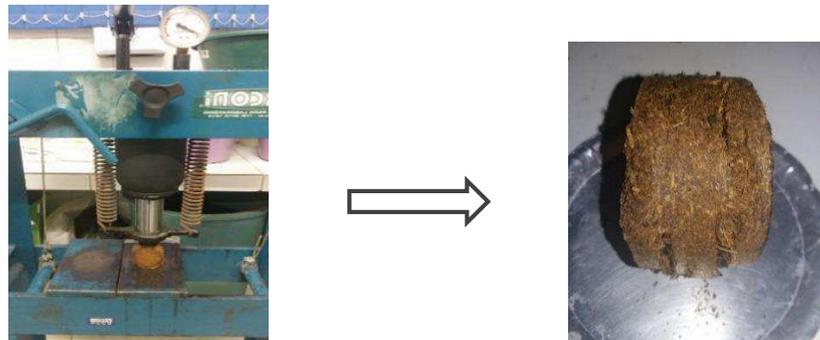
Quadro 2. Técnicas físico-químicas com os respectivos métodos

Análises	Métodos
Teor de Umidade	NBR 8293 da ABNT
Teor de Materiais Voláteis	NBR 8112 da ABNT
Teor de Cinzas	
Teor de Carbono fixo	
Densidades	NBR 6922 da ABNT

4.4.2 Resistência Mecânica

Com o auxílio da prensa hidráulica utilizada na produção dos briquetes foram realizados os testes de resistência mecânica. Cada briquete produzido foi submetido, individualmente, a pressão contínua até que surgissem fissuras. Tal procedimento pode ser observado na Figura 8.

Figura 8. Teste de resistência mecânica nos briquetes



Fonte: Arquivo Pessoal (2016).

4.4.3 Análise Estatística

Todos os resultados foram analisados estatisticamente por meio da Análise de Variância (ANOVA), seguido do teste F. Os resultados que demonstraram significância após aplicação do teste F foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O programa ASSISTAT foi adotado no estudo estatístico desses resultados (SILVA; AZEVEDO, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SECAGEM DOS RESÍDUOS

Após o processo de secagem das biomassas, casca de coco e podas de árvores, os valores correspondentes à umidade de cada matéria-prima, antes do processo de briquetagem, foram respectivamente de 14,85 e 8,79 % em base seca. Assim sendo, a casca de coco, in natura, apresentou maior teor de umidade, aproximadamente 85%. Resultado esse, satisfatório para o início da briquetagem.

De acordo com Silveira (2008) e Barros (2012), o sucesso da aglomeração das partículas no processo de briquetagem, depende do teor de umidade compreendida na faixa de 8 a 15%. Enfatiza ainda, que resíduos muito secos ou acima da umidade adequada, prejudicam a resistência dos briquetes, além de suas qualidades térmicas.

5.2 PRODUÇÃO DOS BRIQUETES

Após aferir o teor de umidade da biomassa, a produção dos briquetes foi efetuada, resultando nos seguintes produtos compactados, conforme podem ser verificados na Figura 9.

Figura 9. Briquetes produzidos correspondendo a cada tratamento



Fonte: Autoria Própria (2016).

Todos os resíduos compactaram, sem nenhum problema com a granulometria adotada de 1,41 mm (mesh 14). Em comparação com a literatura, os relatos apontam granulometria superior ao obtido neste trabalho. Para Gonçalves (2010), a granulometria deve compreender entre 5 e 10 mm.

Pode ser observado, que mesmo sem adição do aglutinante (óleo de fritura), as partículas se aglutinaram, ou seja, briquetaram. E em especial, nas misturas com

predominância da casca de coco, enquanto que, os briquetes com maior composição de podas demonstraram aparecimento de fissuras e fragilidade.

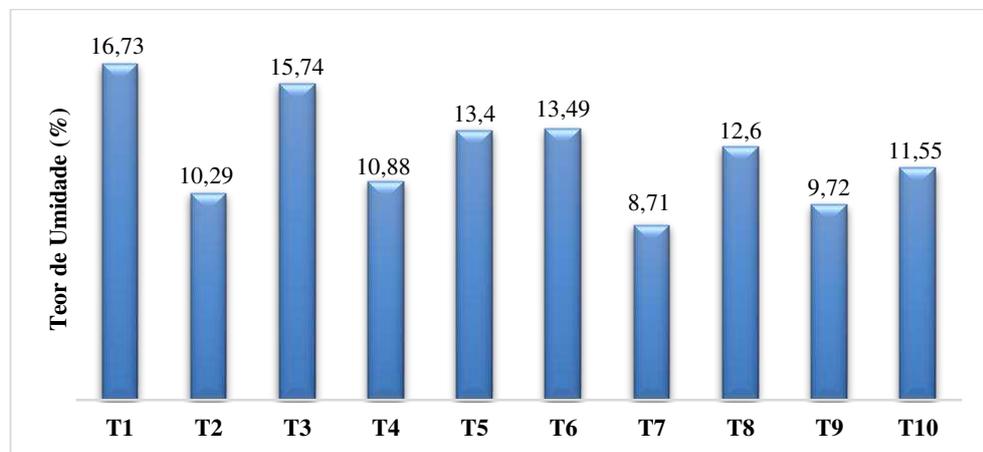
No que concerne à umidade, foi possível verificar que a casca de coco briquetou com o teor umidade de 14,85% corroborando com o intervalo apresentado na literatura, 8 a 15% de umidade de massa seca, por outros pesquisadores (BARROS, 2010).

5.3 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

5.3.1 Teor de Umidade

Na Figura 10, podem ser verificados valores médios de umidade nos briquetes produzidos em diferentes tratamentos. Os tratamentos com maior concentração de casca de coco e presença de aglutinante (T1 e T3), apresentaram umidades mais elevadas. Enquanto os tratamentos com menor concentração de umidade foram T7 e T9, sendo constituídos por podas e sem a adição do aglutinante. Comparando a influência com e sem o aglutinante nos tratamentos, é notório o maior teor de umidade em tratamentos ou naqueles com a presença do ligante.

Figura 10. Valores médios correspondentes ao parâmetro de umidade nos briquetes obtidos



Fonte: Autoria Própria (2017).

O teor de umidade obtido em T1 (16,7%) corrobora com os valores encontrados nos estudos de Barros (2012) para briquetes com 100 % de cascas de coco correspondente a 16,3%. Em relação às demais composições de briquetes com a poda de árvore, na literatura foram encontrados resultados ainda menores de umidade, como por exemplo, Maia (2013). Este produziu briquetes apenas com folhas de árvores obtendo 7,17% de umidade, não se

distanciando do valor encontrado nos briquetes produzidos com 100% podas de árvores sem adição de aglutinante, tendo em vista que é o menor teor de umidade entre os dez tratamentos.

Estatisticamente, os resultados obtidos quanto ao parâmetro umidade nos dez tratamentos, seguem expostos na Tabela 1. Contudo, constatando diferenças significativas entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey.

Tabela 1. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para o teor de umidade para cada tratamento

TRATAMENTO	TEOR DE UMIDADE (%)
100% CC + Aglutinante	16,73 ± 0,25 a
100% PA + Aglutinante	10,29 ± 0,17 fg
75% CC, 25% PA + Aglutinante	15,74 ± 0,11 fg
25% CC, 75% PA + Aglutinante	10,88 ± 0,01 ef
50% CC, 50% + Aglutinante	13,40 ± 0,09 c
100% CC	13,49 ± 0,39 c
100% PA	8,71 ± 0,24 h
75% CC, 25% PA	12,60 ± 0,27 d
25% CC, 75% PA	9,72 ± 0,22 g
50% CC, 50%	11,55 ± 0,36 e

CC: Casca de Coco, PA: Poda de Árvores. Teste de Tukey - as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

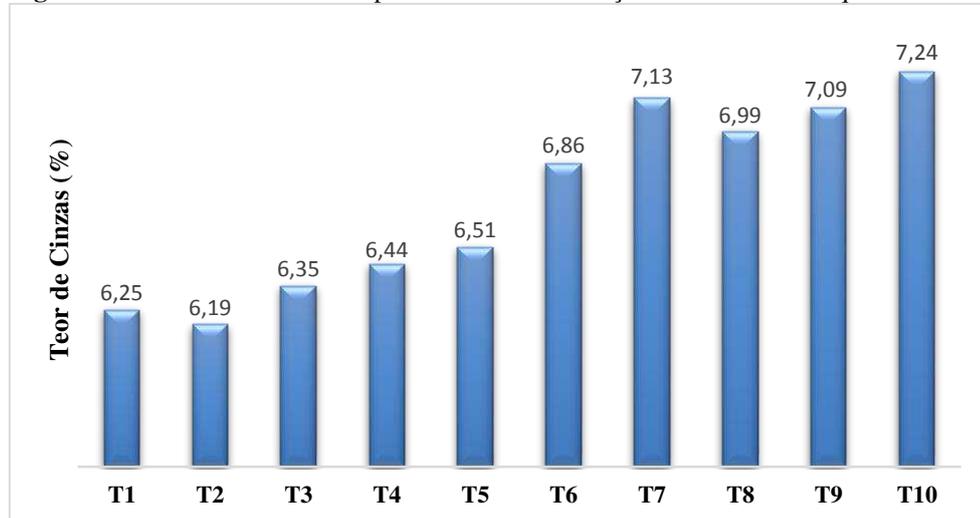
Além dos valores do desvio padrão, a Análise de Variância (ANOVA) possibilita o conhecimento para outros resultados estatísticos, a saber: grau de liberdade total para o teor de umidade de 29, valor médio de 12,72% e o coeficiente de variação 1,92%.

5.3.2 Teor de Cinzas

A Figura 11 expõem os valores da concentração de cinzas obtidos para os dez tratamentos. Um fator interessante observado é que os briquetes produzidos com adição do aglutinante apresentaram valores menores para o teor de cinzas. De acordo com Freire, Mancini-Filho e Ferreira (2013), uma possível explicação para o ocorrido pode ser que durante o processo de fritura, os óleos são constantemente expostos a fatores que provocam diversas reações químicas, como: hidrólise, oxidação e polimerização da molécula do triacilglicerídeos. O processo de oxidação pode ser acelerado devido à presença de

contaminantes, tais como: metais que apresentam mais de um estado de valência (cobalto, cobre, ferro, manganês e níquel), encontrados na maioria dos óleos comestíveis.

Figura 11. Valores médios correspondentes à concentração de cinzas nos briquetes obtidos



Fonte: Autoria Própria (2017).

Vieira (2012) relata que concentrações de cinzas elevadas em briquetes são indesejáveis, pois pode diminuir o poder calorífico, afetando a transferência de calor, além de ser necessária sua remoção dos fornos com maior frequência. Para Carvalho (2010), o teor de cinzas deve variar de 0,5% a pouco mais de 5%, tais valores são dependentes da espécie de combustível sólido e da quantidade de materiais inorgânicos presentes na amostra.

A variação encontrada para o teor de cinzas em relação aos tratamentos com e sem adição do aglutinante foram, respectivamente, 6,19 a 6,51% e 6,86 a 7,24%. Conforme explicando anteriormente, a presença do aglutinante na composição dos briquetes contribuiu para a redução das cinzas, por outro lado, este ligante apolar, dificultou na briquetagem. Acredita-se, que não houve interação molecular entre o ligante (apolar) e a biomassa adotada constituída de ligações polares, visto que contém celulose, hemi-celulose e lignina, todas com presença de grupos OH (polares).

Dias et al. (2012) afirma que valores para teor de cinzas superiores a 4% são críticos e podem causar desgastes aos equipamentos por abrasão. Encontramos na literatura valores superiores, como é o caso dos resultados obtidos por Araújo et al. (2013) e Oliveira Júnior (2013) de 15,86% para várias espécies vegetais e 10,20% para espécies da jardinagem e podas, respectivamente. Amorim et.al. (2015), revela ter encontrado para o tratamento com 100% para vegetais de espécies florestais e adição do aglutinante índice de 4% referente a cinzas.

De acordo com a Figura 11, os maiores resultados corresponderam ao tratamento T10, 50% de casca de coco e 50% de poda de árvores, com 7,24%, seguido do tratamento T7, 100% podas de árvores que foi de 7,13%, ambos sem adição do aglutinante.

A análise estatística referente à variável cinza, Tabela 2, revelou que houve significância entre os tratamentos, pelo teste tukey.

Tabela 2. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para o teor de cinzas para cada tratamento

TRATAMENTO	TEOR DE CINZAS (%)
100% CC + Aglutinante	6,25 ± 0,02 e
100% PA + Aglutinante	6,19 ± 0,04 e
75% CC, 25% PA + Aglutinante	6,35 ± 0,05 de
25% CC, 75% PA + Aglutinante	6,44 ± 0,06 d
50% CC, 50% + Aglutinante	6,51 ± 0,07 d
100% CC	6,86 ± 0,03 c
100% PA	7,13 ± 0,12 ab
75% CC, 25% PA	6,99 ± 0,05 bc
25% CC, 75% PA	7,09 ± 0,06 ab
50% CC, 50%	7,24 ± 0,04 a

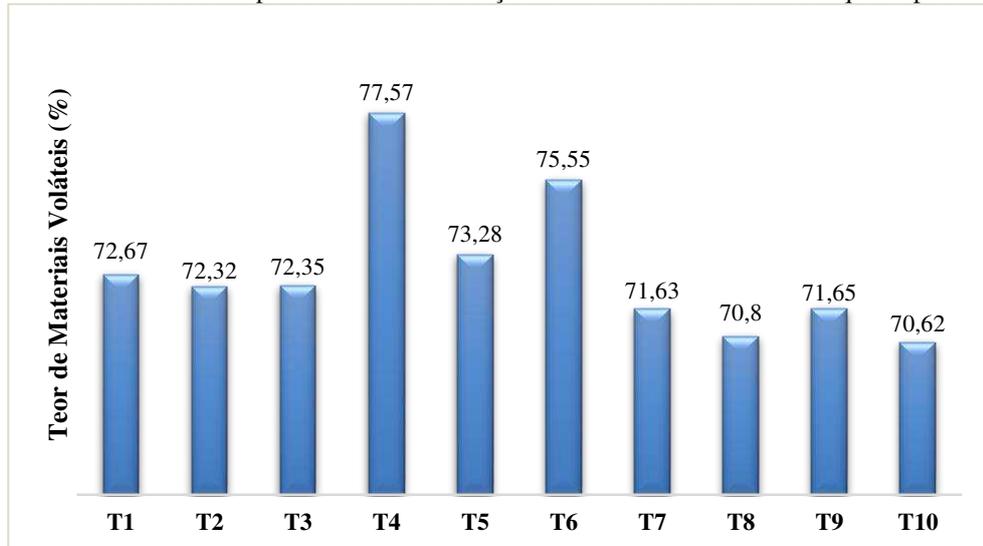
CC: Casca de Coco, PA: Poda de Árvores. Teste de Tukey - as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Além dos valores do desvio padrão, a Análise de Variância (ANOVA) possibilita o conhecimento para outros resultados estatísticos. O grau de liberdade total para o teor de cinzas foi de 29, valor médio de 6,72% e o coeficiente de variação 0,87%.

5.3.3 Teor de Materiais Voláteis

O teor de materiais voláteis indica a facilidade com que o combustível inicia sua queima, isto é, quanto maior for os teores de voláteis, maior será a reatividade e mais rápida é a ignição (VIEIRA, 2012).

Na Figura 12 seguem expostos os valores médios referentes aos materiais voláteis obtidos para cada tratamento. Os dados apontam variação entre 70,8% a 77,57% de materiais voláteis liberados pelos briquetes, sendo que o maior desprendimento de gases ocorrido foi na composição de 75% de podas de árvores mais 25% de casca de coco com adição do aglutinante (T4), seguido do T6, 100% casca de coco sem adição do aglutinante.

Figura 12. Valores médios correspondentes à concentração de materiais voláteis nos briquetes produzidos

Fonte: Autorial Própria (2017).

A menor concentração de materiais voláteis foi encontrada no tratamento T10, 50% casca de coco mais 50% podas de árvores sem adição do aglutinante. Observa-se que a adição de aglutinante incorporou aos briquetes índices mais elevados de materiais voláteis em relação aos sem ligante, o que nos faz inferir que há maior reatividade, isto é poder de ignição.

Os resultados encontrados referentes a voláteis nesta pesquisa, se aproximaram da literatura científica, apresentando na sua maioria cerca de 75% em briquetes com resíduos lignocelulósicos, e em lenha com variação entre de 75 a 85% (ESTEVEES, 2014). Ainda de acordo com a Esteves (2014), foram obtidos briquetes de coco com concentração de materiais voláteis de 82,75%.

Já os briquetes representantes do tratamento (T4), 75% podas de árvores mais 25% casca de coco com adição do aglutinante assumiram valor de 77,57% de materiais voláteis, corroborando com os resultados encontrados por Paula (2010), que foi de 77,53% para briquetes produzidos com resíduos vegetais de espécies rasteiras.

A Tabela 3, apresenta a estatística referente à concentração de materiais voláteis médios presentes em cada briquete produzido. Desta forma, observa-se que houve significância entre os tratamentos, pelo teste Tukey.

Tabela 3. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para a concentração de materiais voláteis em cada tratamento

TRATAMENTO	TEOR DE MATERIAIS VOLÁTIES (%)
100% CC + Aglutinante	72,67 ± 0,01 d
100% PA + Aglutinante	72,32 ± 0,26 d
75% CC, 25% PA + Aglutinante	72,35 ± 0,16 d
25% CC, 75% PA + Aglutinante	77,57 ± 0,17 a
50% CC, 50% + Aglutinante	73,28 ± 0,06 c
100% CC	75,55 ± 0,19 b
100% PA	71,63 ± 0,29 e
75% CC, 25% PA	70,80 ± 0,17 f
25% CC, 75% PA	71,65 ± 0,06 e
50% CC, 50%	70,62 ± 0,21 f

CC: Casca de Coco, PA: Poda de Árvores. Teste de Tukey - as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Além dos valores do desvio padrão, a Análise de Variância (ANOVA) possibilita o conhecimento para outros resultados estatísticos, a saber: grau de liberdade total para o teor de materiais voláteis de 29, valor médio de 74,08% e coeficiente de variação 0,24%.

5.3.4 Teor de Carbono Fixo

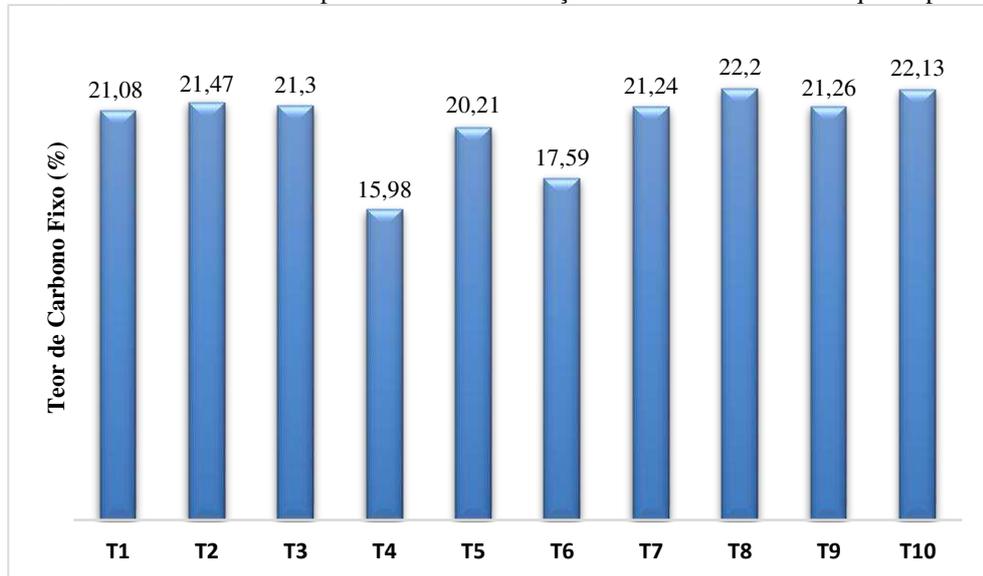
O teor de carbono fixo representa a sobra da massa após a liberação dos materiais voláteis, retirando os teores de cinzas e de umidade. A análise química imediata revela características importantes, pois, briquetes com elevados valores de carbono fixo e baixa umidade são os ideais, em virtude do melhor desempenho com a produção de calor por unidade de massa (MAROZZI, 2012).

Para Sant'Anna (2012), briquetes com maiores concentrações de carbono fixo são preferíveis pois queimam de forma mais lenta e homogênea. Além de se referir à fração de carvão que queima no estado sólido, o teor de carbono fixo também tem grande importância na redução de óxidos de ferro nos fornos siderúrgicos, sendo ele o fator que caracteriza se o combustível sólido é de boa qualidade para utilização em siderúrgicas.

De acordo com a Figura 13, os valores médios encontrados para o parâmetro correspondente ao carbono fixo entre todos os tratamentos produzidos, variaram de 15,98 a 22,2%. Visto que, T8 e T9 obtiveram os índices mais elevados em relação aos demais tratamentos. Por outro lado, considerando o menor valor de carbono fixo, a composição que

mais se destacou foi à constituída por 75% podas de árvores mais 25% casca de coco com adição do aglutinante, referindo-se a T4.

Figura 13. Valores médios correspondentes à concentração de carbono fixo nos briquetes produzidos



Fonte: Autoria Própria (2017).

Os índices mais elevados de carbono fixo foram encontrados nos tratamentos cujas composições não possuíam adição do aglutinante. Os tratamentos T8 e T10 que continham maior ou igual percentual em massa da casca de coco, respectivamente, apresentaram resultados mais satisfatórios, ou seja, briquetes com melhores características de queima.

Padilla et al. (2016) observou resultados semelhantes para briquetes produzidos com coco, onde contabilizou um teor de 22,28% para carbono fixo. Já o menor resultado, referente à maior concentração de podas (T4), foi semelhante ao valor obtido por Nakashima et al. (2016) para briquetes produzidos com serragem de Eucalipto, valor referente a 15,83% do teor de carbono fixo.

A Tabela 4 compila os dados estatísticos referentes à variável de concentração de carbono fixo de cada briquete produzido. E, quando detectadas diferenças significativas entre si, aplicou-se o teste de Tukey.

Tabela 4. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para a concentração de carbono fixo em cada tratamento

TRATAMENTO	TEOR DE CARBONO FIXO (%)
100% CC + Aglutinante	21,08 ± 0,02 b
100% PA + Aglutinante	21,47 ± 0,30 b
75% CC, 25% PA + Aglutinante	21,30 ± 0,18 b
25% CC, 75% PA + Aglutinante	15,98 ± 0,15 e
50% CC, 50% + Aglutinante	20,21 ± 0,11 c
100% CC	17,59 ± 0,17 d
100% PA	21,24 ± 0,36 b
75% CC, 25% PA	22,20 ± 0,15 a
25% CC, 75% PA	21,26 ± 0,06 b
50% CC, 50%	22,13 ± 0,22 a

CC: Casca de Coco, PA: Poda de Árvores. Teste de Tukey - as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

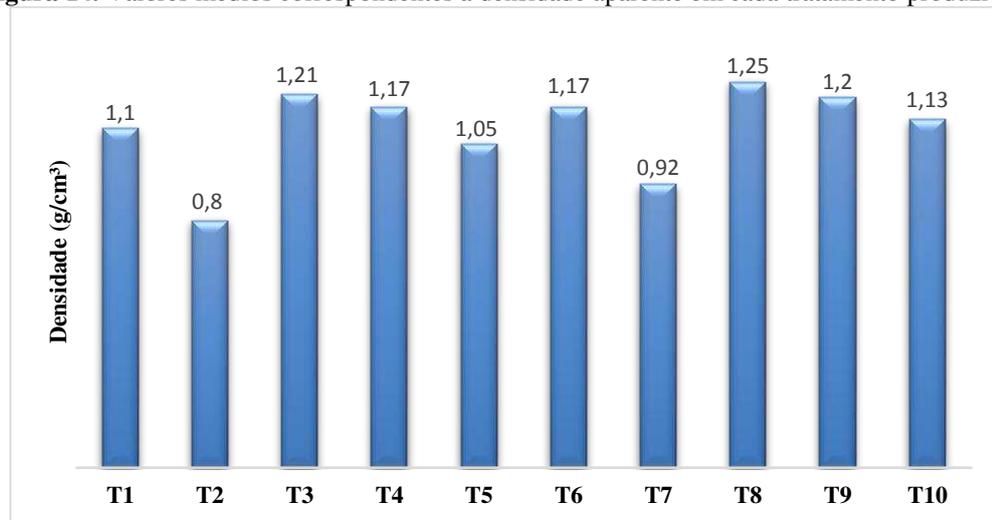
A Análise de Variância (ANOVA) possibilitou o conhecimento da significância dos resultados, além de outros valores estatísticos como: o grau de liberdade total para o teor de materiais voláteis que foi de 29, o valor médio de 19,12% e o coeficiente de variação de 0,96%.

5.4 DENSIDADE

Tanto a densidade aparente quanto a energética são variáveis importantes e que devem ser estudadas quando utiliza-se a biomassa para a produção de bioenergia, pois os altos valores de densidade indicam que há mais massa disponível para um mesmo volume considerado, ou seja, maior quantidade de massa compactada em um referido volume. Briquetes com maior densidade é uma característica desejável quando se trabalha com combustíveis sólidos para geração de energia na forma de calor (PROTÁSIO et al., 2011).

De acordo com a Figura 14, os briquetes com maior e menor densidade, respectivamente, foram T8 e T2. A variação da densidade entre os tratamentos foram entre 0,8 a 1,25%, observando que os briquetes produzidos com a biomassa de casca de coco, mostraram-se ser mais densos em relação aos da poda. A variação da densidade dos briquetes referentes a cada tratamento pode ter sido influenciada por fatores como a pressão utilizada, temperatura, o tempo de compactação, a granulometria da biomassa entre outros durante o processo de briquetagem.

Figura 14. Valores médios correspondentes à densidade aparente em cada tratamento produzidos.



Fonte: Autoria Própria (2017).

As densidades calculadas para os briquetes produzidos em diferentes concentrações de biomassa, casca de coco e podas de árvores, não diferenciaram dos valores encontrados por outros autores, dos quais analisavam briquetes produzidos com biomassa semelhante. Batista et al. (2016) obteve densidade igual a 1,15 g/cm³ com briquetes compostos por casca de coco, enquanto Silva et al. (2015) observou a densidade de 0,92 g/cm³, para briquetes produzidos com serragem de eucalipto. Por outro lado, Amorim et al. (2015) encontrou valores um pouco mais elevado, 1,14 g/cm³ para briquetes produzidos com ipê roxo. Mas, de acordo com Yamaji et al. (2013), a densidade de briquetes produzidos com resíduos florestais variam entre 0,8 a 0,9 g/cm³.

De acordo com o compilamento estatístico exposta na Tabela 5, correspondente a densidade em cada briquete obtido neste estudo, e ao detectar diferenças significativas entre si, aplicou-se o teste de Tukey.

Tabela 5. Desvio Padrão e aplicação do teste de Tukey para a densidade aparente em cada tratamento

TRATAMENTO	DENSIDADE (g/cm ³)
100% CC + Aglutinante	1,10 ± 0,02 abc
100% PA + Aglutinante	0,80 ± 0,01 d
75% CC, 25% PA + Aglutinante	1,21 ± 0,08 ab
25% CC, 75% PA + Aglutinante	1,17 ± 0,02 ab
50% CC, 50% + Aglutinante	1,05 ± 0,02 bc
100% CC	1,17 ± 0,12 ab
100% PA	0,92 ± 0,01 cd
75% CC, 25% PA	1,25 ± 0,04 a
25% CC, 75% PA	1,20 ± 0,12 ab
50% CC, 50%	1,13 ± 0,06 ab

CC: Casca de Coco, PA: Poda de Árvores. Teste de Tukey onde, as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Através da aplicação da Análise de Variância (ANOVA), foi possível verificar a significância dos resultados entre os tratamentos, além de conhecer outros valores estatísticos como: o grau de liberdade total para densidade dos briquetes de 29; o valor médio de 1,06% e o coeficiente de variação de 2,19%.

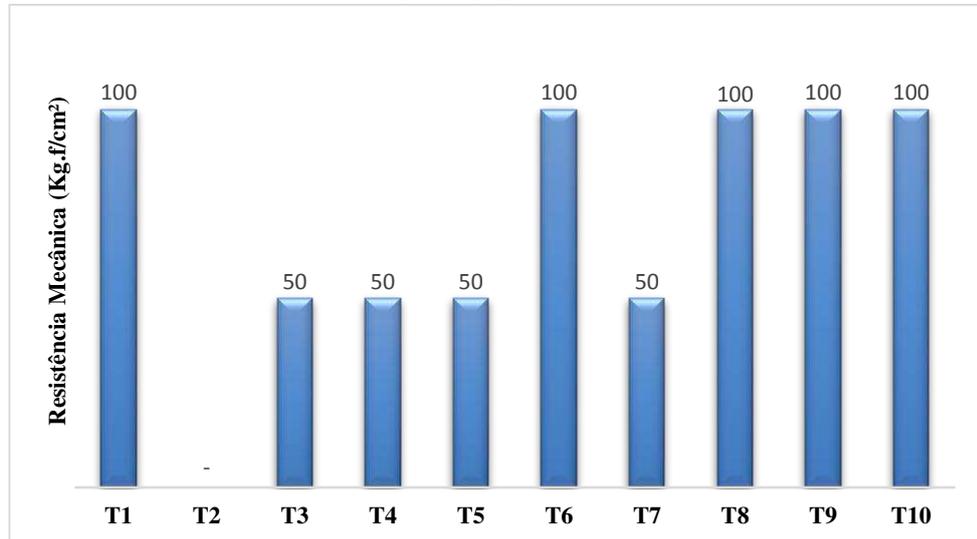
5.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência mecânica determina a capacidade de empilhamento na estocagem dos briquetes, seu manuseio, transporte etc. Os briquetes devem apresentar características ideais de resistência mecânica para o destino ou finalidade que irão receber. Sabe-se que quanto maior a densidade do briquete maior será sua resistência, devendo conhecer sempre seu valor principalmente quando os briquetes serão utilizados em equipamentos que exijam baixos teores de finos, sendo sua alta resistência um importante influenciador de durabilidade (PAULA et al., 2011).

A resistência mecânica dos briquetes produzidos na pesquisa variaram entre 50 e 100 kg.f/cm² (Figura 15). Os briquetes com menor resistência foram os produzidos com a adição do aglutinante, juntamente com o briquete referente ao tratamento T10, 100% podas de árvores sem adição do aglutinante. Esses foram bastante frágeis, não obtendo interações moleculares fortes entre as biomassas e o aglutinante, e /ou apenas com a biomassa, a exemplo do uso de apenas de poda, acreditando-se em dois fatores importantes, a temperatura

em que foram compactados e o aglutinante escolhido. Logo, não foi possível proceder com o teste de resistência.

Figura 15. Valores médios correspondentes à resistência mecânica dos briquetes produzidos em cada tratamento.



Fonte: Autoria Própria (2017).

Os valores de resistência mecânica se assemelharam ao encontrado por Mata (2012), em que os briquetes produzidos com biomassa vegetal apresentaram resistência mecânica igual a 58,4 kg.f/cm². Dias Júnior (2013) observou resistência mecânica de 80,40 kg.f/cm² para briquetes produzidos com resíduos de bambu e o aglutinante carboximetilcelulose (CMC), favorecendo ainda mais as interações intermoleculares entre as ligações de hidrogênio, presente tanto na biomassa como no ligante.

De modo que, os valores de algumas composições de briquetes, Figura 15, com presença da biomassa de casca do coco mais podas de árvores ou apenas casca de coco, assumiram 100 Kg.f/cm², na sua maioria sem o ligante. Um possível motivo para os baixos valores de resistência mecânica pode estar atrelado à temperatura, o aglutinante escolhido, que foi o óleo de fritura, e o tamanho das partículas da biomassa utilizada no nosso estudo.

Quanto a estatística, não foi possível submeter os resultados obtidos referentes a resistência mecânica dos briquetes produzidos em cada tratamento, em virtude da impossibilidade de não existir diferenças entre sim, ou seja, as três repetições realizadas para cada tratamento obtiveram valores iguais. Sendo assim, não foi possível aplicar nem a Análise de Variância (ANOVA) e nem o teste de Tukey. Os resultados do desvio padrão tendenciaram a zero.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, com a confecção de dez tipos de briquetes representados em diferentes composições dos resíduos lignocelulósicos, casca de coco e podas de árvores, com e sem aglutinante (óleo de fritura), foi possível constatar alguns fatores significativos após a briquetagem, a saber:

1. Ao utilizar ligante apolar na mistura de resíduos, acreditando-se agregar mais potencial energético para os briquetes, nos resultou boa resistência apresentando fissuras e fragilidade, exceto para 100% de casca de coco (T1), não nos permitindo a mensuração. Em contrapartida, os briquetes sem o aglutinante, em especial os constituídos por 100% de cascas de coco (T6), e 75% de casca de coco e 25% podas (T7), assumiram resistência de no máximo 100 Kg.f/cm², se destacando entre os demais tratamentos, nos fazendo acreditar que as interações intermoleculares foram mais favoráveis e significativas apenas entre as biomassas;
2. Dentre as condições de briquetagem, a granulometria adotada durante os tratamentos foi favorável para se obter os briquetes, mesmo divergindo dos valores encontrados pela literatura;
3. Quanto aos briquetes constituídos com maior concentração de resíduos madeireiros, podas de árvores, estes incorporaram ao produto melhores resultados, no que concerne a baixos valores de umidade (T2 e T4) e de cinzas (T2), elevados teores de materiais voláteis (T4) e de carbono fixos (T2 e T7) são ideais para o desempenho da queima, ignição. No entanto, maiores concentrações com podas comprometem a resistência do produto, deixando-o com fissuras, o que não suportaria a carga de empilhamento no ato de transporte e armazenamento do produto. Já os briquetes com maiores concentrações de coco, promovem ao biocombustível maior resistência.

Por fim, as biomassas utilizadas, casca de coco e poda de árvore, agregam características particulares ao briquete, nos fazendo inferir que o aproveitamento desses resíduos são promissores para produção de biocombustíveis sólidos com elevados potenciais energéticos, além de ser uma alternativa de destinação final dos resíduos.

REFERÊNCIAS

_____. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605/1998; e dá outras providências.** Brasília, 2010.

AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fmurarm102wyiv8065610d9gndlvw.html>>. Acessado em: 18 jan. 2017.

AMORIM, F. S.; RIBEIRO, M. X.; PROTÁSIO, T. de P. et al. Produção de briquetes a partir de espécies florestais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 4, p. 34-41, 2015.

ARAÚJO, V.C.; BEZERRA, E. S. P.; LIMA NETO, J. A. et al. **Estudo do aproveitamento de podas de árvores para a produção de briquete em dois municípios do Rio Grande do Norte.** In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN, 9., 2013, Natal. Anais... Natal, 2013. p. 1-7.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10.004/2004: **Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro, 2004a.

BARROS, L. de O. **Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas.** 2012. 46p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Florestal), Universidade de Brasília, Brasília – DF.

BATISTA, M. G.; FERNANDES, D. L. et al. Caracterização de briquetes produzidos por resíduos lignocelulósicos em diferentes concentrações. In: Encontro Nacional da Agroindústria, 2. **Desafios da Agroindústria no Brasil.** Bananeiras: IBEA - Instituto BioEducação, 2016. p. 1190-1195.

BEN. Balanço de Energia Nacional. **Oferta Interna de Energia.** Disponível em: <http://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf> . Acesso em: 10 mai. 2011.

BIOMAX. Briquetes. Disponível em: <<http://www.biomaxind.com.br/site.html>>. Acessado em: 25 jan. 2017.

BORGHI, M. da M. **Efeito da granulometria na avaliação dos briquetes.** 2012. 47f. Monografia (Departamento de Ciências Florestais e da Madeira), Universidade Federal do Espírito Santo, Graduação em Engenharia Industrial da Madeira, Espírito Santo, 2012.

CARVALHO, J. B. R. **Composto a partir de glicerina e biomassa para produção de energia.** 2010. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Sergipe, Aracaju – SE.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea.** Diagnóstico do município de Pombal, estado da Paraíba/ Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

- DIAS JÚNIOR, A. F. **Caracterização De Briquetes Produzidos Com Resíduos Agroflorestais**. 2013. 36 f. Monografia – Institutos de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Graduação em Engenharia Florestal, Seropédica, 2013.
- DIAS, J. M. C. de S.; SOUZA, D. T. de; BRAGA, M. et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Documentos 13. Embrapa Agroenergia, Brasília, 2012.
- EMBRAPA. Importância econômica da cocoicultura no Brasil. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em Mar 2017.
- ESTEVES, M. R. L. **Estudo do potencial energético e aproveitamento das cascas de coco verde para a produção de briquete em Maceió – AL**. 2014. 79p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Química), Universidade Federal de Alagoas, Alagoas – AL.
- FAO. Food Agriculture Organization. World production of the natural foods. Disponível em: <www.faostat.org/family-farming-2014/pt/>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- FERNANDES, D. L. **Proposição de alternativas e ações para universalização dos serviços de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos no município de Pombal-PB**. 2016. 70 f. Monografia – Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar, Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2016.
- FREIRE, P. C. M.; MANCINI-FILHO, J.; FERREIRA, T.A. P. de. Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde. **Rev. Nutr.**, Campinas, v.26, n.3, p.353-368, maio/jun., 2013.
- GENTIL, L.V.B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira** (Tese de Doutorado em Engenharia Florestal), Brasília, UnB, 2008.
- GODECKE, M. V.; NAIME, R. H.; FIGUEIREDO, J. A. S. O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p. 1700-1712, 2012.
- GONÇALVES J. E. **Avaliação energética e ambiental de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus Grandis***. Tese (Doutorado) em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=251620&search=paraibalsousa>>. Acesso em: 19 dez. 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2010/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=251620&search=paraibalsousa>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em:

<<http://www.cptec.inpe.br/cidades/tempo/4083>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

LONG, H.; LI, X.; WHANG, H.; JIA, J. Biomass resources and their bioenergy potential estimation: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p.344–352, 2013.

MAIA, B. G. de O. **Valorização de resíduos da bananicultura e da rizicultura na produção de briquetes**. 2013. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Universidade da Região de Joinville, Joinville – SC.

MAROZZI, C. R. B. **Caracterização de resíduos agroindustriais e florestais visando a briquetagem**. 2012. 37f. Monografia (Departamento de Ciências Florestais e da Madeira), Universidade Federal do Espírito Santo, Graduação em Engenharia Industrial da Madeira, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, 2012.

MARTINS, C. R.; JESUS Jr. L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional**. Documentos 164. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2011.

MEIRA, A. M. de. **Gestão de resíduos da arborização urbana**. 2010. 179f. Tese (Doutorado) em ciências, Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C. S.; HANSTED, A. L. S. et al. Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes. **Revista Virtual de Química**, Sorocaba, v.9, n. 1, p. 150-162, 2016.

NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R. dos; SANTOS, T. C. dos. **Tecnologia para biodegradação da casca de coco seco e de outros resíduos do coqueiro**. Circular Técnica 46. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2007.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. M. D. **Produção de briquetes com resíduos de vegetais de jardinagem e podas em condomínios residenciais**. 2013. 53p. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba – SP.

PADILLA, E. R. D.; PIRES, I. C. S. A.; YAMAJI, F. M. et al. Produção e Caracterização Físico-Mecânica de Briquetes de Fibra de Coco e Palha de Cana-de-Açúcar. **Revista Virtual de Química**, Montería, v. 8, n. 5, p. 1334-1346, 2016.

PANCIERI, B. M., **A produção de briquetes como incentivo à sustentabilidade - aplicabilidade da logística reversa em madeireiras no município de Tomé-Açu**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. Anais... Salvador: Enegep, 2009. p. 1-13.

PATUSCO, J. A. M., **Resenha Energética Brasileira**. Exercício de 2015, Edição de maio de 2016. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. MME. p. 1-31. Brasília – DF.

PAULA, L. E. de R. e; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; et al. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 103-112, 2011.

PAULA, L. E. de R. e, **Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos**.

2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PMSBP – Plano Municipal de Saneamento Básico de Pombal-PB. **Diagnóstico dos Serviços de Saneamento Básico e Seus Impactos – Serviços de Limpeza Urbana e Manejo dos Resíduos Sólidos**. Versão Preliminar. Pombal-PB, 2015.

PROTÁSIO, T. de P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F. et al. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos**. Ed. IBAMA - Circular Técnica do LPF. v. 1, n. 2, 1991.

QUIRINO, W. F. **Utilização Energética de Resíduos Vegetais. Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA**. Brasília, 2003. 14p.

QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. de O.; MOREIRA, A. C. de O. et al. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

RABELO, S. C. **Avaliação de desempenho do pré-tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino para a hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar**. 2007. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo – SP.

Revista Da Madeira. Disponível:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1736&subject=Briquete%20Lenha%20Ecol%F3gica&title=Briquete:%20lenha%20ecol%F3gica>. Acessado em: 25 jan. 2017.

SANT'ANNA, M. C.; LOPES, D. F. C.; CARVALHO, J. B. R. et al. Caracterização de briquetes obtidos com resíduos da agroindústria. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 289-294, 2012.

SANTOS, J. O. dos S.; SANTOS, R. M. de S.; COSTA, L. M. da. et al. Produção e utilização de briquetes no Brasil. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, Garanhuns, v. 5, n. 1, p. 36-40, 2015.

SCHUTZ, F.; MASSUQUETTI, A.; ALVES, T. W. Demanda e oferta energética: uma perspectiva mundial e nacional para o etanol. **Revista Eletronica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 16, n. 16, p. 3167-3186, 2013.

SILVA, A. C. Reaproveitamento da casca de coco verde. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**. Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. v.13, n.5, p.4077-4086, 2014.

SILVA, D. A. da; YAMAJI, F. M.; BARROS, J. L. de. et al. Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 713-722, 2015.

SILVA, F. A. S; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res.** v. 11, n.39, p. 3733-3740, 29 September. 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522.

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador – BA.** 2008. 164p. Dissertação (Pós-graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Ênfase em Produção Limpa), Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** EPE: Rio de Janeiro, 2016, ISBN 978-85-60025-06-0.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas.** 2012. 72p. Dissertação (Pós-graduação em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR.

WERTHER J.; SAENGER, M.; HARTGE, E. U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in energy and combustion science.** Alemanha: Pergamon, v.26, p. 1-27, 2000.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W. P. **Análise do comportamento higroscópico de briquetes.** Energia na Agricultura, v. 28, n. 1, p. 11-25, 2013.

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.