



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO REGIONAL

ESTUDO COMPARATIVO DO PODER CALORÍFICO DOS BRIQUETES DE
BIOMASSA: BAGAÇO DE CANA, MESOCARPO DE COCO E SABUGO DE MILHO,
COM ADIÇÃO DE AGLUTINANTES RESIDUAIS

Anderson Luiz Pereira da Silva

João Pessoa

2023

ANDERSON LUIZ PEREIRA DA SILVA

ESTUDO COMPARATIVO DE PODER CALORÍFICO DOS BRIQUETES DE
BIOMASSA: BAGAÇO DE CANA, MESOCARPO DE COCO E SABUGO DE MILHO,
COM ADIÇÃO DE AGLUTINANTES RESIDUAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
título de graduação em Tecnologia em
Produção Sucroalcooleira pela Universidade
Federal da Paraíba.

Orientadora: Danielle Christine Almeida
Jaguaribe.

João Pessoa
2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586e Silva, Anderson Luiz Pereira da.

Estudo comparativo de poder calorífico dos briquetes de biomassa: bagaço de cana, mesocarpo de coco e sabugo de milho, com adição de aglutinantes residuais / Anderson Luiz Pereira da Silva. - João Pessoa, 2023.

46 f. : il.

Orientação: Danielle Jaguaribe.

TCC (Graduação) - UFPB/CTDR.

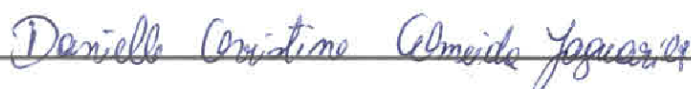
1. Biomassa. 2. Briquetes. 3. Poder calorífico. I. Jaguaribe, Danielle. II. Título.

UFPB/CTDR

CDU 620.95

TCC aprovado em 150,00 como requisito para a conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:



PROF^a. Dr^a. DANIELLE CHRISTINE ALMEIDA JAGUARIBE - (UFPB – Orientador)



PROF^a. Dr^a. ERIKA ADRIANA DE SANTANA - (UFPB – Membro interno)



PROF^a. Dr^a. JOELMA MORAIS FERREIRA - (UFPB – Membro interno)

Este trabalho é dedicado aos meus
sobrinhos Pedro Lucas e Murilo
Emanuel, pois são a minha fonte de
energia para seguir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que até aqui me ajudou e permitiu que eu chegasse até aqui. De maneira também especial, agradeço aos meus pais que me proporcionaram as condições necessárias e que nunca deixaram de sonhar comigo, sem eles nada seria possível. Agradeço a minha irmã, por todo auxílio prestado ao longo desses anos e aos meus sobrinhos por me motivarem.

Agradeço também aos meus amigos Flora Fernandes, Gabriel Aaron, Humberto Carvalho, Isabellí Geovanutti, Leogildo Alves, Mailson Lima, Rauny Aguiar, Thiago Figueiredo e Zarqueu Silva por compartilharem dos bons e maus momentos e por todo apoio que me fora prestado.

Em nome de Zítila Brandão, que me ensinou as primeiras operações matemáticas e de Joana Marta que me despertou o amor pelas ciências exatas, agradeço a todos os meus professores, que tanto contribuíram para minha formação e me possibilitaram acessar o ensino superior.

Por fim, gostaria de registrar meus agradecimentos a minha orientadora Danielle Jaguaribe, que me possibilitou viver a ciência, com todos seus encantos e barreiras. Também agradeço as professoras e professores do Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira, que contribuíram grandemente com minha formação acadêmica.

RESUMO

O presente estudo, é dedicado a produção e comparação do poder calorífico dos briquetes de biomassa produzidos a partir do bagaço de cana, do mesocarpo de coco e do sabugo de milho, adicionando dois aglutinantes residuais de fontes comerciais e industriais. Realizou-se uma revisão bibliográfica abrangente sobre a produção de briquetes de biomassa e o poder calorífico de diferentes materiais, com foco nos resíduos mencionados. Foram coletadas amostras representativas do bagaço de cana, mesocarpo de coco e sabugo de milho e realizadas análises laboratoriais para determinar as características dessas biomassas, incluindo umidade e massa específica. A produção dos briquetes de biomassa foi efetuada seguindo procedimentos padronizados e utilizando técnicas adequadas de compactação. Os ensaios experimentais foram realizados para determinar o poder calorífico dos briquetes de cada biomassa, utilizando um calorímetro de bomba, de modelo C 200 da marca IKA. As análises ocorreram seguindo as normas e diretrizes estabelecidas. Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade dos resíduos agroindustriais: bagaço de cana, mesocarpo de coco e sabugo de milho, para a finalidade energética, bem como o papel de potencializador do poder de queima dos aglutinantes residuais aplicados. O objetivo foi identificar diferenças significativas e avaliar a eficiência energética de cada biomassa. O poder das biomassas analisadas foi satisfatório do ponto de vista de eficiência energética. Os poderes de queima das referidas biomassas, não apresentaram diferenças significativas, muito embora o Bagaço de Cana-de-açúcar demonstrou vantagem sobre as demais biomassas, uma vez que seu poder calorífico médio foi de 0,52% maior que o dos briquetes produzidos a partir do Sabugo de Milho e 3,39% superior aos do Mesocarpo de Coco. O resultado final do estudo permitiu demonstrar a factibilidade da aplicação dos resíduos de biomassa como uma valiosa fonte de energia renovável, fornecendo dados concretos sobre o poder calorífico dos briquetes produzidos a partir desses materiais.

Palavras-chave: Biomassa. Briquetes. Poder Calorífico. Energia Limpa.

ABSTRACT

The current study is dedicated to the production and comparison of the calorific power of biomass briquettes produced from sugarcane bagasse, coconut mesocarp and corn cob, by adding two residual binders, from commercial and industrial sources. A comprehensive literature review was carried out on the production of those biomass briquettes and the calorific power of different materials, focusing on the mentioned residues. Representative samples of sugarcane bagasse, coconut mesocarp and corn cob were collected and then analyzed in laboratory, in order to determine the characteristics of those biomasses, including moisture and specific mass. The production of biomass briquettes was carried out following standardized procedures and using adequate compaction techniques. The experimental tests were conducted to determine the calorific power of the briquettes of each biomass, using a calorimeter pump, model C 200 from the IKA brand. The analyzes took place following established norms and guidelines. The results obtained demonstrated the feasibility of agro-industrial residues: sugarcane bagasse, coconut mesocarp and corn cob, for energy purposes, as well as the role of enhancing the burning power of the applied residual binders. The main goal was to identify significant differences and evaluate the energy efficiency of each biomass. The power of the analyzed biomass was satisfactory from the point of view of energy efficiency. The burning powers of the referred biomass did not present significant differences, although the Sugarcane Bagasse showed an advantage over the other biomasses, since its average calorific power was 0.52% greater than that of the briquettes produced from corn on the cob and 3.39% higher than those from coconut mesocarp. The final result of the study allowed demonstrating the feasibility of applying biomass residues as a valuable source of renewable energy, providing concrete data on the calorific value of the briquettes produced from these materials.

Keywords: *Biomass. Briquettes. Calorific Power. Clean energy.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Amostras de mesocarpo de coco	21
Figura 2 – Moinho de facas.....	21
Figura 3 – Peneirador.....	22
Figura 4 – Matriz da prensa com amostra de bagaço de Cana-de-açúcar	24
Figura 5 – Paquímetro e balança utilizados para determinação da massa específica.....	25
Figura 6 – Cadinhos utilizados para a determinação do teor de umidade	26
Figura 7 – Calorímetro	27
Figura 8 – Analisador Termogravimétrico	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Amostras Produzidas de Briquetes.....	28
Tabela 2 – Alturas dos Briquetes (cm).....	30
Tabela 3 – Massas Específicas.....	32
Tabela 4 – Teor de Umidade.....	34
Tabela 5 - Poder Calorífico Superior.....	40
Tabela 6 – Poder Calorífico Inferior	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 JUSTIFICATIVA.....	14
3 OBJETIVO GERAL.....	16
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.2.1 Resíduos:	16
2.2.2 Resíduos Industriais:	17
2.2.3 Biomassa como combustível.....	17
2.2.4 Briquete	18
2.2.5 Poder Calorífico Superior e Inferior	18
2.2.6 Certificação	19
2.2.7 Mercado de briquetes.....	19
4 METODOLOGIA	21
4.1 COLETA DOS RESÍDUOS.....	21
4.2 MOAGEM DO MATERIAL.....	21
4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS MOÍDOS.....	22
4.4 PRODUÇÃO DOS BRIQUETES	22
4.5 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DOS BRIQUETES	24
4.5.1 Determinação da Massa Específica	24
4.5.2 Determinação do Teor de Umidade	25
4.6 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO.....	26
4.7 DETERMINAÇÃO TERMOGRAVIMÉTRICA	27
5 RESULTADOS.....	28
5.1 PRODUÇÃO DOS BRIQUETES	28
5.2 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS	30
5.2.1 Determinação da Massa Específica	30
5.2.2 Teor de Umidade.....	34
5.3 ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS	35
5.3.1 Bagaço de Cana-de-açúcar.....	35
5.3.2 Mesocarpo de Coco	37
5.3.3 Sabugo de Milho	38
5.5 PODER CALORÍFICO.....	40

6 CONCLUSÕES	42
7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

A energia assume papel de destaque no desenvolvimento econômico e social de um país, não devendo ser dissonante dos princípios que fundamentam os demais eixos de desenvolvimento, garantindo assim, um avanço sustentável. Diante das mudanças climáticas e das diversas preocupações ambientais, cresce no mundo a busca por fontes renováveis de energia, como substitutivo às matrizes fósseis.

Nesse contexto, a biomassa tem se destacado como uma alternativa promissora para a geração de energia, principalmente no Brasil, que é um grande produtor de resíduos agrícolas e florestais. A biomassa pode ser definida como toda matéria orgânica, seja de origem animal, vegetal ou microrganismos, suscetível a ser transformada em energia (VIEIRA, G. E. G. et al., 2014).

De acordo com Guedes *et al.* (2021), a biomassa é considerada uma fonte sustentável de energia devido às suas baixas emissões de CO₂ na atmosfera. Além disso, eles destacam que o uso da biomassa como fonte energética contribui para a geração de empregos, influencia na redução do êxodo rural e se apresenta como uma excelente opção de fonte complementar à atual matriz. Entre as diversas formas de biomassa disponíveis, os resíduos industriais têm um potencial significativo de aproveitamento, devendo-se obedecer aos princípios de prioridade à alimentação humana e animal.

A utilização desses resíduos, tais como o bagaço de cana-de-açúcar, o mesocarpo de coco e o sabugo do milho, representa uma promissora estratégia para o aproveitamento de fontes de energia renovável e limpa. Esses materiais, muitas vezes descartados como resíduos agrícolas ou industriais, possuem um potencial energético significativo que pode ser convertido em combustíveis alternativos.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em seu Balanço Energético Anual de 2022, o bagaço de cana-de-açúcar é a principal fonte de biomassa utilizada na geração de energia elétrica no Brasil, representando cerca de 16% da matriz energética do país. O mesocarpo de coco e o sabugo do milho também apresentam grande potencial como fontes de biomassa, uma vez que são resíduos abundantes na produção agrícola e têm alto poder de queima.

Além desses resíduos sólidos, há também o potencial de aproveitamento de resíduos líquidos na produção de briquetes de biomassa. Em tese, é possível empregar qualquer substância como um agente aglutinante, e a seleção do agente ligante deve ser feita de forma a preservar as propriedades energéticas dos briquetes (não reduzindo seu poder calorífico, nem aumentando seu teor de voláteis e cinzas) e evitar custos que tornem a produção dos briquetes economicamente inviável (FONTES et al., 1984; ONAJI et al., 1993; PEREIRA et al., 2009).

Este estudo tem como principal propósito demonstrar a plausibilidade da aplicação desses resíduos como uma valiosa fonte de energia renovável. Ao investigar a viabilidade dessa abordagem, busca-se não somente comprovar sua eficácia, mas também contribuir ativamente para o desenvolvimento de alternativas energéticas inovadoras, capazes de promover uma redução significativa no impacto ambiental associado à produção e consumo de energia.

2 JUSTIFICATIVA

O mercado de energia renovável tem se expandido consideravelmente nos últimos anos, impulsionado pela necessidade de reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis e mitigar os impactos ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis. Nesse contexto, a biomassa tem se destacado como uma alternativa viável e promissora, pois representa uma fonte de energia abundante, de baixo custo e com menor emissão de gases poluentes.

No entanto, a utilização da biomassa como fonte energética requer a busca por formas eficientes de aproveitamento e processamento. Nesse sentido, os briquetes de biomassa surgem como uma solução viável, pois permitem a compactação e o armazenamento facilitados, além de oferecerem maior densidade energética, em comparação com as matérias-primas *in natura*.

O reaproveitamento de resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana, o mesocarpo de coco e o sabugo de milho, ganha relevância tanto na perspectiva ambiental quanto econômica. Esses resíduos, provenientes de atividades agroindustriais, representam um potencial significativo de biomassa que, se não adequadamente aproveitados, podem causar impactos ambientais negativos, como a contaminação de solos e corpos d'água e ainda a ocupação de terras produtivas.

Ao promover o reaproveitamento desses resíduos por meio da produção de briquetes de biomassa, é possível reduzir a necessidade de extração de recursos naturais, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a redução da emissão de gases de efeito estufa. Além disso, o aproveitamento energético desses resíduos pode gerar benefícios econômicos, como a geração de empregos, o desenvolvimento de cadeias produtivas e a diminuição dos custos de energia.

Diante desse contexto, é fundamental realizar estudos que avaliem e comparem o poder calorífico dos briquetes produzidos a partir do bagaço de cana, mesocarpo de coco e sabugo de milho, resíduos estes abundantes em nossa região. Essa análise colaborará para a compreensão da eficiência energética de cada biomassa e seu potencial como fonte de energia renovável. Além disso, fornecerá

subsídios para a tomada de decisões estratégicas no setor energético, tanto para produtores de biomassa quanto para consumidores de energia.

Portanto, a justificativa deste trabalho está fundamentada na importância da expansão do mercado de energia renovável e no aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais. Os resultados obtidos contribuirão para o avanço do conhecimento científico, o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e a promoção de práticas sustentáveis na geração de energia, alinhados às demandas sociais, econômicas e ambientais da atualidade.

3 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é avaliar e comparar o poder calorífico dos briquetes de biomassa produzidos a partir do bagaço de cana, do mesocarpo de coco e do sabugo de milho, com adição de dois aglutinantes residuais - de fontes comerciais e industriais.

2.1 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica abrangente sobre a produção de briquetes de biomassa e o poder calorífico de diferentes materiais, com ênfase nos estudos relacionados ao bagaço de cana, mesocarpo de coco e sabugo de milho;
- Coletar amostras representativas do bagaço de cana, mesocarpo de coco e sabugo de milho, a fim de realizar análises laboratoriais e determinar as características dessas biomassas, incluindo umidade e massa específica;
- Proceder com a produção dos briquetes de biomassa utilizando as amostras coletadas, seguindo procedimentos padronizados, e utilizando técnicas adequadas de compactação;
- Realizar ensaios experimentais para determinar o poder calorífico dos briquetes de cada supramencionada biomassa, utilizando um calorímetro de bomba, seguindo as normas e diretrizes estabelecidas;
- Analisar e comparar os resultados obtidos, considerando o poder calorífico dos briquetes produzidos a partir do bagaço de cana, mesocarpo de coco e sabugo de milho, com o objetivo de identificar diferenças significativas e avaliar a eficiência energética de cada biomassa;
- Contribuir para o avanço do conhecimento científico no campo da biomassa como fonte energética, fornecendo subsídios para a tomada de decisão e promovendo a utilização de fontes de energia renovável e sustentável.

2.2 Fundamentação Teórica

2.2.1 Resíduos:

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) do Brasil, Lei nº 12.305/2010, resíduos são definidos como "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 técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível" (BRASIL, 2010).

2.2.2 Resíduos Industriais:

Os resíduos industriais são aqueles gerados pelas atividades produtivas das indústrias. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os resíduos industriais são classificados como resíduos Classe I - Perigosos e resíduos Classe II - Não Perigosos.

Os resíduos Classe I - Perigosos são aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, conforme a norma ABNT NBR 10004/2004.

Já os resíduos Classe II - Não Perigosos são aqueles que não se enquadram nas características dos resíduos Classe I, mas podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

2.2.3 Biomassa como combustível

Biomassa é um termo utilizado para se referir à matéria orgânica de origem vegetal, animal ou microbiana que pode ser utilizada como fonte de energia. Segundo o Ministério de Minas e Energia do Brasil, biomassa é definida como "a fração biodegradável dos produtos, resíduos e resíduos agroindustriais, bem como de resíduos provenientes da agropecuária, silvicultura e pesca" (BRASIL, 2006).

A biomassa pode ser utilizada de diferentes formas para a produção de energia, tais como a queima direta para a geração de calor, a produção de biogás através da

decomposição anaeróbica, a produção de biocombustíveis líquidos como o etanol e o biodiesel, e a geração de eletricidade através de processos de conversão térmica, como a combustão ou a gaseificação.

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 do Brasil, a biomassa é uma das principais fontes de energia renovável do país, com destaque para o uso da cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de etanol e para a geração de energia elétrica a partir de resíduos agrícolas e florestais (BRASIL, 2007).

A utilização da biomassa como fonte de energia possui vantagens ambientais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa em comparação aos combustíveis fósseis, além de contribuir para a redução da dependência desses combustíveis e para o desenvolvimento sustentável das regiões produtoras de biomassa, contribuindo assim, para um desenvolvimento econômico e social regional.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) do Brasil, a biomassa é considerada uma das principais fontes de energia renovável para a geração de eletricidade. Através da queima da biomassa, é possível obter calor que é convertido em energia elétrica por meio de turbinas e geradores. Dessa forma, a biomassa pode contribuir para a diversificação da matriz energética e para a redução das emissões de gases de efeito estufa (ANEEL, 2018).

2.2.4 Briquete

De acordo com Dantas, Santos e Souza (2012), o briquete é um biocombustível sólido e compacto obtido através da reciclagem de resíduos orgânicos selecionados. Essa característica permite que sua produção seja realizada em diversos ambientes, sem a necessidade de requisitos físicos específicos.

2.2.5 Poder Calorífico Superior e Inferior

O Poder Calorífico pode ser dividido em Superior e Inferior. O poder calorífico superior (PCS) refere-se à quantidade de calor gerado pela combustão completa de uma unidade de volume ou massa do combustível, levando em consideração as

condições de temperatura e pressão de referência, e também incluindo o calor latente de vaporização de água resultante. Por outro lado, o poder calorífico inferior (PCI) representa o calor gerado nas mesmas condições de referência, porém sem considerar a condensação do vapor de água formado durante a combustão. Em outras palavras, o PCI não leva em conta o calor latente de vaporização da água. (MORAN et al., 2009).

2.2.6 Certificação

No Brasil, a certificação de briquetes de biomassa é regida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A norma NBR 16941:2019 - "Briquetes de biomassa - Determinação do poder calorífico e teor de umidade" estabelece os procedimentos para a determinação do poder calorífico superior e do teor de umidade dos briquetes, fornecendo critérios para avaliar a qualidade e o potencial energético desses produtos.

Além da norma técnica, existem programas e selos de certificação específicos para briquetes de biomassa, que visam assegurar aos consumidores a procedência e a qualidade dos produtos. Um exemplo é o selo "Biomassa Certificada", desenvolvido pelo Instituto Totum, que atesta a origem sustentável da biomassa utilizada na produção dos briquetes, levando em consideração aspectos socioambientais e de rastreabilidade.

A certificação assegura que os briquetes foram produzidos de forma sustentável, levando em consideração aspectos como a origem da biomassa, a eficiência energética e a redução de emissões de gases de efeito estufa (BRAUN et al., 2018).

2.6.7 Mercado de briquetes

No mercado nacional, observa-se um aumento na produção e no consumo de briquetes de biomassa. Segundo dados da Associação Brasileira de Biomassa e Energia Renovável (ABRACE), a produção de briquetes de biomassa no Brasil alcançou cerca de 1,2 milhão de toneladas em 2019, com previsão de crescimento nos próximos anos (ABRACE, 2020). Esse aumento é impulsionado pelo potencial energético da biomassa disponível no país, bem como por políticas públicas e

incentivos fiscais que visam estimular o uso de fontes renováveis de energia (PINHEIRO et al., 2020).

No âmbito internacional, também se observa uma expansão do mercado de briquetes. A demanda por fontes de energia renováveis e sustentáveis tem impulsionado o comércio global de briquetes, principalmente em países da União Europeia, onde políticas de redução de emissões de carbono e incentivos econômicos favorecem o uso de biocombustíveis (CANTELOUBE et al., 2017). Além disso, países como Canadá e Estados Unidos também têm apresentado crescimento na produção e exportação de briquetes de biomassa (LAROCQUE et al., 2018).

4 METODOLOGIA

4.1 Coleta dos Resíduos

Os resíduos agroindustriais selecionados, bagaço de cana-de-açúcar, mesocarpo de coco e sabugo de milho, doados por produtores da região, sem tratamentos prévios, foram armazenados no Laboratório de Processos e Operações Unitárias (LAPOU), no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, onde passaram por tratamento de desumidificação em estufa. A Figura 1 apresenta duas amostras de mesocarpo, à esquerda desidratado e à direita sem tratamentos prévios.

Figura 1 – Amostras de mesocarpo de coco



Fonte: Autoria própria, 2023

4.2 Moagem do Material

O sabugo de milho foi triturado em moinho de martelos previamente, devido a sua alta densidade. Em seguida, cada resíduo foi moído em um moinho de facas laboratorial, de modelo SL-31 da marca Solab Científica, equipamento apresentado na Figura 2. Em seguida, armazenada em embalagens plásticas, no mesmo local.

Figura 2 – Moinho de facas



Fonte: Autoria própria, 2023

4.3 Classificação dos Resíduos Moídos

Os resíduos triturados e moídos foram submetidos a um peneirador da marca Matest com peneira de 30 e 40 Mesh, como o mostrado na Figura 3, para se obter um material com maior uniformidade em suas partículas.

Figura 3 – Peneirador



Fonte: Autoria própria, 2023

4.4 Produção dos Briquetes

A produção dos briquetes foi realizada no Laboratório de Carvão Ativado (LCA), no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba e os seguintes materiais foram utilizados:

- a) Béquer de 500 ml;
- b) Espátula;
- c) Proveta de 10 ml;
- d) Balança Analítica modelo AX200 da marca Shimadzu com capacidade para 200 gramas;
- e) Dessecador;
- f) Prensa hidráulica elétrica da marca Contenco.

Para cada amostra, foi pesado em torno de 50 gramas dos resíduos, previamente preparados, e adicionados em béqueres. Para efeito de comparação, foram produzidos briquetes com e sem adição de aglutinantes. Nas amostras com aglutinantes, estes foram adicionados na proporção de 1:6, 1:8 e 1:10. No presente trabalho, foram analisados dois tipos de aglutinantes residuais, aqui denominados de A e B.

Com as amostras homogeneizadas, alimentou-se a matriz da prensa mostrada na Figura 4, e sob pressão de 6000 kgf, até que se atingisse a temperatura de 120 °C. Ainda sob pressão constante, e com o aquecimento desligado, dava-se início ao resfriamento, até que se alcançasse a temperatura de 40 °C, quando o briquete era retirado e levado ao dessecador.

Após o resfriamento era embalado em filme PVC, para evitar absorção de umidade.

Figura 4 – Matriz da prensa com amostra de bagaço de Cana-de-açúcar



Fonte: Autoria própria, 2023

4.5 Caracterizações Físico-químicas dos Briquetes

4.5.1 Determinação da Massa Específica

Para a determinação da massa específica dos briquetes foi utilizado um paquímetro analógico, plástico 6", da marca Ecoline modelo FCM e precisão de 0,05mm. A massa dos briquetes foi determinada com uma balança da marca Shimadzu modelo AX200. Os equipamentos utilizados foram apresentados na Figura 5. A altura e o diâmetro foram determinados pela média entre quatro diferentes medições. Após determinação do volume do briquete, considerado um cilindro, calculou-se a densidade através da Eq. 1:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Onde:

ρ =densidade do briquete, g/cm³;

m = massa do briquete, g;

v = volume dos briquetes, cm³.

Foi com base neste parâmetro que se escolheu as amostras ótimas para as análises subsequentes

Figura 5 – Paquímetro e balança utilizados para determinação da massa específica



Fonte: Autoria própria, 2023

4.5.2 Determinação do Teor de Umidade

O teor de umidade das amostras dos briquetes de biomassas residuais foi medida utilizando os seguintes materiais:

- a) Estufa com temperatura de $105 \pm 2^\circ \text{C}$ da marca SOLAB modelo SL - 100, do laboratório de Processos e Operações Unitárias do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba;
- b) Balança da marca Want modelo TKS com precisão de 0,01g;
- c) Cadinhos de alumínio sendo três para cada amostra;
- d) Dessecador.

Os cadinhos de alumínio, foram lavados e postos para secar em estufa por aproximadamente uma hora. Após esse tempo, os cadinhos foram postos em dessecador até seu total resfriamento. Posteriormente foram pesadas as massas dos cadinhos e colocados 3 gramas das amostras trituradas em cada cadinho que foi

novamente pesada e anotado a massa inicial. Em seguida foi levada para a estufa onde permaneceu por 24 horas em temperatura de $105 \pm 2^\circ \text{C}$. Passada as 24 horas, os cadinhos foram resfriados em dessecador e fora realizada a pesagem dos cadinhos com as amostras secas, e anotado a massa final, como mostrado na Figura 6.

O teor de umidade foi determinado pela Eq. 2:

$$U\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 \quad (2)$$

Onde:

$U\%$ = teor de umidade;

m_0 = massa inicial da amostra (g);

m_1 = massa final da amostra (g).

Figura 6 – Cadinhos utilizados para a determinação do teor de umidade



Fonte: Autoria própria, 2023

4.6 Determinação do Poder Calorífico

As análises de poder calorífico superior foram realizadas no Laboratório de Materiais e Química Ambiental no Centro de Energias Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba. As amostras foram secas em uma balança

determinadora de umidade modelo MF-50 da marca A&D Company, até atingirem massa constante. Foram pesadas aproximadamente 0,150 g. Essas foram colocadas em um calorímetro da marca IKA e modelo C 200, mostrado na Figura 7. O poder calorífico superior foi determinado pela média entre as medições obtidas pelo calorímetro.

O poder calorífico inferior foi determinado pela seguinte Eq. 3:

$$PCI = PCS - 324 \quad (3)$$

Onde:

324 obtido pela expressão $600(\frac{9H}{100})$;

H = Teor de hidrogênio (em média 6%);

PCI = Poder Calorífico Inferior

PCS = Poder Calorífico Superior

O poder calorífico inferior foi determinado pela média entre as medições obtidas pela equação, utilizando os diferentes valores de PCS obtidos no calorímetro.

Figura 7 – Calorímetro



Fonte: Autoria própria, 2023

4.7 Determinação Termogravimétrica

As análises termogravimétricas foram realizadas no Laboratório de Carvão Ativado, no Centro de Tecnologia da UFPB, em um equipamento modelo Q50 da marca TA Instruments, apresentado na Figura 8. Primeiramente o equipamento foi programado para uma rampa de temperatura de 10° C por minuto até atingir 900° C. No caso das amostras de sabugo de milho, essa rampa foi até 1000° C. Em seguida, fora realizada a tara da balança do equipamento, para que na etapa subsequente fosse alimentada com aproximadamente 0,30 gramas da amostra.

O processo dura durou 88 minutos para as rampas até 900° C e 98 minutos para as rampas até 1000° C.

Figura 8 – Analisador Termogravimétrico



Fonte: Autoria própria, 2023

5 RESULTADOS

5.1 Produção dos Briquetes

Na etapa de briquetagem, foram produzidos 42 briquetes das biomassas residuais analisadas neste estudo. Foram 21 condições únicas feitas em duplicata.

Tabela 1 – Amostras Produzidas de Briquetes

RESÍDUOS	CONDIÇÃO		
	AGLUTINANTE	AMOSTRA	PROPORÇÃO

Bagaço de Cana-de-açúcar	Sem Aglutinante	1	Sem Aglutinante
		2	Sem Aglutinante
	Tipo A	1	10:1
		2	10:1
		1	8:1
		2	8:1
		1	6:1
		2	6:1
	Tipo B	1	10:1
		2	10:1
		1	8:1
		2	8:1
		1	6:1
		2	6:1
Mesocarpo de Coco	Sem Aglutinante	1	Sem Aglutinante
		2	Sem Aglutinante
	Tipo A	1	10:1
		2	10:1
		1	8:1
		2	8:1
		1	6:1
		2	6:1
	Tipo B	1	10:1
		2	10:1
		1	8:1
		2	8:1
		1	6:1
		2	6:1
	Sem Aglutinante	1	Sem Aglutinante
		2	Sem Aglutinante
	Tipo A	1	10:1
		2	10:1

Sabugo de Milho		1	8:1
		2	8:1
		1	6:1
		2	6:1
	Tipo B	1	10:1
		2	10:1
		1	8:1
		2	8:1
		1	6:1
		2	6:1

Fonte: Autoria própria, 2023

5.2 Caracterizações Físico-químicas

5.2.1 Determinação da Massa Específica

Os resultados obtidos a partir das análises de determinação de massa específica foram usadas enquanto critério para a escolha das amostras ótimas para as análises subsequentes. A Tabela 2 mostra os valores referentes às quatro medidas de altura obtidas a partir do uso do paquímetro. As medidas foram feitas em pontos distintos das amostras. O valor médio entre as análises realizadas, foi considerado como a altura para o cálculo do volume e consequentemente, no cálculo da massa específica.

Tabela 2 – Alturas dos Briquetes (cm)

RESÍDUO	AMOSTRA	AGLUTINANTE	1	2	3	4	MÉDIA
	1	S.A	0,81	0,81	0,90	0,81	0,83
	2	S.A	0,94	0,89	0,96	0,90	0,92
	1	A - 10:1	0,94	0,98	0,97	0,95	0,96
	2	A - 10:1	0,90	0,93	0,90	0,90	0,91
	1	A - 8:1	1,00	1,10	1,10	0,99	1,05
	2	A - 8:1	1,02	0,90	0,94	0,96	0,96
	1	A - 6:1	0,93	0,92	0,95	0,94	0,94

Bagaço de Cana-de- açúcar	2	A - 6:1	1,09	1,10	1,10	1,12	1,10
	1	B - 10:1	0,89	0,96	0,85	0,94	0,91
	2	B - 10:1	1,07	1,08	1,10	1,09	1,09
	1	B - 8:1	1,00	1,00	0,90	0,93	0,96
	2	B - 8:1	1,03	1,00	1,08	1,05	1,04
	1	B - 6:1	1,03	1,05	1,04	1,03	1,04
	2	B - 6:1	1,04	1,05	1,03	1,05	1,04
Mesocarpo de Coco	1	S.A	0,88	0,86	0,87	0,89	0,88
	2	S.A	1,26	1,22	1,27	1,25	1,25
	1	A - 10:1	0,97	0,92	0,91	0,97	0,94
	2	A - 10:1	1,18	1,24	1,25	1,22	1,22
	1	A - 8:1	1,29	1,31	1,33	1,36	1,32
	2	A - 8:1	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
	1	A - 6:1	1,30	1,29	1,33	1,32	1,31
	2	A - 6:1	1,00	1,10	0,95	1,00	1,01
	1	B - 10:1	1,15	1,11	1,09	1,11	1,12
	2	B - 10:1	1,05	1,06	1,05	1,05	1,05
	1	B - 8:1	0,94	0,95	0,96	0,94	0,95
	2	B - 8:1	1,21	1,21	1,13	1,18	1,18
	1	B - 6:1	1,01	1,03	1,10	1,09	1,06
	2	B - 6:1	0,88	0,86	0,87	0,89	0,88
Sabugo de Milho	1	S.A	2,50	2,50	2,52	2,52	2,51
	2	S.A	1,49	1,50	1,52	1,50	1,50
	1	A - 10:1	1,66	1,71	1,69	1,68	1,68
	2	A - 10:1	2,05	2,00	2,04	2,07	2,04
	1	A - 8:1	1,66	1,69	1,66	1,65	1,67
	2	A - 8:1	1,46	1,46	1,43	1,44	1,45
	1	A - 6:1	1,81	1,82	1,80	1,80	1,81
	2	A - 6:1	1,71	1,72	1,71	1,71	1,71
	1	B - 10:1	1,51	1,49	1,51	1,51	1,51
	2	B - 10:1	1,40	1,39	1,42	1,43	1,41
	1	B - 8:1	1,48	1,46	1,49	1,49	1,48

	2	B - 8:1	1,23	1,24	1,24	1,23	1,24
	1	B - 6:1	1,46	1,44	1,44	1,46	1,45
	2	B - 6:1	1,40	1,39	1,37	1,39	1,39

Fonte: Autoria própria, 2023

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos da massa específica para cada um dos 42 briquetes produzidos, bem como a massa e volume que serviram de base para os cálculos.

Considerando que massa específica é um importante parâmetro para bom desempenho energético do briquete, uma vez que existe uma relação diretamente proporcional entre o aumento da massa específica e a densidade energética. (Souza. F et al, 2016) esse foi o critério utilizado para a escolha das amostras que seriam submetidas às demais análises.

Tabela 3 – Massas Específicas

RESÍDUO	AMOSTRA	AGLUTINANTE	Massa (g)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa Específica (kg/m ³)
Bagaço de Cana-de- açúcar	1	S.A	14,72	0,83	16,35	900,28
	2	S.A	17,22	0,92	18,11	950,65
	1	A - 10:1	16,83	0,96	18,85	893,00
	2	A - 10:1	18,89	0,91	17,82	1.059,96
	1	A - 8:1	21,59	1,05	20,57	1.049,69
	2	A - 8:1	19,89	0,96	18,75	1.060,71
	1	A - 6:1	19,41	0,94	18,36	1.057,46
	2	A - 6:1	21,84	1,10	21,65	1.008,93
	1	B - 10:1	17,48	0,91	17,87	978,27
	2	B - 10:1	20,77	1,09	21,30	975,16
	1	B - 8:1	18,98	0,96	18,80	1.009,79
	2	B - 8:1	21,68	1,04	20,42	1.061,84
	1	B - 6:1	20,89	1,04	20,37	1.025,37

	2	B - 6:1	21,36	1,04	20,47	1.043,41
Mesocarpo de Coco	1	S.A	18,43	1,03	20,13	915,66
	2	S.A	14,52	0,88	17,18	845,19
	1	A - 10:1	25,98	1,25	24,49	1.060,67
	2	A - 10:1	18,78	0,94	18,51	1.014,65
	1	A - 8:1	23,63	1,22	23,98	985,35
	2	A - 8:1	24,97	1,32	25,97	961,42
	1	A - 6:1	23,76	1,19	23,37	1.016,81
	2	A - 6:1	25,89	1,31	25,72	1.006,59
	1	B - 10:1	19,82	1,01	19,88	997,02
	2	B - 10:1	23,60	1,12	21,89	1.077,91
	1	B - 8:1	22,45	1,05	20,67	1.086,25
	2	B - 8:1	19,69	0,95	18,60	1.058,28
	1	B - 6:1	26,12	1,18	23,19	1.125,96
	2	B - 6:1	23,25	1,06	20,76	1.119,90
Sabugo de Milho	1	S.A	49,91	2,51	49,26	1.013,15
	2	S.A	31,98	1,50	29,50	1.083,91
	1	A - 10:1	38,14	1,68	33,06	1.153,78
	2	A - 10:1	45,53	2,04	40,06	1.136,77
	1	A - 8:1	40,23	1,67	32,69	1.230,69
	2	A - 8:1	33,76	1,45	28,42	1.187,85
	1	A - 6:1	41,28	1,81	35,49	1.163,27
	2	A - 6:1	38,42	1,71	33,60	1.143,57
	1	B - 10:1	33,56	1,51	29,55	1.135,79
	2	B - 10:1	31,81	1,41	27,69	1.148,93
	1	B - 8:1	34,54	1,48	29,06	1.188,71
	2	B - 8:1	27,59	1,24	24,25	1.137,88
	1	B - 6:1	29,74	1,45	28,47	1.044,70
	2	B - 6:1	28,03	1,39	27,24	1.028,87

Fonte: Autoria própria, 2023

Com base nos dados analisados, as amostras na proporção 1:8 foram selecionadas, por apresentarem massas específicas elevadas em briquetes produzidos a partir dos três resíduos agrícolas em questão.

Destaca-se, que todos os briquetes de sabugo de milho apresentaram massa específica superiores a 1000 kg/m³. Níveis comparáveis aos briquetes produzidos a partir de madeira (Souza. F et al, 2016).

5.2.2 Teor de Umidade

Os dados provenientes das determinações do teor de umidade estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Teor de Umidade

RESÍDUO	AGLUTINANTE	Massa Inicial	Massa Final	Umidade %	MÉDIA %
Bagaço de Cana-de-açúcar	S.A	3	2,84	5,33	5,44
	S.A	3	2,83	5,67	
	S.A	3	2,84	5,33	
	A – 8:1	3	2,82	6	6,22
	A - 8:1	3	2,81	6,33	
	A - 8:1	3	2,81	6,33	
	B – 8:1	3	2,88	4	4
	B - 8:1	3	2,88	4	
	B - 8:1	3	2,88	4	
Mesocarpo de Coco	S.A	3	2,82	6	6,32
	S.A	3,01	2,82	6,31	
	S.A	3,01	2,81	6,64	
	A – 8:1	3,01	2,72	9,63	8,66
	A - 8:1	3,01	2,77	7,97	
	A - 8:1	2,15	1,97	8,37	
	B – 8:1	3,02	2,84	5,96	9,1

	B - 8:1	3	2,82	6	
	B - 8:1	3	2,81	6,33	
Sabugo de Milho	S.A	3	2,83	5,67	5,44
	S.A	3	2,84	5,33	
	S.A	3	2,84	5,33	
	A – 8:1	3	2,66	11,33	12,33
	A - 8:1	3	2,63	12,33	
	A - 8:1	3	2,6	13,33	
	B – 8:1	3	2,89	3,67	4,33
	B - 8:1	3	2,87	4,33	
	B - 8:1	3	2,85	5	

Fonte: Autoria própria, 2023

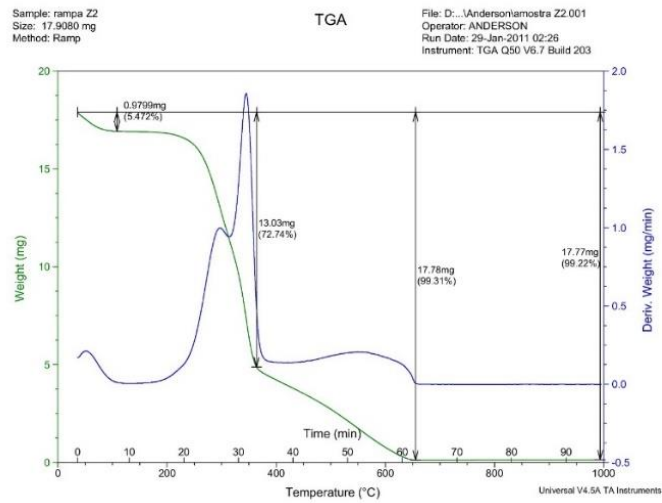
Com relação aos teores de umidade, observa-se que o aglutinante do tipo A, apresenta um comportamento indesejável, uma vez que ele eleva a umidade nos briquetes. Enquanto que o aglutinante do tipo B, por possuir baixa afinidade com a água, reduz em níveis satisfatórios os teores de umidade nos briquetes, quando comparado com as amostras sem adição de aglutinante.

5.3 Análises Termogravimétricas

5.3.1 Bagaço de Cana-de-açúcar

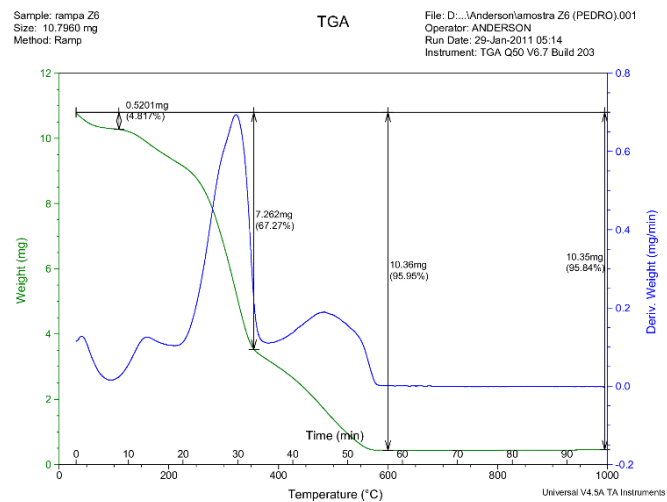
A partir da análise dos gráficos 1, 2 e 3, observou-se que a umidade presente, representada pela curva que se forma até os 100 ± 5 °C, condiz com aquelas feitas através da determinação dos teores de umidade. Observa-se também que a degradação da biomassa ocorre de maneira mais acentuada a partir dos 250 °C até aproximadamente os 380 °C. Antes dos 400 °C a amostra sem aglutinante já degradou cerca de 75%, e com aproximadamente 650 °C estabilizou sua massa, sendo 99,3% de degradação. A amostra com aglutinante tipo A, atingiu a estabilidade de degradação antes dos 600 °C e com uma degradação 95,9%. A amostra com aglutinante do tipo B, mostrou maior resistência à degradação térmica, atingindo sua total degradação somente a partir dos 700 °C.

Gráfico 1 – Bagaço de Cana-de-açúcar Sem Aglutinante



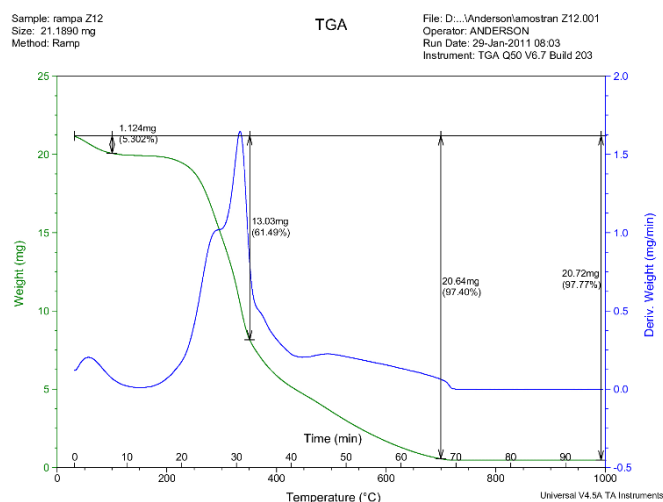
Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 2 – Bagaço de Cana-de-açúcar com aglutinante tipo A



Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 3 – Bagaço de Cana-de-açúcar com aglutinante do tipo B

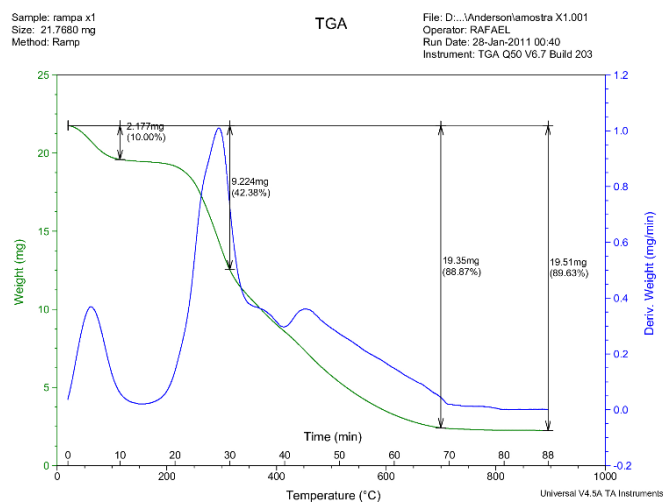


Fonte: Autoria própria, 2023

5.3.2 Mesocarpo de Coco

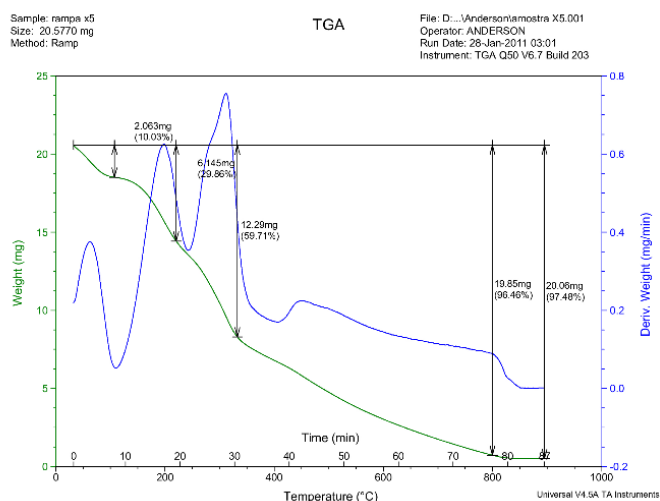
As análises termogravimétricas realizadas nas amostras do resíduo Mesocarpo de Coco, apresentadas nos gráficos 4, 5 e 6, mostram que dentro de uma maior margem de erro, também estão condizentes com as análises de teor de umidade. Para essa afirmação, analisou-se o comportamento da amostra logo após a temperatura de 100 °C. A amostra sem aglutinante, expressa no gráfico 4, foi a que apresentou maior deterioração de sua massa em temperaturas inferiores. Enquanto a amostra com aglutinante do tipo B, representada no gráfico 6, apresentou maior resistência a degradação térmica, mostrando uma curva, ainda em declínio, na temperatura de 900°C.

Gráfico 4 – Mesocarpo de Coco sem aglutinante



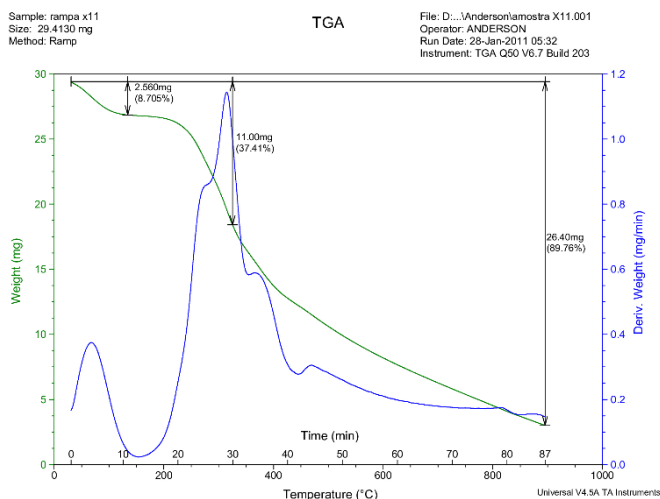
Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 5 – Mesocarpo de Coco com aglutinante tipo A



Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 6 – Mesocarpo de Coco com aglutinante tipo B



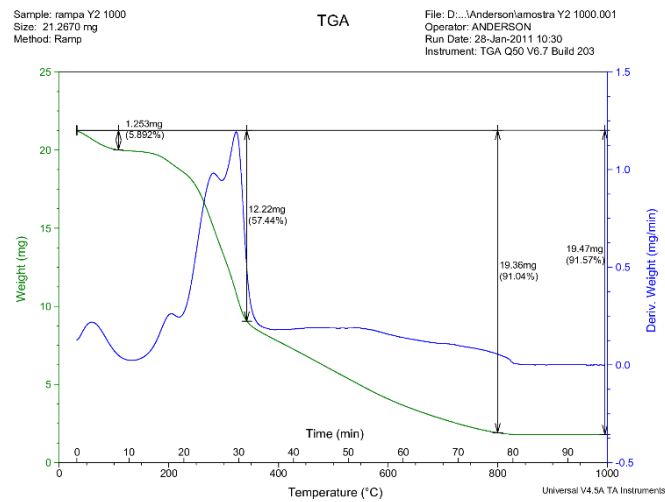
Fonte: Autoria própria, 2023

5.3.3 Sabugo de Milho

Comparado com os demais resíduos analisados, o Sabugo de Milho apresentou maior resistência a degradação térmica. A amostra sem aglutinante do resíduo Sabugo de Milho, representada pelo gráfico 7, atinge sua estabilização de massa, após 800 °C, isso é, aproximadamente 100 °C a mais que as amostras de

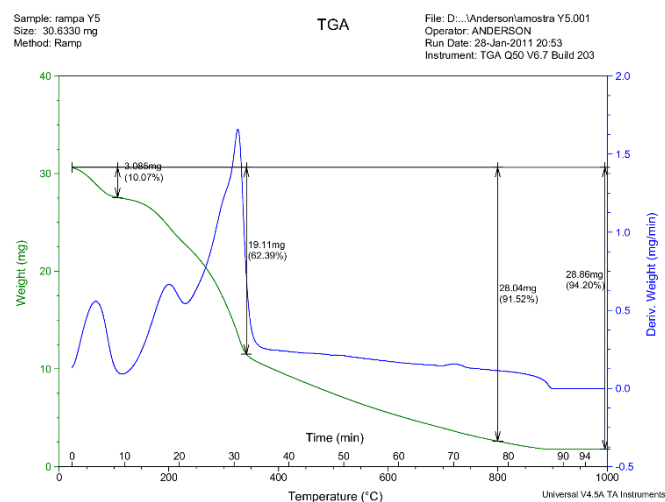
Mesocarpo de Coco, e 200 °C a mais que a amostra equivalente do resíduo Bagaço de Cana-de-açúcar. A amostra de Sabugo de Milho com aglutinante tipo B, assim como as equivalentes dos outros dois resíduos estudados, mostraram maior resistência a degradação térmica.

Gráfico 7 – Sabugo de Milho sem aglutinante



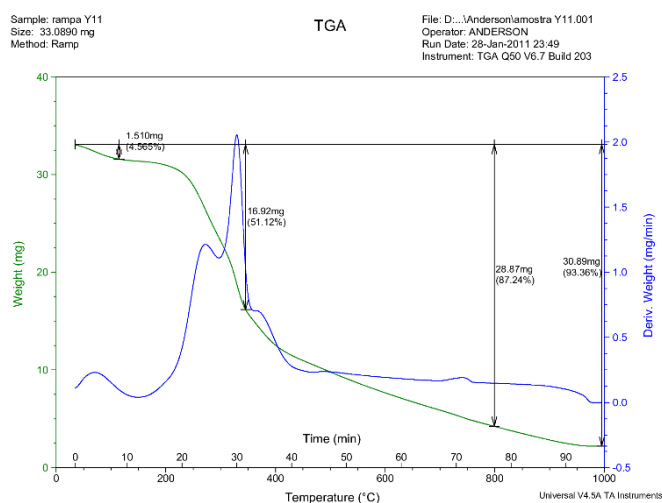
Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 8 – Sabugo de Milho com aglutinante tipo A



Fonte: Autoria própria, 2023

Gráfico 9 – Sabugo de Milho com aglutinante tipo B



Fonte: Autoria própria, 2023

5.5 Poder Calorífico

Tabela 5 - Poder Calorífico Superior

RESÍDUO	AGLUTINANTE	PCS MAIOR (kcal/kg)	PCS MENOR (kcal/kg)	PCS MÉDIO (kcal/kg)	PCS MÉDIO (kJ/kg)
Bagaço de Cana-de- açúcar	S.A	4508,85	4496,42	4502,63	18839
	A – 8:1	4499,05	4490,21	4494,63	18805
	B – 8:1	4978,26	4827,92	4903,09	20514
Mesocarpo de Coco	S.A	4263,63	4229,69	4246,66	17768
	A – 8:1	4596,80	4383,85	4490,32	18787
	B – 8:1	4785,38	4629,07	4707,22	19695
Sabugo de Milho	S.A	4403,45	4325,53	4364,49	18261
	A – 8:1	4619,99	4497,65	4558,80	19074
	B – 8:1	4932,37	4896,99	4914,68	20523

Fonte: Autoria própria, 2023

Tabela 6 – Poder Calorífico Inferior

RESÍDUO	AGLUTINANTE	PCI MAIOR (kcal/kg)	PCI MENOR (kcal/kg)	PCI MÉDIO (kcal/kg)	PCI MÉDIO (kJ/kg)
Bagaço de Cana-de- açúcar	S.A	4184,85	4172,42	4178,63	17483
	A – 8:1	4175,05	4166,21	4170,63	17450
	B – 8:1	4654,26	4503,92	4579,09	19159
Mesocarpo de Coco	S.A	3939,63	3905,69	3922,66	16412
	A – 8:1	4272,8	4059,85	4166,32	17432
	B – 8:1	4461,38	4305,07	4383,22	18339
Sabugo de Milho	S.A	4079,45	4001,53	4040,49	16905
	A – 8:1	4295,99	4173,65	4234,82	17718
	B – 8:1	4608,37	4572,99	4590,68	19207

Fonte: Autoria própria, 2023

De acordo com as Tabelas 5 e 6, verifica-se que os PCSs encontrados foram superiores a 17500 kJ/kg, que equivale a poderes caloríficos como a da madeira do Eucalipto (17.514 kJ/kg), Marmeleiro (18.046 kJ/kg) e Ipê Roxo (17.311 kJ/kg), e de espécies da Caatinga, como madeira do Pereiro (16.995 kJ/kg) e da Jurema Preta (18.753 kJ/kg) (Vasconcelos, 2017).

Comparando os resultados obtidos para as três biomassas sem aglutinante, o briquete de Bagaço de Cana-de-açúcar foi o que obteve o maior poder calorífico superior (18839 kJ/kg), seguido pelo de Sabugo de Milho (18261 kJ/kg) e posteriormente pelo Mesocarpo de Coco (17768 kJ/kg).

Comparando os aglutinantes residuais utilizados, A e B, observa-se que o aglutinante do tipo B eleva em cerca de 8,89% o poder calorífico do briquete de Bagaço de Cana-de-açúcar, em 10,84% o do Mesocarpo de Coco e em 12,39% o do Sabugo de Milho. Em relação ao aglutinante do tipo A, não se vislumbra um aumento tão significativo quanto o do aglutinante do tipo B, inclusive observando-se um decréscimo de 0,18% do PCS no caso do briquete de Bagaço de Cana-de-açúcar. Assim sendo, os melhores briquetes, são os produzidos a partir do aglutinante do tipo B.

6 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo a comparação dos briquetes produzidos a partir das biomassas: Bagaço Cana-de-açúcar, Mesocarpo de Coco e Sabugo de Milho – levando-se em conta fatores como massa específica, aglutinante e PCS. Utilizou-se dois aglutinantes de origem residual, aqui denominados de A e B.

Com relação aos aglutinantes, observou-se que o aglutinante do tipo B demonstrou maior capacidade de potencialização do poder calorífico, apresentando aumentos de 8,89 a 12,39%, quando aplicados às biomassas residuais aqui analisadas. O aglutinante do tipo A, demonstrou menor desempenho, tendo seu melhor resultado, quando aplicado ao Mesocarpo de Coco, onde se observou um aumento no poder calorífico de 5,73% e seu pior desempenho, quando aplicado ao Bagaço de Cana-de-açúcar, onde apresentou um decréscimo no poder calorífico na ordem de 0,18%.

Conclui-se que o poder das biomassas analisadas é satisfatório do ponto de vista energético. Os PCSs das referidas biomassas, não apresentaram diferenças significativas, muito embora o Bagaço de Cana-de-açúcar demonstrou vantagem sobre as demais biomassas, uma vez que seu poder calorífico médio foi de 0,52% maior que o dos briquetes produzidos a partir do Sabugo de Milho e 3,39% superior aos do Mesocarpo de Coco.

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Realizar as análises feitas nesse trabalho, com as demais amostras produzidas em outras proporções de aglutinantes (1:6 e 1:10);
- Realizar as análises dos Teores de Cinzas e dos Voláteis dos Briquetes produzidos;
- Efetuar a análise elementar de cada biomassa a fim de descobrir os elementos químicos presentes e sua representatividade, em relação ao calor gerado;
- Efetuar testes de gaseificação dessas biomassas como possível alternativa a obtenção de eletricidade, e posteriormente do hidrogênio verde;
- Estudar a viabilidade de utilização desses materiais em outras aplicações, tal como, substituição ao MDF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACE - Associação Brasileira de Biomassa e Energia Renovável. Anuário da Biomassa 2020: Panorama do setor de bioenergia no Brasil. Disponível em: <http://abrace.org.br/wp-content/uploads/2021/01/Anuario-da-Biomassa-2020.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Usina Termelétrica a Biomassa. Brasília, DF, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16941: Briquetes de biomassa - Determinação do poder calorífico e teor de umidade. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BORGES, Ane Caroline Pereira et al. ENERGIAS RENOVÁVEIS: UMA CONTEXTUALIZAÇÃO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 10, n. 2, mar. 2017. ISSN 1982-5528. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/239>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília, DF, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Resolução nº 17, de 19 de abril de 2006. Define a Biomassa como fonte de energia renovável. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2006.

DANTAS, Arícia Pessoa; SANTOS, RR dos; SOUZA, SC de. O briquete como combustível alternativo para a produção de energia. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO. 2012.

DANTAS, L. R. S. et al. Avaliação do poder calorífico de briquetes produzidos a partir de resíduos de marcenaria. Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária, v. 11, n. 1, p. 57-62, 2017.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Balanço Energético Nacional 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2023.

FONTES, P.J.P.; QUIRINO, W.F.; PASTORE, J.R.F.; FILGUEIRAS, S.M.S. Aglutinante para briquetagem de carvão vegetal. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, Departamento de Pesquisas, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1984. p.1-5.

GUEDES, Jesyka Macêdo; SANTOS, Anne Gabriella Dias; DOS SANTOS, Helcio Silva. Uso da biomassa como fonte energética para produção de biocombustíveis. Ambiente: Gestão e Desenvolvimento, 2021.

INSTITUTO TOTUM. Biomassa Certificada. Disponível em: <https://institutototum.org.br/biomassa-certificada/>. Acesso em: 15 maio 2023.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. Princípios de termodinâmica para engenharia. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ONAJI, P.B.; SIEMONS, R.V. Production of charcoal briquettes from cotton stalks in Malawi: Methodology for feasibility studies using experiences in Sudan. **Biomass and Bioenergy**, v.4, p.199-211, 1993.

PEREIRA, F.A.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M.; PATRICIO JÚNIOR, W.; BIANCHE, J.J. Propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio. **Floresta e Ambiente**, v.16, n.1, p.2329, 2009.

PINHEIRO, D. A. et al. Panorama da produção de briquetes de biomassa no Brasil. In: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020. Anais... São Paulo: Universidade de São Paulo, 2020. p. 1879-1893.

VASCONCELOS, R. B. Análise Imediata e Avaliação do Poder Calorífico das Espécies: EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*), MARMELEIRO (*Croton sonderianus*) e IPÊ ROXO (*Handroanthus impetiginosus*). Trabalho de Conclusão de Curso do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

VIEIRA, G. E. G.; NUNES, A. P.; TEIXEIRA, L. F.; COLEN, A. G. N. Biomassa: uma visão dos processos de pirólise. **Revista Liberato**, [S. l.], v. 15, n. 24, p. 167–178, 2014. Disponível em: <http://old.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/319>. Acesso em: 1 jun. 2023.