

Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Agroindustriais

Energy Potential Evaluation of Agroindustrial Waste

Maria Fernanda Felipe Silva,^{a,*} Nicole Santos da Silva,^a João Vitor Felipe Silva,^b José Cláudio Caraschi,^a Carlos Manuel Romero Luna,^a Cristiane Inácio de Campos,^a Ronaldo da Silva Viana^c

^a Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Experimental de Itapeva, CEP 18409-010, Itapeva-SP, Brasil.

^b Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Campus de Guaratinguetá, CEP 12516-410, Guaratinguetá-SP, Brasil.

^c Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Campus de Dracena, CEP 17900-000, Dracena-SP, Brasil.

*E-mail: mff.silva@unesp.br

Recebido em: 2 de Abril de 2021

Aceito em: 27 de Abril de 2021

Publicado online: 26 de Agosto de 2021

Biomass has great potential for energy production, due to its renewability and low cost. The use of biomass as an energy source has intensified in Brazil, especially the use of agro-industrial waste. For a more appropriate use and the valorization of these residues it is necessary the knowledge of the chemical composition, which directly influences the energetic levels of biofuels. The main characteristics are the volatile matter and the High Heating Value (HHV). The aim of this paper was to evaluate the energy potential of agro-industrial waste through volatile matter and its HHV. The residues were soybean hull, peanut hull, sugar cane bagasse, sweet sorghum bagasse and tomato processing residue, which were compared with sawdust from *Pinus sp.* and *Eucalyptus saligna*. The HHV tests and volatile matter were performed according to the ASTM E 711-87 (2004) and E 872-82 (2013) standards, respectively. Results showed that the value of HHV of the residues varies from 18,418 to 24,844 ° MJ ° kg⁻¹, as for the immediate analysis, the found values in the test of volatile materials and the fixed carbon content were close to pine and eucalyptus wood. Among the studied agro-industrial residues, the tomato-processing residue stood out due to its higher HHV. However, all residues indicate technical feasibility of using it for energy production.

Keywords: Vegetal biomass; high heating value; volatile matter

1. Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor agrícola do mundo, no ano de 2018 o país produziu mais de 1 bilhão de tonelada de insumos agrícolas, consequentemente gerando uma grande quantidade de resíduos agroindustriais, passíveis de serem utilizados energeticamente, despertando interesse como alternativa aos combustíveis fósseis para a geração de energia.¹⁻⁵

Dentre os vários tipos de biomassa vegetal, o bagaço de cana-de-açúcar constitui a principal biomassa obtida na forma de resíduo agroindustrial. As regiões Sul e Sudeste do Brasil possuem o maior potencial de geração de energia a partir de biomassa devido à alta concentração de plantios florestais e de cana-de-açúcar.^{6,7}

A utilização de resíduos de cana-de-açúcar para a geração de energia apresenta uma vantajosa possibilidade de exploração, pois o bagaço, as folhas e pontas da cana possuem um alto potencial energético.^{3,8}

Uma outra fonte de resíduo, é o bagaço de sorgo sacarino, um resíduo gerado na produção de etanol, que apresenta uma ótima opção para a produção de energia.⁹

A casca de amendoim, outro resíduo agroindustrial, possui estudos quanto a sua utilização, como na remoção de fenol, produção de painéis aglomerados e filtração de biodiesel, entretanto muito pouco foi analisado quanto ao uso do resíduo para produção de energia.¹⁰⁻¹²

A casca de soja também não possui uma utilização na indústria, sendo comercializada como ração animal. Os estudos realizados quanto ao seu uso são relacionados como substrato para proliferação de fungos, obtenção de oligopeptídeos e etanol.¹³⁻¹⁵

O mesmo ocorre com o resíduo gerado no processamento para a produção de extrato de tomate, onde são realizados estudos sobre a produção de farinha e fortificação de azeites com o licopeno extraído do resíduo, mas nada referente a fins energéticos.^{16,17}

Para uma utilização mais adequada e valorização destes resíduos para geração de energia é necessário o conhecimento de suas propriedades físicas e químicas que influenciam na qualidade da biomassa para a produção de biocombustíveis, propriedades essas que influenciam diretamente nas propriedades energéticas dos biocombustíveis. Neste contexto, para a avaliação dos resíduos para a geração de energia são fundamentais o conhecimento dos teores de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo e a quantificação do poder calorífico.¹⁸

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial energético de diferentes resíduos agroindustriais através dos ensaios de poder calorífico superior e análise imediata.

2. Metodologia

Os resíduos agroindustriais utilizados no presente trabalho foram casca de soja, casca de amendoim, bagaço de cana-de-açúcar de três diferentes variedades, bagaço de sorgo sacarino de três diferentes variedades e bagaço do extrato de tomate, conforme ilustrado na Figura 1. Os resíduos foram comparados com os resíduos do processamento de madeiras de reflorestamento, sendo elas *Pinus* sp. e *Eucalyptus saligna*.

As amostras destinadas às análises químicas foram preparadas conforme a norma T°257°om-92, no qual os materiais foram transformados em partículas no moinho

tipo Willey e classificado em peneiras de 40/60 mesh.¹⁹

Os ensaios realizados foram a análise imediata, contendo os teores de material volátil, cinzas e carbono fixo, e poder calorífico superior, seguindo as normas estadunidenses.²⁰⁻²³

Após a realização dos ensaios, foram realizados testes estatísticos, com nível de significância de 5%, para testar a normalidade dos dados e verificar se há diferenças significativas entre as médias do teste de Tukey. Para a análise estatística foi utilizado o software R versão 3.6.1 de 2019.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos no ensaio de análise imediata e poder calorífico superior para os quatro diferentes materiais, contendo a média, o desvio padrão, entre parênteses, e a análise de variância, sendo que letras



Figura 1. Casca de soja (A), casca de amendoim (B), bagaço de cana-de-açúcar (C), bagaço de sorgo sacarino (D) e bagaço do extrato de tomate (E)

Tabela 1. Resultados do ensaio de análise imediata e poder calorífico superior

Material	Materiais voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono fixo (%)	Poder calorífico superior (MJ*kg ⁻¹)
Casca de soja	74,30 E (0,57)	6,82 A (0,27)	18,88 A (0,32)	18,632 DE (0,103)
Casca de amendoim	84,04 AB (0,50)	2,71 C (0,28)	13,25 CD (0,32)	20,098 B (0,077)
Bagaço de cana-de-açúcar var-7982	84,08 A (1,21)	1,98 D (0,03)	13,94 BCD (1,23)	19,577 C (0,020)
Bagaço de cana-de-açúcar var-7985	84,35 A (0,42)	2,59 C (0,06)	13,06 D (0,41)	19,570 C (0,073)
Bagaço de cana-de-açúcar var-7988	83,31 ABC (1,54)	1,73 D (0,05)	14,96 BC (1,54)	19,577 C (0,088)
Bagaço de sorgo sacarino	78,68 D (0,72)	2,88 C (0,33)	18,44 A (0,40)	18,721 D (0,095)
Bagaço de sorgo sacarino var-508	79,10 D (0,09)	2,67 C (0,15)	18,23 A (0,20)	18,534 DE (0,090)
Bagaço de sorgo sacarino var-509	79,08 D (0,09)	2,67 C (0,05)	18,26 A (0,08)	18,418 E (0,071)
Bagaço do extrato de tomate	82,24 BC (0,76)	3,42 B (0,22)	17,73 A (0,76)	24,844 A (0,015)
Serragem de <i>Pinus</i> sp.	81,63 C (0,37)	0,27 E (0,02)	18,10 A (0,37)	19,689 C (0,111)
Serragem de <i>Eucalyptus saligna</i>	84,20 AB (0,16)	0,23 E (0,06)	15,57 B (0,10)	19,498 C (0,051)

iguais na vertical não apresentam diferença estatística ao nível de 95% de confiança.

Pode-se analisar que os resíduos de bagaço de cana-de-açúcar das três variedades e a casca de amendoim apresentaram o maior teor de materiais voláteis e não apresentaram, estatisticamente, diferenças entre si ao nível de 5%. Quanto ao teor de cinzas, a casca de soja apresentou um valor superior aos demais materiais, enquanto que os resíduos das madeiras apresentaram os menores valores.

Os valores dos teores de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo, determinados para os resíduos agroindustriais estão dentro da faixa encontrada na literatura.^{9,24}

Verifica-se que os resíduos de bagaço de cana-de-açúcar independente da origem, apresentam potencial energético semelhante entre si e aos resíduos de madeira. O mesmo ocorre com o bagaço de sorgo sacarino, mas com PCS inferior aos resíduos de madeira.

O bagaço do extrato de tomate apresentou o mais elevado PCS quando comparado aos demais resíduos, seguido da casca de amendoim.

A casca de soja, mesmo possuindo um teor de carbono fixo superior às outras amostras possui um PCS inferior aos demais, isto ocorre devido ao alto teor de cinzas que acarretam na diminuição no PCS. Por outro lado, as cinzas resultantes da combustão podem ser utilizadas como fertilizantes, uma vez que as cinzas aumentam o pH.²⁵

Ao avaliar as propriedades energéticas da casca de arroz foram encontrados valores inferiores para o poder calorífico superior quando comparado ao presente trabalho, variando entre 13,260 e 13,540 MJ kg⁻¹, comprovando a relação entre o teor de cinzas e o poder calorífico, já que a casca de arroz analisada possuía cerca de 22% de cinzas.²⁶

4. Conclusão

Todos os resíduos apresentaram potencial para geração de energia apesar do alto teor de cinzas presente nos mesmos. Dentre os resíduos, o bagaço do processamento do extrato de tomate possui um poder energético superior aos demais materiais avaliados.

A casca de soja e o bagaço de sorgo sacarino apresentaram o menor potencial energético comparado aos outros resíduos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UNESP – Campus Experimental de Itapeva, e ao CNPq pela infraestrutura e suporte financeiro.

Referências Bibliográficas

1. Sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), PAM 2018: valor da produção agrícola nacional cresce 8,3% e atinge recorde de R\$ 343,5 bilhões. **2019**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25371-pam-2018-valor-da-producao-agricola-nacional-cresce-8-3-e-atinge-recorde-de-r-343-5-bilhoes>>. Acesso em: 28 novembro 2019.
2. Goldemberg, J.; Biomassa e energia. *Química Nova* **2009**, 32, 582. [CrossRef]
3. Goldemberg, J.; Atualidade e perspectivas no uso de biomassa para geração de energia. *Revista Virtual de Química* **2017**, 9, 15. [CrossRef]
4. Vaz Jr., S.; Rumo a uma Química Renovável Brasileira a partir da Biomassa Vegetal. *Revista Virtual de Química* **2017**, 9, 238. [CrossRef]
5. Garcia, D. P.; Caraschi, J. C.; Ventorim, G.; Vieira, F. H. A.; Protasio, T. P.; Comparative energy properties of energy properties of torrefied pellets in relation to pine and elephant grass pellets. *BioResources* **2018**, 13, 2898. [Link]
6. Scheneider, C. F.; Schulz, D. G.; Lima, P. R.; Júnior, A. C. G.; Formas de gestão e aplicação de resíduos da cana-de-açúcar visando redução de impactos ambientais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* **2013**, 7, 8. [Link]
7. Felfli, F. F.; Mesa, P. J. M.; Rocha, J. D.; Filippetto, D.; Luengo, C. A.; Pippo, W. A.; Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. *Biomass and Bioenergy* **2011**, 35, 236. [CrossRef]
8. Santos, L. A.; Souza, J. E. A.; Barboza, A. S. R.; Silva, V. S. G.; Clemente, P. R. A.; Potencial energético da biomassa de cana-de-açúcar em uma usina sucroenergética. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde* **2016**, 14, 1101. [Link]
9. Caraschi, J. C.; Viana, R. S.; Moreira, B. R. A.; Prates, G. A.; Chemical and energetic characteristics of african sweet sorghum as a source of bioenergy. *Engenharia Agrícola* **2019**, 39, 426. [CrossRef]
10. Silva, T.; Barbosa, C.; Gama, B.; Nascimento, G.; Duarte, M.; Agregação de valor à resíduo agroindustrial: remoção de fenol utilizando adsorvente preparado a partir de casca de amendoim. *Matéria* **2018**, 23, 1. [CrossRef]
11. Cravo, J. C. M.; Sartori, D. L.; Fiorelli, J.; Balieiro, J. C. C.; Savastano Junior, H.; Paineal aglomerado de resíduos agroindustriais. *Ciência Florestal* **2015**, 25, 721. [CrossRef]
12. Reis, A. M. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Uberlândia, 2019. [Link]
13. Fonseca, M. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de São Carlos, 2015. [Link]
14. Pereira, C. B.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília, 2016. [Link]
15. Pretto, C.; Miranda, L. C.; Siqueira, P. F.; Tardioli, P. W.; Giordano, R. C.; Giordano, R. L. C.; Costa, B. B.; *Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, Florianópolis, Brasil, 2014. [Link]
16. Silva, J. M.; Oliveira, M. C.; Melo Filho, R. G.; Ferreira, S. M.; Carvalho, V. S.; Mapa de preferência interno de pães elaborados com farinha do bagaço de tomate. *Revista Higiene Alimentar* **2019**, 33, 803. [Link]
17. Inácio, I. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2016. [Link]

18. Brand, M. A.; *Energia de Biomassa Florestal*, 1a ed., Interciência: Rio de Janeiro, 2010.
19. Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. T-264 om - 92: sampling and preparing wood for analysis. Atlanta, 1992.
20. American Society for Testing and Materials. ASTM E 871-82: Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels, Withdrawn, 2013.
21. American Society for Testing and Materials. ASTM D 1102-84: Standard Test Method for Ash in Wood, West Conshohocken, 2013.
22. American Society for Testing and Materials. ASTM E 872-82: Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels, Withdrawn, 2013.
23. American Society for Testing and Materials. ASTM E 711-87: Standard test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter. Philadelphia, 2004.
24. Nakashima, G. T.; Adhmann, I. C. S.; Hansted, A. L. S.; Belini, G. B.; Waldman, W. R.; Yamaji, F. M.; *Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes*. *Revista Virtual de Química* **2017**, 9, 150. [[CrossRef](#)]
25. Bonfim-Silva, E. M.; Carvalho, J. M. G.; Pereira, M. T. J.; Silva, T. J. A.; Cinza vegetal na adubação de plantas de algodoeiro em latossolo vermelho do cerrado. *Enciclopédia Biosfera* **2015**, 11, 523. [[Link](#)]
26. Fernandes, I. J.; Santos, E. C. A.; Oliveira, R.; Reis, J. M.; Modolo, R. C. E.; *6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, São José dos Campos, Brasil, 2015. [[Link](#)]