

Determinação do poder calorífico de briquetes feitos com sabugo de milho e cone

Nathalia Maria da Silva¹; Maria Eduarda de Oliveira¹; Rui Costa Lara¹; Mariana Pires Franco¹; Maristela Gava¹

¹Instituto de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Itapeva/SP, Brasil – nathalia.maria-silva@unesp.br

Resumo: Este estudo investiga o potencial de resíduos agrícolas, como sabugo de milho e resíduos florestais, como o cone, na produção de briquetes para geração de energia renovável. Destaca-se a importância desses resíduos como fontes promissoras de biocombustíveis. Os testes realizados mostram uma possível influência positiva do cone na composição dos briquetes, sugerindo um aumento no poder calorífico conforme a proporção de cone aumenta. Os resultados preliminares indicam a viabilidade de otimização do poder calorífico dos briquetes de sabugo de milho por meio da inclusão de cone. Contudo, são necessárias mais pesquisas para compreender plenamente o impacto desses materiais na eficiência energética dos briquetes e sua viabilidade prática como biocombustíveis.

Palavras-chave: Resíduo, Biocombustível, Energia da biomassa.

Determination of the calorific value of briquettes made with corn cob and cone

Abstract: This study investigates the potential of agricultural residues, such as corn cobs and forest residues, such as pine cones, in the production of briquettes for generating renewable energy. The importance of these residues as promising sources of biofuels is highlighted. The tests carried out show a possible positive influence of pine cones on the composition of briquettes, suggesting an increase in calorific value as the proportion of pine cones increases. Preliminary results indicate the feasibility of optimizing the calorific value of corn cob briquettes through the inclusion of pine cones. However, more research is needed to fully understand the impact of these materials on the energy efficiency of briquettes and their practical viability as biofuels.

Keywords: Waste, Biofuel, Biomass energy.

1. INTRODUÇÃO

O mundo está mais acelerado do que nunca e com todo esse processo, busca-se cada vez mais alternativas renováveis e sustentáveis para suprir a demanda energética (Saleem, 2022). Uma das áreas que tem ganhado destaque é a produção de biocombustíveis e biomassa para energia. Nesse contexto, resíduos florestais e agrícolas, como cones (estróbilos) e sabugos de milho, têm se mostrado fontes promissoras (Miao, 2022).

Esses materiais, antes considerados resíduos sem valor significativo, estão ganhando atenção devido às pesquisas que revelam seu potencial em diversas áreas. Testes na produção de briquetes, um tipo compacto de biocombustível, demonstram que tanto os sabugos de milho quanto os cones de *Pinus* possuem propriedades naturais que, com as combinações e técnicas adequadas, resultam em uma fonte alternativa de energia sustentável (Saleem, 2022).

Segundo dados apresentados pela United States Department of Agriculture (USDA, 2024) a produção de milho mundial no ano de 2023 foi de aproximadamente 1.223.806.000 toneladas. Esse alto volume de produção gera grandes quantidades de resíduos que, na maioria dos casos, não são bem aproveitados. Da mesma forma, as florestas produzem uma quantidade significativa de resíduos, como cones, que podem ser utilizados de maneira mais eficiente.

Resíduos agrícolas, como o sabugo de milho, têm se mostrado eficazes em seu aproveitamento, ganhando atenção devido à sua abundância, disponibilidade sazonal e potencial valor energético. Para resíduos de baixa densidade, como certas cascas, uma alternativa viável é submetê-los ao adensamento. A briquetagem de biomassa é um processo de densificação que otimiza suas propriedades de manuseio, aumenta o valor calorífico por volume, reduz os custos com transporte e gera um combustível uniforme, limpo e estável (Mantovani et al., 2023). Cones também podem ser submetidos a processos similares, transformando-os em briquetes ou pellets, que são mais fáceis de transportar e armazenar.

É evidente que a valorização de resíduos agrícolas e florestais pode contribuir significativamente para a produção de energia sustentável, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e promovendo um aproveitamento mais eficiente dos recursos disponíveis.

Neste trabalho, buscou-se conhecer o potencial desses resíduos, como matéria-prima para a geração de energia, por meio da fabricação de briquetes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a confecção dos briquetes, foram usados sabugo de milho e cone. O processo envolveu a moagem do sabugo até obter partículas que passassem na peneira de 35 mesh e retidas na peneira de 60 mesh. O sabugo e o cone foram secos em uma câmara climatizada.

Foram produzidos três tipos de briquetes:

- 100% Sabugo de Milho: Utilizou-se 17g de sabugo moído (devido à alta densidade) para cada briquete;
- 50% Sabugo de Milho e 50% Cone Moído: Cada briquete foi feito com 8,5g de sabugo moído e 8,5g de cone moído;
- 100% Cone Moído: Usou-se 20g de cone moído para cada briquete.

Os briquetes foram compactados em uma briquetadeira hidráulica com pressão de 15 toneladas por um período de cinco minutos. Após a fabricação, foram avaliados o teor de umidade, densidade e expansão volumétrica dos briquetes.

Para testar o poder calorífico dos briquetes, seguiu-se os seguintes passos:

1. Preparação das amostras: selecionou-se amostras completamente secas e representativas de cada tipo de briquete e mediu-se a massa individual com uma balança analítica.
2. Configuração do Equipamento: preencheu-se o calorímetro com água destilada, mediu-se a temperatura inicial e verificou-se a calibração da bomba calorimétrica e do calorímetro.
3. Realização do Teste: A amostra foi colocada no cadinho da bomba calorimétrica, junto com um fio de algodão para auxiliar a queima. A bomba foi

vedada e posicionada no calorímetro. Após a inserção dos dados necessários, iniciou-se a ignição.

4. Registro dos Dados: Registraram-se as informações obtidas durante o teste.

Foram realizadas três medições volumétricas e dimensionais para ver se havia mudanças de expansão que pudessem ocasionar possíveis rachaduras nos briquetes. Foi feita uma pausa de duas semanas entre a fabricação dos briquetes e o poder calorífico, com o intuito de prevenir a presença de umidade residual e, conseqüentemente, melhorar a eficiência da combustão.

Para o teste de poder calorífico, queimou-se uma quantia de cada amostra (escolhida aleatoriamente) separadamente em uma bomba calorimétrica com atmosfera contendo mais de 90% de oxigênio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porcentagem de umidade foi analisada para não ter interferência no momento de computar o poder calorífico, sendo assim para a obtenção do cálculo de teor de umidade foi utilizado uma termobalança específica para teor de umidade que atinge 105°C. No início do processo, o sabugo de milho apresentava 11,80% de umidade e o cone 15,98% de umidade (Tabela 1).

Tabela 1. Teor de umidade da biomassa utilizada

Amostras	Teor de umidade			Média TU (%)
	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Teor de umidade (%)	
1° Cone	0,795	0,67	15,72%	15,98%
2° Cone	0,800	0,67	16,25%	
1° Sabugo	0,800	0,70	12,50%	11,80%
2° Sabugo	0,815	0,72	11,11%	

fonte: autoria própria, 2024

Realizou-se múltiplas medições volumétricas e dimensionais de todos os briquetes para analisar possíveis mudanças relacionadas a expansão que ocasionar fissuras, rachaduras, desagregação e variação do poder calorífico. Foi feito um intervalo de duas semanas entre a fabricação e o teste de poder calorífico superior, com o intuito de prevenir umidade residual e melhorar a eficiência da combustão (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabelas 2. 1º Medições volumétricas e dimensionais dos briquetes

Amostra	Diâmetro (mm)	1º medição			
		Massa (g)	Altura (mm)	Volume (mm ³)	Densidade (g/cm ³)
1c	35,38	22,9503	22,40	22.010,67	1,0426
2c	35,44	23,0489	22,81	22.489,63	1,0248
3c	35,60	22,9571	22,82	22.703,11	1,0111
4c	35,60	23,0778	23,12	23.001,57	1,0033
5c	35,47	22,9475	22,10	21.814,21	1,0519
1sm	35,52	22,9400	22,50	22.284,25	1,0294
2sm	35,40	22,1007	20,97	20.628,83	1,0713
3sm	35,47	22,1016	21,44	21.162,74	1,0443
4sm	35,45	22,1617	21,72	21.427,03	1,0342
5sm	35,38	22,0824	21,26	20.890,49	1,0570
1sm+c	35,51	22,2810	21,64	21.420,43	1,0401
2sm+c	35,57	22,3632	21,93	21.780,91	1,0267
3sm+c	35,47	22,4794	22,08	21.806,76	1,0308
4sm+c	35,38	22,3221	21,56	21.185,27	1,0536
5sm+c	35,45	22,2627	21,46	21.170,54	1,0515

c= cone; sm= sabugo de milho; sm+c= sabugo de milho com cone

fonte: autoria própria, 2024

Tabela 3. 2º Medições volumétricas e dimensionais dos briquetes

Amostra	Diâmetro (mm)	2º medição			
		Massa (g)	Altura (mm)	Volume (mm ³)	Densidade (g/cm ³)
1c	35,70	22,7663	24,10	24.111,44	0,9442
2c	35,87	22,8151	24,33	24.447,92	0,9332
3c	35,73	22,7108	24,57	24.611,68	0,9227
4c	35,85	22,8701	24,63	24.888,21	0,9189
5c	35,71	22,7714	24,10	24.111,44	0,9444
1sm	35,84	22,9241	24,04	24.240,42	0,9456
2sm	35,73	22,0305	22,31	22.345,61	0,9858
3sm	35,73	22,0581	22,60	22.636,07	0,9744
4sm	35,78	22,1123	22,85	22.963,42	0,9629
5sm	35,68	22,044	22,74	22.725,31	0,9700
1sm+c	35,72	22,1651	22,95	22.986,63	0,9642
2sm+c	35,71	22,2287	23,18	23.204,00	0,9579
3sm+c	35,65	22,3484	23,22	23.165,99	0,9647
4sm+c	35,77	22,2247	22,93	23.030,94	0,9649
5sm+c	35,76	22,1803	22,79	22.877,52	0,9695

c= cone; sm= sabugo de milho; sm+c= sabugo de milho com cone

fonte: autoria própria, 2024

Tabela 4. 3º Medições volumétricas e dimensionais dos briquetes

3º medição					
------------	--	--	--	--	--

Amostra	Diâmetro (mm)	Massa (g)	Altura (mm)	Volume (mm ³)	Densidade (g/cm ³)
1c	35,72	22,6240	23,98	24.018,27	0,9419
2c	35,81	22,7461	23,34	23.495,20	0,9681
3c	35,80	22,6455	24,47	24.618,96	0,9198
4c	35,84	22,7692	24,60	24.805,09	0,9179
5c	35,74	22,6408	23,83	23.894,77	0,9475
1sm	35,86	22,8299	23,99	24.217,01	0,9427
2sm	35,69	21,9525	22,32	22.318,09	0,9836
3sm	35,72	21,9716	22,56	22.596,00	0,9723
4sm	35,77	22,0234	22,90	23.000,80	0,9575
5sm	35,64	21,9605	22,73	22.664,41	0,9689
1sm+c	35,72	22,0348	22,76	22.796,32	0,9665
2sm+c	35,66	22,0810	22,96	22.919,45	0,9634
3sm+c	35,70	22,2222	23,25	23.261,04	0,9553
4sm+c	35,69	22,0606	22,85	22.848,04	0,9655
5sm+c	35,71	22,0425	22,74	22.763,54	0,9683

c= cone; sm= sabugo de milho; sm+c= sabugo de milho com cone

fonte: autoria própria, 2024

A aglomeração por prensa sem ligante de biomassa lignocelulósica residual tem sido o centro da pesquisa mostrando que, além de fatores específicos do material, a pressão de compactação, a velocidade de compactação, o teor de umidade e a distribuição do tamanho das partículas determinam o resultado da aglomeração por prensa (Mantovani et al., 2023).

A briquetagem é uma forma muito eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa. Exemplifica-se este fato na consideração de que 1,00m³ de briquetes contém pelo menos 5 vezes mais energia que 1,00m³ de resíduos, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio destes materiais (QUIRINO, 1991).

Foi constatado que o volume das amostras teve uma variação. O sabugo de milho variou 7,89%, o cone 7,86% e o briquete misto 6,72%. As variações não foram prejudiciais aos briquetes pois foram mínimas e não houve rachaduras ou partículas fragmentadas no momento de transportar da estufa para o local de medição das dimensões. Ao analisar a amostra úmida, é possível determinar a quantidade de material e de umidade presente no briquete. Isso é essencial para compreensão de como a umidade afeta a estrutura, as propriedades químicas do briquete e a capacidade de queima que afeta a eficiência como combustível. A análise da amostra seca, por outro lado, é crucial para revelar a variação de umidade.

O poder calorífico foi computado após observar a temperatura durante todo o processo de combustão, observando também as correções termoquímicas e transferência do calor. Posteriormente, foram realizados os cálculos para saber a variação do poder calorífico entre os resíduos utilizados (Tabela 5).

Tabela 5. Poder calorífico superior dos briquetes

Amostra	Cadinho(g)	Peso(g)	Poder Calorífico		
			Poder calorifico kJ/kg		Média kJ/kg
sm+c	13,7675	19,2166	19869	19654	19761,5
sm+c	15,8200	19,2652	19721	19660	19690,5
sm	13,0083	20,1666	18767	18870	18818,5
sm	15,5253	19,3839	18833	18922	18877,5
c	15,0718	19,3537	20500	20535	20517,5
c	14,6764	19,5189	20362	20330	20346,0

c= cone; sm= sabugo de milho; sm+c= sabugo de milho com cone
fonte: autoria própria,2024

Os resultados obtidos nas análises do poder calorífico dos três tipos de briquetes fornecem informações relevantes sobre a eficiência energética dos combustíveis sólidos. As medições realizadas para determinar o poder calorífico superior (PCS) demonstraram variações entre os briquetes de sabugo de milho (s), cone (c) e sabugo mais cone (s+c).

Os briquetes compostos exclusivamente por sabugo de milho apresentaram um poder calorífico médio de 18848 kJ/kg, enquanto os briquetes compostos por 50% de cone e 50% de sabugo de milho demonstraram um valor médio de 19726 kJ/kg e os briquetes compostos exclusivamente por cone apresentaram um poder calorífico médio de 20431,75 kJ/kg.

Os valores de poder calorífico superior (PCS) coletados permitiu comparações entre algumas biomassas que têm valores parecidos com PCS do cone e do sabugo de milho. Foi encontrado PCS de 18261kJ/kg (Silva, 2023) do sabugo de milho em um estudo semelhante ao presente estudo, sendo o valor encontrado referente a um briquete que não apresentava nenhuma interferência externa como aglutinante ou outro resíduo.

Esses resultados obtidos sugerem que a adição de cone à composição dos briquetes de sabugo de milho influencia positivamente seu potencial calorífico,

indicando um aumento no poder calorífico à medida que a proporção de cone aumenta na mistura.

4. CONCLUSÃO

As descobertas apontam para a viabilidade de otimizar o potencial calorífico dos briquetes de sabugo de milho ao adicionar cone em diferentes proporções. No entanto, ressalta-se a necessidade de investigações adicionais para compreender completamente o impacto desses materiais na eficiência energética dos briquetes e sua aplicabilidade prática como biocombustíveis.

5. REFERÊNCIAS

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Commodity view: rice. Washington, D.C.: USDA.

VAZ, J. S. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável. Brasília, DF: **Embrapa Agroenergia**, 2020. 26 p.

MANTOVANI, E.C.; SIMEONE, M.L.F.; DE OLIVEIRA, A.C.; PARRELLA, R.A. da C. Efeito do tamanho de partícula e modo de prensagem de sorgo biomassa para a produção de energia térmica. **Embrapa milho e sorgo**, 2023. 20p.

MIAO, H. Estimation Method of Biomass Energy Reserves in China: A Case Study of Corn Straw. **Journal of physics: conference series**, v. 2152, 2022.

QUIRINO, Waldir Ferreira; BRITO, José Otávio. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991.

SALEEM, M. Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source. **Heliyon**, v. 8, 2022.

SILVA, Anderson Luiz Pereira da. **Estudo comparativo do 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. Tecnologia em Produção Sucroalcooleira. Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional. João Pessoa, 2023.