



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**



MARIANA VIEIRA PAIVA

**TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE BRIQUETES DE RESÍDUOS DE
FRUTA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**

UBERLÂNDIA

2022

MARIANA VIEIRA PAIVA

**TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE BRIQUETES DE RESÍDUOS DE
FRUTA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA.**

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Química.

Professora: Profa. Dra. Patrícia Angélica Vieira

UBERLÂNDIA

2022

TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE BRIQUETES DE RESÍDUOS DE FRUTA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA.

Uberlândia, 11 de agosto de 2022

Monografia aprovada para a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Química, da Universidade Federal de Uberlândia (MG) pela banca examinadora formada por:

Profa. Dra. Patrícia Angélica Vieira, FEQUI/UFU (Orientador)

Profa. Dra. Thamayne Valadares Oliveira, FEQUI/UFU

M.^a Bruna Jeanne Soares Pacheco, FEQUI/UFU

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer e dedicar esta dissertação às seguintes pessoas:

Minha mãe Andréa, que sempre se empenhou e se dedicou para que eu tivesse sucesso em minha vida, sem seu apoio incondicional eu nada seria.

Meu pai Junior, que sempre me proporcionou todo o conforto e incentivo para que eu pudesse vencer essa etapa desafiadora.

Meu irmão Pedro, que sempre foi meu companheiro. Obrigada pela amizade e atenção dedicada em todos os momentos que precisei.

Aos meus avós Zezé e Lazineira, que sempre me deram apoio, carinho e incentivo durante toda essa jornada, vocês são minhas inspirações de vida.

Ingrid, sem seu apoio e companheirismo, essa graduação não seria possível. Obrigada por aguentar tantas crises de estresse e ansiedade ao meu lado.

Agradeço também, a todas as pessoas da minha família que sempre torceram para o meu sucesso. Vocês foram muito importantes nessa jornada.

Agradeço a todos os meus amigos que estiveram do início ao fim dessa graduação e também aqueles que chegaram no final. Vocês foram fundamentais para minha formação.

Sou grata a todos os professores que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente a Prof. Patrícia, responsável pela orientação da pesquisa. Te agradeço por esclarecer tantas dúvidas e por sempre estar à disposição nos momentos que precisei, sendo atenciosa e paciente comigo.

RESUMO

Energias renováveis são fontes da natureza para a produção de eletricidade, calor ou combustíveis, sendo soluções mais limpas para diminuir a degradação ambiental. Dentre as energias renováveis conhecidas, destacamos a biomassa. A partir de resíduos agroindustriais, como de frutas, tal biomassa pode ser utilizada na geração de energia através da produção de briquetes. O processo de briquetagem acontece a partir do uso de algumas tecnologias de compactação, com pré-tratamento da matéria-prima para controlar a umidade e depois para a briquetadeira, que compacta os briquetes no formato cilíndrico. Assim, este trabalho realizou o levantamento bibliográfico para conhecer as melhores condições de preparação de briquetes de resíduos agroindustriais para aplicações nas indústrias. Além disso, foi realizado um estudo de caso utilizando a biomassa de coco verde para a produção de briquetes. No Estudo de Caso foi realizada uma análise físico-química da biomassa, e os resultados obtidos nas análises apontaram um bom aproveitamento de potencial energético dessa biomassa, com valores de 19,47 MJ/Kg de poder calorífico e 9.735,00 MJ/m³ de densidade energética, estes valores comparados com o poder calorífico de 18,89 MJ/Kg da cana de açúcar evidencia o bom aproveitamento. No estudo de caso analisado, utilizando coco verde como biomassa, foi comprovado que a produção de briquetes de biomassa de resíduos lignocelulósica possui potencial energético para utilização como combustível renovável. Outro ponto importante e relevante é que os briquetes possuem um alto poder calorífico, comparados a lenha e ao bagaço de cana de açúcar, sendo muito favorável, considerando que quanto maior o poder calorífico maior é a energia que possui nele.

Palavras-chave: energias renováveis; briquetes; resíduos de frutas; processo de briquetagem.

ABSTRACT

Renewable energies are clean, natural sources that present low environmental damage risk when used to produce electricity, heat, or fuel. One of those renewable energies is biomass, which is made from agro-industrial waste, such as fruit leftovers and scraps. Biomass can be used to generate power through the production of briquettes. The briquetting process happens through compression, pre-treating the raw matter to contain humidity before taking it to the briquetter, which compresses the briquettes into cylinders. Thus, this research consists of a bibliographical survey, which was made in order to know what the best conditions for the preparations of agro-industrial waste briquettes in the industries are. Furthermore, this research has also studied the use of green coconut biomass for the briquettes production. In the case study, a physical-chemical analysis of biomass was performed, and the results obtained in the analyzes have shown a good power potential, reaching 19.47 MJ/Kg of calorific value and 9,735.00 MJ/m³ of energy density, these values compared with the calorific value of 18.89 MJ/Kg of sugarcane shows good utilization. In the case study analyzed, using green coconut as biomass, it has been proven that the production of lignocellulosic waste biomass briquetter has energy potential for use as renewable fuel. Another important and relevant point is that briquettes have a high calorific value, compared to firewood and sugarcane bagasse, being very favorable, whereas the higher the calorific value, the greater the energy it has in it.

Keywords: renewable energies; briquettes; fruit waste; briquetting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes de biomassa e seus processos de conversão.	15
Figura 2 – Ilustração de briquetes.	18
Figura 3 - Prensa extrusora de pistão mecânico	20
Figura 4 - Prensa extrusora de pistão hidráulico	20
Figura 5 - Peletizadora convencional	20
Figura 6 - Fluxograma do processo de briquetagem	22
Figura 7 - Trecho da orla da cidade de Maceió-AL avaliado no trabalho.	26
Figura 8 - Briquetes de bagaço de cana da Renove S.A. e Sumaúma.	29
Figura 9 - Mapa das regiões alta e baixa de Maceió-AL.	30
Figura 10 - Prensa IKA-WERKE	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poder calorífico e teor de umidade de resíduos agroindustriais	11
Tabela 2 - Poder calorífico de resíduos agrícolas	16
Tabela 3 - Resultados físico-químicos da biomassa da casca de coco verde in natura e em formato de briquetes.	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3 METODOLOGIA	13
4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	14
4.1 Biomassa	14
4.2 Resíduos Agrícola e de Frutas	16
4.3 Briquetes	18
4.3.1 Processo de Briquetagem	19
4.3.2 Principais Processos Aplicados no Brasil	22
5 ESTUDO DE CASO	25
5.1 Resumo	25
5.2 Materiais e Métodos	25
5.3 Resultados e Discussão	27
5.4 Conclusão do Estudo de Caso	34
6 CONCLUSÃO GERAL	36
7 REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Compreende-se como energia renovável, uma ampla gama de fontes de energia, disponibilizadas na natureza de forma recorrente e que podem ser utilizadas com o fim de gerar eletricidade, calor ou produzir combustíveis líquidos para o setor de transportes. Atualmente, é indispensável que estejam inseridas nas políticas energéticas dos países, já que exercem um papel sustentável importante (CUNHA; PRATES, 2005).

As fontes sustentáveis de energia são, então, denominadas “renováveis”, devido à capacidade de repor ao meio ambiente, de forma natural, os recursos utilizados para a sua produção. O benefício disso é a diminuição do impacto ambiental provocado pelo uso de matéria-prima que, normalmente, é não renovável. Dentre as energias alternativas renováveis mais conhecidas atualmente, encontram-se a eólica, a hidráulica, a do mar, a solar, a geotérmica e a biomassa (NASCIMENTO; ALVES, 2017).

A biomassa é toda a matéria orgânica, não fóssil, de origem vegetal, animal ou microbiana. Assim, pode-se utilizá-la para gerar calor, eletricidade ou produzir biocombustíveis sólidos – como briquetes e pellets; líquidos – tal qual o etanol e o biodiesel; ou gasosos – a exemplo, o biogás e o gás de síntese. Além disso, a partir de diferentes tecnologias, é possível transformar esses biocombustíveis em energias mecânica, térmica ou elétrica e aplicá-las de diversas maneiras, a fim de substituir as energias não renováveis (DIAS *et al.*, 2012).

Dessa forma, os briquetes aparecem como uma alternativa de combustível sustentável e produtos de interesse, devido ao seu alto poder calorífico, obtido pela compactação de resíduos de madeira, tal qual o pó de serragem e as cascas de vegetais. Seu aparecimento se dá com a Indústria Naval dos Estados Unidos, em 1848. No entanto, houve falta de interesse, provocada pela grande disponibilidade de matéria orgânica, e por conta da pouca preocupação ambiental existente na época. O seu processamento ocorre com a compactação de resíduo de natureza lignocelulósica, por meio do qual é rompida a elasticidade natural das fibras, resultando em uma forma bastante eficiente para absorver a energia disponível da biomassa (DANTAS, 2012).

Dessa forma, um metro cúbico de briquetes contém cerca de duas a cinco vezes mais energia que um metro cúbico de resíduos (ROCHA *et al.*, 2015). Com o passar do

tempo, houve o encarecimento dos combustíveis minerais e o aparecimento de inúmeros problemas ambientais, dessa maneira, surgiu a necessidade de uma nova fonte de energia que contornasse todos esses problemas. Assim, o briquete foi a fonte energética ambiental que se encaixou nesse perfil, passando a ser visto como uma real alternativo renovável (DANTAS, 2012).

Os briquetes apresentam, portanto, forma regular e constituição homogênea. Assim, além de gerarem energia, são considerados lenha ou carvão ecológico de alta qualidade, feitos a partir da compactação de resíduos lignocelulósicos, sob pressão e temperaturas elevadas (SANT'ANNA *et al.*, 2012). Nessa mesma configuração, existem os pellets – um tipo de lenha – normalmente produzidos a partir de serragem de madeira refinada e seca, que depois é compactada.

Desse modo, os briquetes e os pellets resultam da compactação de resíduos lignocelulósicos e são utilizados na geração de energia, na forma de calor ou eletricidade. A principal diferença entre eles está na dimensão de cada um – o diâmetro dos pellets pode variar entre 6 e 16 mm, enquanto os briquetes possuem diâmetro superior a 50 mm (CAVALCANTI; FERNANDES, 2015).

Os briquetes podem ser produzidos a partir de vários tipos de biomassa. Assim, existem as biomassas de origem florestal – como a serragem e os restos de serraria; as de resíduos agrícolas – a saber, a palha e o bagaço de cana-de-açúcar; as de resíduos urbanos – tais quais as folhas e troncos das podas de árvores; e as de resíduos agroindustriais – a exemplo, o processamento de alimentos, fibras, bagaços e cascas de frutas (DIAS *et al.*, 2012).

Assim, de todos os alimentos produzidos anualmente no mundo todo para o consumo humano, cerca de 25% a 30% são desperdiçados, ou seja, são transformados em resíduos agroindustriais. Logo, essa porcentagem representa cerca de 1,3 bilhões de toneladas de provisões. Assim, as raízes, frutas, hortaliças e sementes oleaginosas constituem cerca de 40% a 50% desses mantimentos (FAO, 2016). Esses rejeitos possuem um alto poder calorífico, sendo, então, uma fonte de biomassa em potencial.

Dessa forma, compreende-se como poder calorífico, a energia liberada na forma de calor durante a combustão completa de uma unidade de massa, ou de volume – a depender do material combustível em uso. Vale destacar, ainda, que o teor de umidade

influencia na capacidade de poder calorífico, pois quanto maior for, menor será o seu valor energético (MÜZEL *et al.*, 2014). Portanto é importante que isso seja avaliado, ao considerar os resíduos em potenciais a serem utilizados como fonte de energia para combustão. Na Tabela 1 é apresentado alguns valores do poder calorífico e do teor de umidade de alguns deles.

Tabela 1 - Poder calorífico e teor de umidade de resíduos agroindustriais

Resíduos	Poder Calorífico (Kcal/KG)	Teor de Umidade
Caroço de Açaí ¹	4.500	12%
Casca de Cacau ¹	2.500	12%
Cascas de Coco Verde ²	4.650	12%
Caroço de Manga ³	4.081	10%

Fonte: ¹ (CARDOSO *et al.*, 2002) ; ²(ESTEVEZ; ABUD; BARCELLOS, 2015); ³ (NASCIMENTO, T. L. Do *et al.*, 2021)

Na literatura é possível verificar, que os resíduos das frutas, é um dos exemplos que se destacam como fonte de energia renovável do setor agroindustrial. De acordo com os estudos de Perondi (*et al.*, 2019), os refugos de cascas de frutas podem contribuir para a redução do uso de combustíveis fósseis. Isso porque, a conversão termoquímica desses substratos surge como alternativa às energias não renováveis.

Logo, por meio da valorização energética dos rejeitos agroindustriais é possível diminuir a dependência pelos combustíveis fósseis. Ademais, pode-se contribuir para a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa. Nesse sentido, este trabalho consistiu no levantamento das potencialidades de produção e aplicações de briquetes de resíduos de frutas, como uma alternativa de energia sustentável.

2 OBJETIVOS

Este trabalho apresenta objetivos gerais e específicos.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho foi realizar levantamento bibliográfico das principais tecnologias na produção de briquetes, a partir do uso de resíduos de frutas, para a geração de energia.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

1. Descrever os processos de produção de briquetes;
2. Apresentar as técnicas de caracterização da biomassa de resíduos para fins energéticos;
3. Delinear e destacar as biomassas mais relevantes e com potenciais para aplicação, como briquetes;
4. Realizar um estudo de casos aplicados utilizando uma biomassa relevante.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, realizou-se um levantamento bibliográfico relacionado ao assunto – a produção de energia por meio dos briquetes produzidos com resíduos de frutas. Dessa forma, foram realizadas leituras e estudos de artigos publicados em revistas conceituadas, de dissertações e de teses que abordam a temática. Também, fez-se a análise de um estudo de caso aplicado, trazendo discussões que contribuíram para direcionar, melhormente, as produções de briquetes de resíduos agroindustriais e suas aplicações nas indústrias.

4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste tópico serão abordados os conhecimentos necessários para melhor compreensão da produção de briquetes.

4.1 Biomassa

A biomassa engloba simultaneamente os seres vivos e o conjunto dos produtos orgânicos gerados por eles, mas que não se encontram completamente decompostos em moléculas elementares (COUTO *et al.*, 2004). Dessa forma, a biomassa pode ser definida como,

Todo material orgânico, não fóssil, que tenha conteúdo de energia química no seu interior, o que inclui todas as vegetações aquáticas ou terrestres, árvores, biomassa virgem, lixo orgânico, resíduos de agricultura, esterco de animais e outros tipos de restos industriais. A biomassa de madeira inclui todo o material da árvore: tronco, ramos, folhas, casca e raízes (VIDAL; DA HORA, 2011 p.266).

A partir de diferentes tecnologias, é possível transformar estes biocombustíveis em energia, nas formas mecânica, térmica ou elétrica, e usá-los de diversas maneiras para suprir algumas necessidades da população urbana tais como, a geração de energia elétrica em residências, conforme afirma José Manuel Dias (*et al.*, 2012).

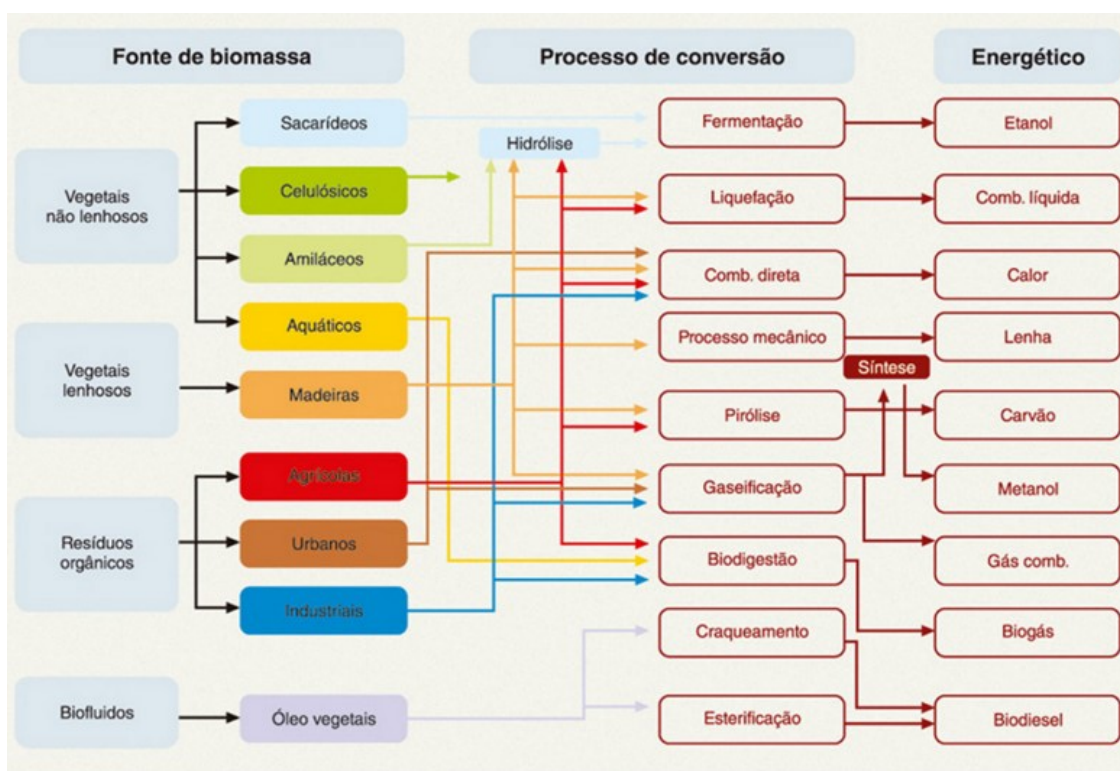
Assim, seja para fins energéticos ou como fonte para a geração de energia elétrica, a biomassa está entre as fontes renováveis com mais possibilidades em termos de natureza, origem, tecnologia de conversão e produtos energéticos disponibilizados para uso (ENERGIA, 2007). O que justifica, inclusive, o interesse deste trabalho em refletir a respeito da aplicação dos resíduos de frutas na produção de briquetes.

Existem, assim, algumas categorias de classificações para a biomassa, e de acordo com o documento sobre o uso da biomassa para a geração de energia (MARAFON *et al.*, 2016), a biomassa pode ser classificada em dois amplos grupos: (1) biomassa tradicional, composta fundamentalmente pela lenha e resíduos naturais e (2) biomassa moderna, produzida a partir do uso de tecnologias avançadas e eficientes, tais como

biocombustíveis líquidos, briquetes e pellets, cogeração (bagaço de cana) e os cultivos de espécies florestais plantadas e o da cana-de-açúcar.

Desse modo, de acordo com Nonhebel (2007), as biomassas mais significativas em relação à energia são aquelas obtidas de culturas energéticas e de resíduos agrícolas, originários de material vegetal, gerados no sistema de produção de outros produtos. Assim, por meio da biomassa é possível obter diversas formas de energia. As suas principais utilizações são: produção de biocombustíveis sólidos para geração de energia térmica (carvão e resíduos agroflorestais), biocombustíveis líquidos (álcool combustível e biodiesel utilizados em motores a combustão) e geração de energia elétrica (combustão direta, gaseificação, queima de gases, entre outras tecnologias). A biomassa pode ser obtida de vegetais lenhosos, não-lenhosos e/ou de resíduos orgânicos, e transformada em energia através de diferentes processos de transformação de acordo com a figura 1 (MARAFON *et al.*, 2016).

Figura 1 - Fontes de biomassa e seus processos de conversão.



Fonte: (MARAFON *et al.*, 2016)

4.2 Resíduos Agrícola e de Frutas

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) 10.004 – Classificação de 2004, conceitua o vocábulo “resíduos” como aquilo que “(...) resulta de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição” (ABNT, 2004). Já os resíduos de origem agrícola, por sua vez, são definidos como aqueles que apresentam potencial para serem utilizados na produção de energia. Alguns exemplos desses rejeitos agroindustriais são os de culturas agrícolas e de seu beneficiamento, palhas, cascas de frutos, cereais, bagaços, sedimentos das podas de pomares, de vinhas e de madeireiros (SAITER, 2008). Isto posto, na Tabela 2 são apresentados alguns resíduos agrícolas e seus potenciais energéticos.

Tabela 2 - Poder calorífico de resíduos agrícolas

Resíduos	Poder Calorífico (Kcal/KG)
Bagaço de cana-de-açúcar ¹	4.511,8
Processamento de café ¹	4.606,4
Casca de arroz ¹	3.863,8
Algodão ²	4.300,0
Resíduos do coco babaçu ²	4.300,0
Maravalha de eucalipto ²	4.500,0

Fonte: 1 (PROTÁSIO et al., 2011); 2 (DIAS et al., 2012)

Nas diversas etapas da cadeia produtiva, existem consideráveis perdas de produtos agrícolas, desde a produção no campo até o momento de consumo, passando pela elevada geração de resíduos no processamento agroindustrial de produtos animais e vegetais (FONSECA et al., 2018). Assim, de acordo com a pesquisa de Leandro Viana e Patrícia Cruz (2016), a maioria dos resíduos das atividades agroindustriais são derivadas do processamento de frutas para produção de polpas.

Conforme, ainda, Leandro Viana e Patrícia Cruz, os resíduos agroindustriais são compostos por casca, caroço, sementes e bagaço. Dessa forma, é possível utilizar todas

as partes das frutas e das hortaliças, polpa, bagaços, cascas, talos e folhas, na criação de novos produtos, a fim de evitar o desperdício. Logo, esses rejeitos se apresentam como uma alternativa tecnológica sustentável bastante acessível, que pode ser aplicada tanto no ambiente industrial como no residencial (RORIZ, 2012).

Uma das alternativas tecnológicas a partir dos resíduos de frutas é a produção de briquetes. Um exemplo é o estudo de caso realizado por Bruno Reis (REIS *et al.*, 2002), sobre os briquetes energéticos, fabricados com de caroços de açaí, provenientes de uma palmeira amazônica. Para esta pesquisa, foram realizadas algumas análises químicas nos caroços de açaí, a fim de determinar características termoquímicas, como sua capacidade calorífica, de 4.500,00 Kcal/Kg, e seu potencial energético, de 40.751,00 MWh/mês. Por fim, os estudiosos concluíram que o uso dos briquetes energéticos dos resíduos de açaí são uma boa alternativa tecnológica para produzir energia de forma mais econômica e sustentável (REIS *et al.*, 2002).

Outra pesquisa interessante, a partir de resíduos agrícolas, foi a de Erika Silva (*et al.*, 2018), que avaliou o aproveitamento energético da biomassa do coco verde. Verificou-se, assim, pelo estudo de caso, um grande consumo dessa fruta no Brasil e, por conseguinte, muita produção de resíduos sólidos, além de seu acúmulo exacerbado nos litorais e nas cidades. Dessa forma, para os pesquisadores, uma das alternativas para diminuir a quantidade desses rejeitos nos espaços públicos é a reciclagem.

Da mesma maneira, a pesquisa realizada por Erika Silva (*et al.* 2018) concluiu serem os resíduos de coco verde uma das melhores alternativas para a produção de briquetes. Isso porque, após uma série de estudos, observou-se que essa forma de biomassa possui um valor de poder calorífico em torno de 4.490,00 Kcal/Kg. Ademais, o coco verde pode ser reaproveitado de várias formas – como substratos agrícolas, confecção de artesanatos, produção de etanol, entre outros. Desse modo, segundo os pesquisadores, reaproveitar a biomassa dessa fruta na criação de briquete é interessante, tanto na produção de energia, por possuir um valor energético alto, quanto para a resolução de problemas ambientais.

4.3 Briquetes

Briquetes são blocos cilíndricos, compactados mecanicamente em alta pressão e que possuem alta densidade, compostos por resíduos com origem vegetal agroindustriais, de madeiras, de frutas, entre outros (BIOMAX). Assim, a Figura 2 mostra o formato de briquetes produzidos para fins energéticos.

Figura 2 – Ilustração de briquetes.



Fonte: (BIOMAX)

Os briquetes são utilizados, então, como uma alternativa na geração de energia na forma de calor ou eletricidade. Possuem um diâmetro superior a 50mm e podem ser produzidos a partir de qualquer resíduo vegetal. Ademais, é possível aplicá-los de vários modos – um exemplo, é como substitutos diretos da lenha (DIAS *et al.*, 2012).

Portanto, além de ser um combustível renovável, o briquete apresenta as seguintes características: fácil manuseio e armazenamento, calor homogêneo, maior temperatura da chama, pouca produção de fumaça, cinza e fuligem, não é um produto sazonal, é legalizado pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). Ademais, é totalmente reciclado, não produz labaredas, não é tóxico, não precisa de monocultura, utiliza mão de obra humana e tecnológica, atinge vários campos de trabalho, é vendido em quantidade de massa. Também, preserva o meio ambiente, por não necessitar que a empresa se desloque para outros lugares onde haja matéria-prima e possui um menor custo de produção. Da mesma forma, é bastante utilizado em territórios com escassez de terrenos e de árvores, pois utiliza restos de biomassa. E,

pelo fato de não desmatar, não provoca erosão do solo, nem interfere na sua esterilidade, possuindo, então, um “marketing verde” (DANTAS, 2012).

4.3.1 Processo de Briquetagem

A briquetagem pode ser definida como o processo de densificação de pequenas partículas, a fim de facilitar o manuseio do material *in natura* para transporte, estocagem e aumento do poder calorífico da biomassa. A matéria prima utilizada em sua produção inclui resíduos da indústria madeireira, biomassa e outros rejeitos que podem ser inflamáveis (WILAIPON, 2009).

Desse modo, existem algumas tecnologias para a produção de briquetes, são elas: a compactação com alta pressão, a compactação com média pressão aliada à alta temperatura e a compactação com baixa pressão – a partir do uso de aglutinantes (WILAIPON, 2009). Assim, a densificação, por meio da briquetagem, garante a valorização de uma série de rejeitos, uma vez que promove a sua homogeneização em termos de umidade, granulometria e densidade. De tal modo, essa compactação ou prensagem, além de empregar os resíduos vegetais, possibilita compactar ou aglomerar minérios, restos de metais e produtos químicos variados (QUIRINO, 2000).

A briquetagem é, portanto, uma forma muito eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa. Isso porque $1,00\text{m}^3$ de briquetes contém pelo menos 5 vezes mais energia que $1,00\text{m}^3$ de resíduos – se considerar a densidade a granel e o poder calorífico médio desses materiais (QUIRINO; BRITO, 1991).

O processo de briquetagem consiste, então, na aplicação de pressão a uma massa de partículas, com ou sem adição de ligante e com ou sem tratamento térmico posterior (QUIRINO; BRITO, 1991). A partir de estudos sobre o assunto, Waldir Quirino e José Brito (2000) afirmam que os resíduos, após transformação em cilindros e secos entre 12% a 18% de umidade, podem ser briquetados em extrusoras de pistão mecânico (Figura 3), extrusoras de pistão hidráulico (Figura 4), extrusoras de rosca sem fim ou, ainda, peletizados (Figura 5).

Figura 3 - Prensa extrusora de pistão mecânico



Fonte: (MACHINIO, 2022)

Figura 4 - Prensa extrusora de pistão hidráulico



Fonte: (TECNOBRIQ, 2022)

Figura 5 - Peletizadora convencional



Fonte: (ENGMAQ, 2022)

Ao descrever a produção dos briquetes nos maquinários, observa-se que, em uma prensa de pistão mecânica, a matéria-prima é alimentada e compactada na matriz por um pistão alternativo. A matriz, geralmente, consiste em um tubo cônico, com seção transversal circular, utilizado para compressão e extrusão na forma de briquetagem. O atrito da matéria-prima com a parede da matriz, que eleva a temperatura, varia de 150 a 300°C. Assim, o material extrudado continua a passar por um duto com diâmetro ligeiramente maior que a seção transversal da matriz, a fim de manter sua forma de briquete, enquanto esfriam. A refrigeração é, então, necessária para permitir que o vapor condense – caso contrário, a pressão pode causar rachaduras na superfície e enfraquecer os pellets (DIAS et al., 2012).

Quanto às possibilidades de prensas para a briquetagem, as hidráulicas surgem como uma opção. Esse dispositivo utiliza um pistão acionado por água corrente, a fim de empurrar o material compactado para o lado, por uma rosca sem fim. Dessa forma, uma peça voltada para o pistão se abrirá e empurrará o briquete para fora, quando a pressão desejada for atingida. Assim, não é um processo de extrusão. Logo, a pressão aplicada é geralmente menor, se comparada à prensa de pistão mecânica, resultando, então, em briquetes de menor densidade (QUIRINO, 1980).

Deve-se pensar, por sua vez, no local de produção dos briquetes. Este deve possuir, além da briquetadeira, silos de armazenagem, picadores, moinhos e secadores, a fim de atender as etapas de pré-tratamento da matéria-prima. Após a fabricação, podem ser ensacados, ou empilhados e embalados, para transporte e distribuição (EMBRAPA, 2012).

Desse modo, a Figura 6 mostra o fluxograma do processo de briquetagem. O primeiro passo, então, consiste em receber a matéria-prima e encaminhá-la para um silo úmido, que, por sua vez, vai enviá-la para o moinho – onde serão trituradas, a fim de obter uma forma homogênea. Na sequência, com o intuito de diminuir a umidade, vão passar pela secagem. Depois, serão estocadas em um silo seco, daí prosseguirão para a briquetadeira – responsável pela produção dos briquetes – que vai compactá-las em temperaturas altas. Assim, a lignina será plastificada, resultando em um pó a ser

transformado num cilindro homogêneo. O último passo será a embalagem e a estocagem do produto final (DE SOUZA; PANDOLFI; COIMBRA, 2018).

Figura 6 - Fluxograma do processo de briquetagem



FONTE: (DE SOUZA; PANDOLFI; COIMBRA, 2018)

4.3.2 Principais Processos Aplicados no Brasil

O aumento da fabricação de briquetes e pellets no Brasil é motivado, especialmente, por conta da demanda, cada vez mais alta, dessas matérias-primas nos setores industriais e no mercado em geral. Dessa forma, a economia sustentável reclama e impulsiona a produção de alternativas renováveis, capazes de reduzir a dispersão de resíduos no meio ambiente e a emissão dos gases causadores do efeito estufa na atmosfera. O objetivo, então, é substituir as fontes não renováveis de energia – como os derivados do petróleo, a lenha nativa, o gás liquefeito do petróleo e a eletricidade. Ademais, são opções vantajosas para o comércio, devido à facilidade de estocagem e ao alto poder calorífico que possuem, por serem compactas e homogêneas (DIAS *et al.*, 2012).

É importante destacar que os maquinários e equipamentos utilizados no processo de produção dos briquetes são, em sua maioria, de fabricantes nacionais, como a Biomax, do Rio Grande do Sul, e a Lippel, de Santa Catarina. Já existem, também, no país, empresas produtoras dessa matéria-prima, como a Brasil Biomassa, fundada em 2004, em Curitiba, com filial em São Paulo. Essa companhia é líder na área de consultoria de empresas, na implementação de projetos industriais sustentáveis e no gerenciamento e desenvolvimento de negócios inovadores. Além disso, é especialista em todas as etapas da criação de unidades industriais que envolvem o uso de biomassa para a geração de energia – dentre esses projetos, está o de produção de briquetes (BIOMASSA, 2022).

Dessa forma, um dos empreendimentos da Brasil Biomassa, foi para o grupo financeiro BMG, com a fabricação de biobriquetes, por meio de resíduos de coco babaçu. Desse modo, o processo de produção foi dividido em quatro etapas: de preparação, de mistura, de compressão e de tratamento térmico.

A parte da preparação consistiu no estudo do material compactado a ser briquetado e no tipo de maquinário a ser utilizado para auxiliar na adesão das partículas. A verificação das propriedades da matéria-prima permitiu, então, aferir o valor máximo da pressão utilizada, além da taxa de compactação requerida pelo material. Dessa forma, o coeficiente de atrito da biomassa informou, ao fim da produção, possíveis rachaduras nos briquetes. Observou-se, também, por meio dessa primeira etapa, que o uso de aglutinante ou ligante necessário na fabricação de briquetes, depende tanto das características desse material quanto do tipo da biomassa em manuseio (BIOMASSA, 2022).

O processo de mistura, por sua vez, é uma das principais etapas da produção de briquetes. Nessa, ocorre a fusão da biomassa com o aglutinante – em alguns casos, há o tratamento térmico da mistura, possível de ser realizado no próprio equipamento – briquetadeira –, a partir do uso de vapores saturados ou superaquecidos. Dessa forma, é imprescindível que a temperatura desse amálgama esteja entre 85°C e 90°C, na prensa, e que a umidade seja de $3\% \pm 1\%$, se os valores divergirem desses, pode ser um indicativo de que há defeitos nos briquetes – uma fissura, por exemplo.

A terceira etapa é a de compressão, a fim de realizar a pré-compactação da matéria-prima e encaminhá-la para a briquetadeira. Em sequência, faz-se a compactação, por meio de um maquinário com dois rolos que giram em rotações contrárias, embora numa mesma velocidade. Assim, a pressão ao material vai aumentar, gradativamente, até atingir o seu valor máximo. Então, ao chegar ao seu ápice, a velocidade da máquina, aos poucos, diminui, com o propósito de liberar os aglomerados para a estocagem (BIOMASSA, 2022).

Ressalta-se, dessa forma, que a maioria das empresas que trabalham com a produção de briquetes não utilizam aglutinantes em sua compactação, pois a lignina do material atua como ligante (DIAS *et al.*, 2012). Exceto as que processam finos de carvão e combinam amido de milho para a fécula dessa matéria-prima.

5 ESTUDO DE CASO

Foi escolhido como Estudo de Caso o trabalho intitulado como Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes.

Autores: Mayara Esteves, Ana Abud e Karla Barcellos (2015)

5.1 Resumo

Considerando a alta produção e consumo do coco verde na cidade de Maceió-AL, por conta da utilização das indústrias no envase da água de coco e o comércio nas orlas das praias, cerca de 270 mil frutos por ano, o estudo realizado por Esteves, Abud, Barcellos (2015) buscou verificar o potencial energético da biomassa residual do coco verde na forma de briquetes, sendo eles uma alternativa na utilização à lenha e outros tipos de combustíveis, para a obtenção de energia térmica em fornos industriais. Assim, as pesquisadoras fizeram uma avaliação do potencial energético da biomassa, suas propriedades físico-químicas pré e pós-briquetagem e os procedimentos envolvidos nesta fabricação a partir da casca do coco verde. Após o processamento, os resíduos foram classificados em pó e fibra, proporcionando poder calorífico de 18,48 e 19,47 MJ/kg, respectivamente. As autoras realizaram ainda uma análise do mercado de briquetes na cidade, desde os fundamentais fabricantes aos atuais e prováveis consumidores, identificando que existe um grande potencial de mercado para o uso do briquete feito da biomassa da casca de coco verde no comércio local.

5.2 Materiais e Métodos

A coleta de dados foi realizada na orla da cidade de Maceió-AL, visto o alto consumo e vendas de coco verde no local. A pesquisa de Esteves, Abud, Barcellos (2015) foi com base na aplicação de formulários sobre a geração da casca de coco verde na orla, direcionada aos vendedores de água de coco. As informações coletadas foram

sobre a quantidade de frutos vendidos semanalmente e/ou mensalmente, em períodos de baixa e de alta temporada; o destino final dos resíduos e os registros fotográficos.

O trecho escolhido para a realização da pesquisa foi do trecho que começou no Posto 7 da Polícia Militar, na orla da Jatiúca, até o final da orla da Pajuçara, na Av. Dr. Antônio Gouveia, conforme Figura 7. Esse trecho foi escolhido pela alta demanda de venda e consumo de coco verde na região.

Figura 7 - Trecho da orla da cidade de Maceió-AL avaliado no trabalho.



Fonte: (ESTEVES; ABUD; BARCELLOS, 2015)

Além disso, foi feito um levantamento da geração de resíduos proveniente da produção de água de coco verde pelas indústrias alimentícias na cidade de Maceió, que foi feito junto às empresas de coleta e transportes dos resíduos ao aterro sanitário da cidade. A classificação quantitativa do resíduo gerado pelo consumo in natura do coco verde (R) foi estimado pelo produto do peso médio do coco (P), considerado 0,5 kg, pelo percentual de resíduo (R%), cujo valor é 0,6 (ESTEVES; ABUD; BARCELLOS, 2015).

Também foi realizada uma pesquisa de campo para determinar os principais produtores de briquetes de Maceió, sendo dois fabricantes os únicos distribuidores do produto no Estado de Alagoas. As duas fábricas produzem briquetes de bagaço de cana, porém apenas uma delas possuía uma maior variedade de biomassas para a geração

dos briquetes. Entretanto, nenhum dos fabricantes utilizava a casca de coco verde como biomassa na produção de briquetes. Isso porque afirmavam que a matéria-prima necessitava de algumas etapas como, secagem e separação, e eles não possuíam equipamentos para estas operações.

Além dessa pesquisa foi feito também um levantamento dos consumidores de briquetes na cidade de Maceió, por meio de questionários, onde 100 estabelecimentos foram entrevistados, sendo 70 padarias e 30 pizzarias, que buscou determinar o percentual dos combustíveis mais comuns utilizados por algumas destas instalações para alimentar os fornos, bem como a justificativa para a seleção e os custos mensais associados.

Foi feita a coleta de materiais das cascas de coco verde para caracterização físico-química de densidade, umidade, teor de cinzas, teor de voláteis, teor de carbono fixo, densidade energética e poder calorífico, segundo as normas NBR 8112/83 e NBR 8633/84 da ABNT, respectivamente. Assim, foi possível realizar uma avaliação energética do reaproveitamento dessa biomassa através da produção de briquete.

5.3 Resultados e Discussão

No presente trabalho foi realizada coleta de dados e informações com a antiga Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió (SLUM), que hoje é denominada de Superintendência Municipal de Desenvolvimento Sustentável (SUDES), após um novo código municipal de limpeza urbana ser aprovado em 2019, sendo que este documento regula a destinação de resíduos sólidos na capital e prevê penas mais severas para infratores flagrados em situações de disposição inadequada (PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ, 2019).

Assim, de acordo com o código da SLUM atual SUDES, comerciantes que produzem mais de 100 litros de resíduos sólidos por dia são considerados como grandes produtores de resíduos, assim, são tratados como especiais. Porém, o comércio de venda de água de coco verde feito pelos ambulantes, são considerados de pequeno porte e, além disso, são de extrema importância para o turismo local. No caso das empresas produtoras de água de coco, é feita uma coleta dos resíduos por empresas

coletoras que descartam nos aterros sanitários de Maceió, que custa cerca de R\$ 67,00/tonelada. Sendo que estes resíduos levados para o aterro, seguem o mesmo tratamento que os lixos domiciliares, visto que não havia projetos para o beneficiamento dos resíduos do coco verde. Por conta da falta de informação por parte da SLUM atual SUDES sobre essa biomassa, o trabalho realizado por Esteves, Abud, Barcellos (2015), buscou quantificar a quantidade de resíduos gerados na cidade de Maceió através de pesquisas de campo.

O total de coco verde vendido no período de alta estação (outubro a março) foi em média de 181.482 unidades/ano, enquanto que no período de baixa estação (abril a setembro) a média foi de 87.840 unidades/ano. No total foram 269.322 cocos verdes vendidos anualmente, sendo possível estimar a quantidade de resíduos gerados com a comercialização de coco in natura por barraqueiros e ambulantes. Assim, no levantamento de resíduos tem-se que 80.796 kg de casca de coco verde foram produzidos anualmente na orla da cidade de Maceió (ESTEVES; ABUD; BARCELLOS, 2015).

Além do estudo feito pela produção dos resíduos de coco, foi realizado também um levantamento das empresas que realizam a coleta e a limpeza urbana da cidade. Duas empresas foram identificadas: a Solupel e a Viva Ambiental. A primeira citada não tinha clientes do ramo de coco verde. Já a segunda, possuía na época quatro clientes de diferentes portes e, deste modo, com quantidades distintas de resíduo, totalizando de 125 toneladas/mês, em período de alta temporada, e aproximadamente 100 toneladas/mês em baixa temporada, inteirando 1.350 toneladas/ano (ESTEVES; ABUD; BARCELLOS, 2015).

De acordo com as pesquisas realizadas por Esteves, Abud, Barcellos (2015), a quantidade estimada da produção de casca de coco verde na cidade de Maceió, foi de 1.485 toneladas/ano.

Outro ramo de pesquisa realizada foi nas empresas produtoras de briquetes, que na época do estudo havia duas empresas: Renove S.A., situada em Rio Largo, e a Usina Sumaúma, localizada em Marechal Deodoro. Para fins de verificação atual de possíveis empresas atuantes na produção de briquetes, a presente autora constatou que, além da

Renove S.A. e da Usina Sumaúma, existe a EPaletes, localizada em Maceió, que também realiza a produção de briquetes na região do Nordeste.

A fábrica da Usina Sumaúma ainda é pioneira na produção de briquetes no Nordeste, sendo a principal biomassa utilizada de bagaço de cana-de-açúcar.

A Renove S.A. é uma das principais fornecedoras de briquetes para diversos estabelecimentos, tais como o mercado local de pizzarias, padarias, churrasarias e fábricas de cerâmica. Sua produção dos briquetes é feita de diferentes biomassas, dentre eles o bagaço de cana, a palha e a casca do coco seco, além de gerar briquete de resíduos de madeira e de bambu. A Figura 8 mostra o formato dos briquetes fabricado por cada uma das empresas mencionadas.

Figura 8 - Briquetes de bagaço de cana da Renove S.A. e Sumaúma.



Fonte: (ESTEVEES; ABUD; BARCELLOS, 2015)

Por fim, na última pesquisa realizada pela equipe Esteves, Abud, Barcellos (2015) sobre o comércio de briquetes, foram entrevistados 100 estabelecimentos, sendo 70 padarias e 30 pizzarias na cidade de Maceió. Verificou-se, uma ampla gama de consumidores de briquetes de bagaço de cana e, deste modo, de possíveis consumidores de briquetes de casca de coco. A pesquisa foi realizada em diferentes regiões da cidade de Maceió, caracterizadas em partes alta e baixa da cidade, conforme Figura 9.

em relação à lenha legalizada e à legalidade de seu uso. Porém, foi visto que o valor do briquete é cerca de 25% maior que o valor da lenha. Assim, os estabelecimentos que utilizam a lenha, declaram que a lenha é mais barata e mais fácil de se obter comparado ao briquete, pois podem ser encontrados em estabelecimentos menores, como marcenarias, restos de construção, descarte de móveis velhos, podagem de árvores e, frequentemente, de forma ilegal (ESTEVEES; ABUD; BARCELLOS, 2015).

Além disso, a utilização de forno elétrico e a gás é muito comum por esses estabelecimentos entrevistados, pela facilidade do uso e higiene. A estrutura física do local também influencia a adoção desses equipamentos, pois possibilita a utilização de um ambiente menor, sem a necessidade de armazéns para depósito de combustíveis sólidos. Porém, o custo dessa utilização é 50% maior comparado aos briquetes (ESTEVEES; ABUD; BARCELLOS, 2015). Por fim, analisando os dados que foram coletados no estudo, percebe-se que os comerciantes não possuem tanto conhecimento sobre a utilização dos combustíveis renováveis e que é necessário realizar uma divulgação maior do produto, para que este possa ser inserido nos estabelecimentos.

O processo de produção dos briquetes e as análises foram feitas na Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Primeiramente foi realizado o tratamento apropriado de secagem, corte, moagem e peneiramento, para uniformizar o tamanho de partícula. Além disso, foi feita a retirada dos "fios" de fibras mais longas. De tal maneira, a fibra e o pó restante foram classificados, selecionando o resíduo retido na peneira de malha 30 Mesh ($0,595 \text{ mm} < G < 2,38 \text{ milímetros}$). Após esse tratamento, foi feita a medição da umidade para iniciar o processo de briquetagem (ESTEVEES; ABUD; BARCELLOS, 2015).

A produção dos briquetes foi realizada no laboratório de adensamento de biomassa da UFAL, utilizando a prensa IKA-WERKE (Figura 10), utilizando-se cerca de 0,5 g do material sob pressão por 3 minutos. Foram produzidos briquetes de pó e de fibras de casca de coco verde. As análises foram realizadas no Laboratório de Energia e Biocombustíveis (LABEN) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e seus resultados estão descritos na Tabela 3, esses valores foram realizados em triplicata, sendo eles expressos pela média e desvio padrão (ESTEVEES; ABUD; BARCELLOS, 2015).

Figura 10 - Prensa IKA-WERKE



Fonte: (IKA)

Tabela 3 - Resultados físico-químicos da biomassa da casca de coco verde in natura e em formato de briquetes.

Análise	Pó de coco in natura	Fibra de coco in natura	Briquete de pó de coco	Briquete de fibra de coco
Massa específica (g/cm ³)	0,05±0,01	0,046±0,01	0,51±0,07	0,50±0,07
Umidade (%)	15,1±0,2	13,0±0,6	12,1±0,5	12,4±0,5
Cinzas (%)	8,23±0,52	8,23±0,52	5,40±0,30	3,06±0,10
Teor de voláteis (%)	79,73±2,75	79,73±2,75	82,75±1,27	86,20±0,90
Teor de carbono fixo (%)	12,02±0,65	12,02±0,65	11,85±1,10	10,70±0,60
Poder calorífico (MJ/kg)	18,79	18,79	18,47	19,47

Fonte: (ESTEVES; ABUD; BARCELLOS, 2015)

De acordo com Pinheiro et al. (2005), densidade energética (DE) (Mcal/m³ ou MJ/m³) é a propriedade que avalia a performance da biomassa como combustível, pois descreve as informações físicas e químicas do produto, tais como constituição química, poder calorífico e cinzas. Além disso, é definida como o produto entre o poder calorífico (PC) e a massa específica (μ). Assim, conforme Equação 1, foi possível calcular a densidade energética (MJ/m³) dos briquetes de pó de coco e fibra de coco.

$$DE = PC * \mu$$

Os resultados obtidos das análises geraram valores de 9.419,70 e 9.735,00 MJ/m³ para os briquetes de pó e fibra, respectivamente. Realizando uma comparação com os resultados obtidos no trabalho de Pinheiro et al. (2005), que encontrou valores de densidade energética na faixa de 1.882,80 a 2.510,40 MJ/m³ para serragens de madeira, tem-se que os briquetes de casca de coco verde possuem vantagem energética quando comparado às serragens de madeira.

Na produção de energia utilizando biomassa, quanto menor o teor de umidade, maior é o calor gerado por unidade de massa, então o teor de umidade é um parâmetro muito importante de controle (VALE et al., 2000). De acordo com Padilla et al. (2016) uma boa faixa de teor de umidade para produzir briquetes é em torno de 12%, onde os resultados obtidos na umidade dos briquetes de casca de coco verde estão dentro dessa faixa.

O valor do teor de cinzas representa a parte inerte da biomassa, que seria basicamente a parte que não sofre combustão (ESTEVES; ABUD; BARCELLOS, 2015). O teor de cinzas de briquetes de bagaço de cana de açúcar, de acordo com o estudo de Fernandez et al. (2017), é de 5,57%, um valor maior comparado aos resultados dos briquetes de coco verde, que indica que a biomassa de coco verde tem uma melhor queima do que a biomassa de bagaço de cana de açúcar.

O teor de voláteis determina a facilidade com que o combustível inicia o processo de combustão, indicando que o briquete de coco verde é altamente espontâneo para queimar (ESTEVES; ABUD; BARCELLOS, 2015). Os resultados encontrados nos briquetes de biomassa de coco verde estão bem próximos aos valores encontrados para briquetes de biomassas lignocelulósicas. No entanto, apresentou valores um pouco mais elevados que o teor de voláteis contido no bagaço de cana (77,5%) e nas serragens de madeira (76,2%) (MARCHESE et al., 2018).

O teor de carbono fixo refere-se à proporção de biomassa que se queima no estado sólido. As percentagens de carbono fixo permitem diferenciar se o combustível sólido é de boa qualidade para utilização em fábricas (SANT'ANNA et al., 2012). Os resultados obtidos de carbono fixo foram de 10,70% e 11,85%, para os briquetes de fibra e pó de

coco verde respectivamente, valores próximos e que geralmente são encontrados para briquetes de resíduos agrícolas, em torno de 13,6% (ESTEVEES; ABUD; BARCELLOS, 2015).

O poder calorífico é definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor quando a unidade de massa do material em análise queima (DIAS et al., 2012). O briquete da fibra do coco verde apresentou um valor maior de poder calorífico, 19,47 MJ/kg, comparado com o briquete de pó de coco verde, 18,47 MJ/kg, porém, são resultados que estão dentro da faixa de diversos resíduos agrícolas, tanto que na pesquisa feita por Protásio et al. (2011) foram encontrados valores de poder calorífico para diferentes resíduos lignocelulósicos, tais como 19,14 MJ/kg para maravalhas de eucalipto; 18,89 MJ/kg para bagaço de cana de açúcar; 16,18 MJ/kg para casca de arroz. Observa-se que, antes do processo de briquetagem, o poder calorífico dos briquetes de pó de coco era maior e os briquetes de fibras de coco era menor, pois o poder calorífico aumenta quando não há fibras adicionadas ao pó em seu estado natural (ESTEVEES; ABUD; BARCELLOS, 2015).

Este trabalho mostra a importância de uma boa avaliação e levantamento da geração do resíduo alvo, mostrando dados das possíveis unidades geradoras e as possíveis unidades consumidoras desse resíduo para a produção dos briquetes, que apresentaram potencialmente interessantes para aplicação energética. Possibilitando assim, maior conhecimento técnico científico para fomentar possíveis investimentos de empresas para a produção do produto final obtido de reaproveitamento.

5.4 Conclusão do Estudo de Caso

Diante das análises físico-químicas e das pesquisas em campo, conclui-se que a utilização da biomassa de casca de coco verde tem um bom aproveitamento de potencial energético. A utilização dos resíduos de coco verde ajudaria na redução dos impactos ambientais e conseqüentemente reduziria a disposição desses resíduos nos aterros sanitários e nas orlas das praias de Maceió. Além disso, seria uma ótima fonte de energia renovável para os estabelecimentos, visto que existe uma carência de combustíveis

renováveis. Por fim, as análises físico-químicas comprovaram o grande potencial energético que a biomassa de coco verde possui na produção dos briquetes, em comparação a alguns resíduos, tais como a lenha e o bagaço de cana de açúcar. Nessas análises, percebe-se que os briquetes produzidos de fibra de coco verde possuem uma pequena vantagem comparados aos briquetes produzidos de pó de coco verde, nos aspectos de teor de voláteis, teor de carbono fixo, teor de cinzas, poder calorífico no valor de 19,47 MJ/kg e densidade energética de 9.735,00 MJ/m³.

6 CONCLUSÃO GERAL

Após conclusão do estudo feito neste presente trabalho, verificou-se que a utilização de biomassa lignocelulósica é uma alternativa para substituir combustíveis não renováveis, sendo esses na produção de briquetes, que podem ser produzidos através de diversos tipos de biomassas, como por exemplos resíduos agroindustriais. A produção de briquetes, além de ser uma alternativa renovável, é, também, sustentável para o meio ambiente, visto que reduz as disposições de resíduos no ambiente e conseqüentemente reduz as emissões de gases causadores do efeito estufa. Além disso, o uso de resíduos agroindustriais de forma geral além de proporcionar o seu reaproveitamento para fins energéticos, em muitos casos também proporcionará a diminuição de encaminhamento desses resíduos para os aterros sanitários proporcionando maior tempo de vida dos aterros projetados. Outro ponto importante é que os briquetes possuem um alto poder calorífico, comparados a lenha e ao bagaço de cana de açúcar, sendo muito favorável, considerando que quanto maior o poder calorífico maior é a energia que possui nele. No estudo de casos analisado, utilizando coco verde como biomassa, foi comprovado que a produção de briquetes de biomassa de resíduos lignocelulósica possui potencial energético para utilização como combustível renovável.

REFERÊNCIAS

ABNT. Abnt nbr 10004. **ABNT**, [s. l.], 2004.

BIOMASSA, BRASIL. **BRASIL BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.brasilbiomassa.com.br/briquete>. Acesso em: 7 jul. 2022.

BIOMAX, Indústria de Máquinas Ltda. **Briquetes**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.biomaxind.com.br/briquetes/>.

CARDOSO, Simone de Aviz *et al.* Utilização de resíduos de cacau para a produção de energia no Estado do Pará. **An. 4. Enc. Energ. Meio Rural 2002**, [s. l.], p. 6, 2002.

CAVALCANTI, Washington Moreira; FERNANDES, Maria Aparecida. Técnicas de uso dos resíduos sólidos de Café como agregado para briquetes / péletes e compósitos de madeira. [s. l.], n. August 2015, 2015. Disponível em: http://www.convibra.com.br/upload/paper/2015/30/2015_30_11239.pdf

COUTO, L. C. *et al.* Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa & Energia**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 71–92, 2004.

CUNHA, Ricardo; PRATES, Cláudia Pimentel T. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. **BNDES Setorial**, [s. l.], n. 21, p. 5–30, 2005.

DANTAS, Arícia Pessoa. O Briquete Como Combustível Alternativo Para a Produção de Energia. **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, [s. l.], p. 1–5, 2012. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-006.pdf>

DE SOUZA, Gustavo Henrique Ramos; PANDOLFI, MarcosAlberto Claudio; COIMBRA, Caroline Cleonice. O MERCADO POTENCIAL DO USO DE BRIQUETES NO BRASIL.

SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 10, 2018.

DIAS, José Manuel Cabral De Sousa *et al.* Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. **Embrapa Agroenergia**, [s. l.], p. 130, 2012. Disponível em: www.cnptia.embrapa.br

EMBRAPA. Briquetagem e Peletização de Resíduos Agrícolas e Florestais Briquetagem e Peletização. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, [s. l.], p. 1–6, 2012. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65331/1/FOLDER-Briquetagem2-2012.pdf>

ENERGIA, Plano Nacional De. Plano Nacional de Energia. **MME–Ministério de Minas e Energia**, [s. l.], 2007. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE_2030_-_Geraçao_Termelétrica_\(Biomassa\).pdf#search=biomassa](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE_2030_-_Geraçao_Termelétrica_(Biomassa).pdf#search=biomassa)

ENGMAQ. **Peletizadora convencional**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.engmaq.com.br/produtos/peletizadoras-convencionais>.

ESTEVES, M R L; ABUD, A K S; BARCELLOS, K M. Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes. **Scientia plena**, [s. l.], v. 11, n. 03, p. 1–8, 2015.

FAO. Losses and food waste in Latin America and the Caribbean. [s. l.], 2016.

FERNANDEZ, B. O. *et al.* Mechanical and energetic characteristics of briquettes produced from different types of biomass. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 29–38, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170005>

FONSECA, Jeniffer Viviany dos Santos; *et al.* APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE

POLPA DE FRUTAS PARA PRODUTORES DO MUNICÍPIO DE POMBAL-PB. **COINTER -PDVAGRO 2018**, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2019/01/APROVEITAMENTO-DE-RESÍDUOS-DE-POLPA-DE-FRUTAS-PARA-PRODUTORES-DO-MUNICÍPIO-DE-POMBAL-PB-2.pdf>

IKA. **IKA-WERKE**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.ika.com/pt/Produtos-Lab-Eq/Sistemas-de-decomposicao-csp-329/Prensa-de-empelotamento-C-21-Compatibilidade-cpcomp-1605300/>.

MACHINIO. **Prensa extrusora de pistão mecânico**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.machinio.com.br/listagens/59294568-briquetadeira-mecanica-de-pistao-para-biomassa-bl-95-em-agrolandia-brasil>.

MARAFON, Anderson Carlos *et al.* Uso da Biomassa para a Geração de Energia. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, [s. l.], v. 211, p. 30, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155329/1/Doc-211.pdf>

MARCHESE, Liziane *et al.* Avaliação do potencial combustível de biomassas residuais por termogravimetria Evaluation of the energy potential of residual biomasses by thermogravimetry. [s. l.], p. 4–11, 2018.

MÜZEL, S. D. *et al.* PODER CALORÍFICO DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* E DA *Hevea brasiliensis*. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 166–172, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.18011/bioeng2014v8n2p166-172>

NASCIMENTO, Raphael Santos do; ALVES, Geziele Mucio. Fontes Alternativas E Renováveis De Energia No Brasil: Métodos E Benefícios Ambientais. **Revista Univap**, [s. l.], v. 22, n. 40, p. 274, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.713>

NASCIMENTO, T. L. do *et al.* AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DA MANGA(Mangifera indica L)PARA A PRODUÇÃO DE BRIQUETES. **Holos**. **37(5)**, 1-15., [s. l.], p. 1–16, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2021.9919>

NONHEBEL, Sanderine. Energy from agricultural residues and consequences for land requirements for food production. **Agricultural Systems**, [s. l.], v. 94, n. 2, p. 586–592, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.02.004>

PADILLA, Elias Ricardo D. *et al.* Production and physical-mechanical characterization of briquettes from coconut fiber and sugarcane straw. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 1334–1346, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20160095>

PERONDI, Daniele *et al.* Caracterização De Diferentes Cascas De Frutas (Laranja, Lima, Limão E Bergamota) Para Fins. **VI SIGER**, [s. l.], n. May, 2019.

PINHEIRO, G. F.; RENDEIRO, G.; PINHO, J. T. Densidade energética de resíduos vegetais. **Biomassa & Energia**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 113–123, 2005. Disponível em: <http://www.renabio.org.br/03-B&E-014-GiorgianaFP-DensEn-2005-p113-123.pdf>

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ. Código Municipal de Limpeza Urbana. **DIÁRIO OFICIAL ELETRÔNICO DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ**, [s. l.], p. 1–18, 2019. Disponível em: <https://maceio.al.gov.br/uploads/documentos/CODIGO-MUNICIPAL-DE-LIMPEZA-URBANA.pdf>

PROTÁSIO, Thiago de Paula *et al.* Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s. l.], v. 31, n. 66, p. 113–122, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.113>

QUIRINO, Waldir Ferreira. Briquetagem de resíduos ligno - celulósicos. [s. l.], p. 1–10,

1980.

QUIRINO, Waldir Ferreira. Utilização energética de resíduos vegetais. **Laboratório de produtos florestais LPF/IBAMA**, [s. l.], 2000.

QUIRINO, Waldir Ferreira; BRITO, José Otávio. CARACTERÍSTICAS E ÍNDICE DE COMBUSTÃO DE BRIQUETES DE CARVÃO VEGETAL. **LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS**, [s. l.], 1991. Disponível em: <https://mundoflorestal.com.br/arquivos/indice.pdf>

QUIRINO, Waldir Ferreira; BRITO, José Otávio. CARACTERÍSTICAS E ÍNDICE DE COMBUSTÃO DE BRIQUETES DE CARVÃO VEGETAL. **LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS**, [s. l.], 1991. Disponível em: <https://mundoflorestal.com.br/arquivos/indice.pdf>

REIS, Bruno De Oliveira *et al.* Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí. **An. 4. Enc. Energ. Meio Rural 2002**, [s. l.], n. 091, 2002.

WILAIPON, Patomsok. The effects of briquetting pressure on banana-peel briquette and the banana waste in northern Thailand. **American Journal of Applied Sciences**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 167–171, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.3844/ajas.2009.167.171>

ROCHA, Angela Machado *et al.* Aproveitamento de Fibra de Coco para Fins Energéticos : Revisão e Perspectivas. **Agrenergd 2015**, [s. l.], p. 10, 2015. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/agrener2015/sites/default/files/tematica8/744.pdf>

RORIZ, Renata Fleury Curado. APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS ALIMENTÍCIOS OBTIDOS DAS CENTRAIS DE ABASTECIMENTO DO ESTADO DE GOIÁS S/A PARA ALIMENTAÇÃO HUMANA. **UFG**, [s. l.], 2012.

SAITER, Osmir. Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de *Coffea canephora* var . Conilon Utilização de resíduos agrícolas

e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de Coffea canephora var . Conilon. **IF UFRRJ**, [s. l.], 2008. Disponível em: http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/2008II/Monografia_Osmir.pdf

SANT'ANNA, M.C.S. *et al.* Caracterização De Briquetes Obtidos Com Resíduos Da Agroindústria. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 289–294, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v14n3p289-294>

SILVA, Erika Cristina Da *et al.* APROVEITAMENTO E POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA DO COCO VERDE. **Revista de Casos e Consultoria - ISSN 2237-7417 | V. 9, N. 3, e933, 2018**, [s. l.], v. 9, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/casoseconsultoria/article/view/22851>

TECNOBRIQ. **Prensa extrusora de pistão hidráulico**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.tecnobriq.com/produtos/pbh-s>.

VALE, Ailton Teixeira do *et al.* Produção de energia do fuste de Eucalyptus grandis hill ex-maiden e Acacia mangium willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 83–88, 2000. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74460110>

VIANA, Leandro Gomes; CRUZ, Patrícia Silva. Reaproveitamento De Resíduos Agroindustriais. **Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], n. IV, p. 1–3, 2016.

VIDAL, André Carvalho Foster; DA HORA, André Barros. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **Papel e Celulose**, [s. l.], p. 261–314, 2011. Disponível em: <http://goo.gl/xxTQd3>

WILAIPON, Patomsok. The effects of briquetting pressure on banana-peel briquette and the banana waste in northern Thailand. **American Journal of Applied Sciences**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 167–171, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.3844/ajas.2009.167.171>