



Caracterização físico-química da casca de castanha do Brasil visando seu aproveitamento energético

Physicochemical characterization of Brazil nut shell aiming its energy use

Júlia Pissaia Matté¹, Luciane Batistella², Michele Di Domenico³

RESUMO

A busca por fontes de geração de energia renováveis e sustentáveis tem ganhado destaque diante dos desafios ambientais e do esgotamento de recursos fósseis. Com isso, as biomassas, materiais orgânicos, como resíduos agrícolas, florestais e industriais, têm se mostrado alternativas promissoras, pois podem ser convertidas em energia através de diversos processos tecnológicos. Esse tipo de energia renovável possui um potencial energético significativo. Neste trabalho, buscou-se realizar as análises físico-químicas (imediate e elemental), lignocelulósica (extrativos, hemicelulose, celulose e lignina) e bioenergética (potencial calorífico) da casca de castanha do Brasil para analisar seu potencial como combustível. Os resultados encontrados apresentaram coerência e compatibilidade com àqueles de outras biomassas de origem lignocelulósica. Ainda, o valor obtido para o poder calorífico superior foi bastante alto, de $20,45 \pm 0,98 \text{ MJ kg}^{-1}$ (calculado pela análise imediata) e de $18,16 \pm 0,99 \text{ MJ kg}^{-1}$ (calculado pela análise elemental), indicando que a biomassa é viável para geração de energia por meio de processos termoquímicos como a pirólise e a combustão.

PALAVRAS-CHAVE: bioenergia; biomassa; propriedades físico-químicas; castanha do Brasil.

ABSTRACT

The search for renewable and sustainable energy generation sources has gained prominence in the face of environmental challenges and the depletion of fossil resources. Thus, biomass, organic materials such as agricultural, forestry and industrial residues, have proven to be promising alternatives, as they can be converted into energy through various technological processes. This type of renewable energy has significant energy potential. In this work, we sought to carry out physical-chemical (proximate and ultimate), lignocellulosic (extractives, hemicellulose, cellulose, and lignin), and bioenergetic (calorific potential) analyzes of Brazil nut shells to analyze their potential as a fuel. The results found were coherent and compatible with those of other biomasses of lignocellulosic origin. Furthermore, the value obtained for the higher calorific value was quite high, of $20.45 \pm 0.98 \text{ MJ kg}^{-1}$ (calculated by ultimate analysis) and of $18.16 \pm 0.99 \text{ MJ kg}^{-1}$ (calculated by ultimate analysis), indicating that this biomass is viable for energy generation through thermochemical processes such as pyrolysis and combustion.

KEYWORDS: bioenergy; biomass; physicochemical properties; Brazil nuts.

INTRODUÇÃO

A importância da energia para o desenvolvimento tecnológico e a expansão das atividades industriais é inegável. A demanda global crescente por energia e a preocupação ambiental relacionada ao uso de recursos não renováveis têm impulsionado a realização

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: juliamatte@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 2795715289237225.

² Universidade Federal do Sul e do Sudeste do Pará, Marabá, Pará, Brasil. E-mail: luciane.batistella@unifesspa.edu.br. ID Lattes: 1488692841971314.

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: micheled@utfpr.edu.br. ID Lattes: 4911805253362036.



de novas pesquisas, buscando possibilitar uma geração mais sustentável de energia (AGUIAR, 2022; CENCI, 2022). Com isso, a biomassa ganha destaque, posto que possui característica de carbono neutro. A biomassa é obtida a partir do processamento do material orgânico, abundante no Brasil devido ao desenvolvimento do setor agroindustrial (NETTO, 2022). A utilização da biomassa como fonte energética apresenta vantagens significativas em relação a outras fontes, como ampla disponibilidade e heterogeneidade em sua composição química, a qual varia de acordo com a espécie vegetal e cultivo. Biomassas como cascas, caroços, e outros resíduos possuem baixo valor econômico e, muitas vezes, são descartadas de maneira incorreta, resultando em passivos ambientais.

As características energéticas são essenciais para atribuir valor à biomassa e podem ser medidas por suas propriedades físicas, como densidade, umidade e granulometria; análise imediata, a qual permite quantificar o teor de carbono fixo, material volátil e cinzas; análise elementar, que determina a composição dos elementos químicos; e, por fim, a análise lignocelulósica, que estima os valores de extrativos, celulose, hemicelulose e lignina. A partir disso, este trabalho tem como objetivo determinar as propriedades físico-químicas da casca de castanha do Brasil, avaliando suas propriedades combustíveis.

METODOLOGIA

A biomassa estudada foi a casca de castanha do Brasil (CCB). Inicialmente, a CCB foi moída e peneirada. Posteriormente, a análise imediata, que determina os teores de umidade (U), material volátil (MV), carbono fixo (CF) e cinzas (CZ), foi realizada em mufla (Zezimaq, Brasil) seguindo normas padrão (Tabela 1): para U, 1 g de biomassa foi seca em cadinho de cerâmica a 105 °C, por 2 h; para MV, 1 g de biomassa seca foi submetida a 900 °C por 7 min com o cadinho tampado; e para CZ, 1 g de biomassa seca foi queimada em cápsula a 550 °C por 1 h. O teor de CF foi calculado por diferença entre os demais teores.

Tabela 1 – Equações e normas utilizadas para análise imediata

Análise	Equação	Norma
Umidade	$\%U = \frac{(m_f - m_i)}{m_i} \times 100$	CEN/TS 14774-1 (2004)
Material volátil	$\%MV(b.s) = \frac{(m_f - m_i)}{m_i} \times 100$	CEN/TS 15148 (2005)
Cinzas	$\%CZ(b.s) = \frac{m_f}{m_i} \times 100$	CEN/TS 14775 (2004)
Carbono fixo	$\%CF(b.s) = 100 - U - MV - CZ$	-

Nota: m_i é a massa do cadinho antes de cada análise e m_f é a massa final que restou após cada análise.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A análise elementar determina a composição química da biomassa em termos dos teores de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S). Ela foi realizada em um Analisador Elementar EA1108 (Fisons Instruments, UK), disponível na Central Analítica do Departamento de Química da UFSCar. Nessa análise, a amostra é colocada no reator a 1020 °C, e purgada com fluxo contínuo de gás hélio. Em seguida, o gás é enriquecido com oxigênio, ocorrendo a oxidação completa da amostra (combustão instantânea). Os gases gerados são levados a um cromatógrafo, sendo detectados e quantificados. O oxigênio é determinado por diferença a partir da Eq. (1).



$$\%O = 100 - \%C - \%H - \%N - \%S - \%CZ \quad (1)$$

A análise lignocelulósica foi feita para determinar os teores de extrativos, helixelulose, celulose e lignina (MORAIS *et al.*, 2010). Os extrativos foram encontrados pela extração em Soxhlet com 150 mL de C₂H₆O (24 refluxos ou 5 h), para 4 g de biomassa seca. O balão com solvente e extrativos foi então levado ao rotaevaporador e, em seguida, seco em estufa a 105°C por 1 h. A massa de extrativos foi pesada em uma balança analítica. Para a análise de lignina, pesou-se 0,3 g de biomassa sem extrativos em um tubo de ensaio com tampa. Em seguida, adicionou-se 3 mL de H₂SO₄ 72% (v/v) resfriado. O tubo foi levado ao banho maria a 30°C por 1 h. Foram então adicionados 84 mL de água destilada, sendo o frasco autoclavado por 30 min. Após, foi feita a filtração a vácuo, sempre lavando com água abundante. A parte insolúvel de lignina foi pesada e quantificada. A parte solúvel foi analisada num espectrofotômetro UV-vis (EVEN, GTA-97, Global). Para a análise da holocelulose, pesou-se 0,3 g de biomassa sem extrativos em um Erlenmeyer de 250 mL. Foram adicionados 120 mL de água destilada, sendo o frasco agitado e aquecido a 70°C. Em seguida, adicionou-se 2,5 g de NaClO₂ e 1 mL de CH₃COOH, sendo este procedimento repetido por 3 vezes. Após, o frasco foi resfriado em banho de gelo, sendo a solução filtrada, lavada com acetona e água destilada até pH neutro. As amostras filtradas foram secas em estufa a 105°C e pesadas. Para a análise da celulose, foram adicionados 15 mL de solução de NaOH 17,5% em 1 g de holocelulose em um almofariz. A amostra foi triturada por 8 min, e, após isso, foram adicionados 40 mL de água destilada. Em seguida, foi realizada a filtragem, sendo a amostra seca em estufa a 105°C por 1 h. Após quantificar a celulose, foi possível determinar a hemicelulose por diferença.

O poder calorífico superior (PCS) foi calculado a partir das correlações matemáticas apresentadas nas Tabelas 2 e 3, utilizando os resultados da análise imediata e elementar. Já o poder calorífico inferior (PCI) foi calculado a partir da Eq. (2) (SCHMITT, 2021).

Tabela 2 – Equações para cálculo do poder calorífico superior a partir da análise imediata

Referência	Equação
Jiménez; González, (1991)	$PCS = -10,81408 + 0,3133 * (CF + MV)$
Cordero <i>et al.</i> (2001)	$PCS = 0,3543 * CF + 0,1708 * MV$
Parikh; Channiwala; Ghosal (2005)	$PCS = 0,3536 * CF + 0,1559 * MV - 0,0078 * CZ$
Dermirbas (1997)	$PCS = 0,312 * CF + 0,1534 * MV$
Sheng; Azevedo (2005)	$PCS = -3,0368 + 0,2218 * MV + 0,2601 * CF$

Fonte: Schmitt (2021).

Tabela 3 – Equações para cálculo do poder calorífico superior a partir da análise elementar

Referência	Equação
Sheng; Azevedo (2005)	$PCS = -1,3675 + 0,3137 * C + 0,7009 * H + 0,0318 * O$
Demirbas (1997)	$PCS = 0,335 * C + 1,423 * H - 0,154 * O - 0,145 * N$
Jenkins e Ebeling (1985) <i>apud</i> Sheng; Azevedo (2005)	$PCS = -0,763 + 0,301 * C + 0,525 * H + 0,064 * O$
Annamalai; Sweeten; Ramalingam (1987)	$PCS = 0,3516 * C + 1,16225 * H - 0,1109 * O + 0,0628 * N + 0,10465 * S$
Tillman (1978) <i>apud</i> Sheng; Azevedo (2005)	$PCS = 0,4373 * C - 1,6701$

Fonte: Schmitt (2021).

$$PCI [MJ kg^{-1}] = PCS - 0,2183 * H \quad (2)$$



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos a partir das análises imediata, elementar e lignocelulósica, além dos valores calculados para PCS e PCI podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da caracterização da casca de castanha do Brasil

Amostra	Análise imediata*						
	U	MV	CZ	CF			
	9,36	67,57	2,60	29,83			
Análise elementar**							
	%C	%H	%O	%N	%S		
	46,84	5,46	42,93	0,82	1,35		
Análise lignocelulósica**							
	Extrativos	Lignina	Hemicelulose	Celulose			
	2,71	70,13	17,82	12,64			
Casca de castanha do Brasil	PCS**					Média	Desvio Padrão
	19,70	22,11	21,06	19,67	19,71		
	18,60	16,33	19,12	17,96	18,81	18,16	0,99
	PCI**						
Análise							
Imediata					19,26		
Elementar					16,97		

Nota: *Aguiar (2022) e **Autores (2023).

Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

O valor de umidade encontrado para a CCB de 9,36% é um valor alto quando comparado ao obtido para o bagaço de malte (MARCHESE, 2019), por exemplo, de 2,4%. Valores elevados de U implicam em um baixo poder calorífico, diminuindo a qualidade do combustível. Comumente, o teor de U desejável para biomassas é inferior a 10% (MARCHESE, 2019). Apesar do teor de U da CCB ser alto, ainda se encontra dentro do esperado de acordo com a literatura. O teor de material volátil obtido de 67,57% apresenta similaridade ao valor obtido para a cana-de-açúcar de 72,81%, biomassa muito usada na obtenção de energia (HORST, 2013). Altos teores de MV indicam vantagens à pirólise, como maior produção de bio-óleo e o aumento da superfície ativa no *biochar* produzido.

É preferível obter baixos teores de cinzas, a fim de garantir maior eficiência no processo de conversão termoquímica (FERNANDES, 2021). A baixa fração de CZ obtida para a CCB é favorável, de apenas 2,60%. A determinação do teor de carbono fixo permite avaliar o rendimento da biomassa em *biochar*, de forma que quanto maior o teor de CF, maior é o rendimento e o poder calorífico do *biochar* (NETTO, 2022). A fração de CF obtida para a CCB de 29,83% se aproxima àquele obtido para o caroço de açaí de 25,187±0,546% (NETTO, 2022).

Nota-se que os elementos químicos que apresentam maior teor para a biomassa são o C e o O, que representam 89,77% da sua constituição. O valor encontrado para o H é



baixo, mas não distante do esperado pela literatura, como encontrado para o caroço de açaí de 5,11% (NETTO, 2022) e para o resíduo de cervejaria de 6,8% (SCHMITT, 2021). O teor de N também se encontra dentro do esperado, sendo próximo ao do caroço de açaí de 1,16% (NETTO, 2021) e do engaço de uva de 1,08% (FERNANDES, 2021). O valor encontrado para o S também é baixo, indicando vantagens ambientais para a conversão térmica do CCB, reduzindo a geração de gases nocivos como SO_x .

Considerando o balanço de massa total para a composição da amostra, tem-se que a soma de extrativos, lignina, hemicelulose, celulose, acrescido das cinzas, resulta em 105,90%. O valor levemente superior a 100% pode ter ocorrido devido à um erro experimental, já que a análise lignocelulósica é dependente de várias e seguidas etapas de reação. Contudo, estima-se que este acréscimo pode ser devido a análise de lignina total (solúvel e insolúvel), a qual atingiu um valor alto de 70,13%, superior àqueles encontrados na literatura para biomassas deste tipo. Futuramente, pretende-se repetir os testes para identificar melhor onde esta pequena variação pode ter ocorrido. O valor obtido para a hemicelulose, de 17,82%, é similar ao encontrado, por exemplo, para a madeira de paricá de 14% (AGUIAR, 2022). A celulose encontrada para a CCB, de 12,64%, é inferior ao valor teórico (obtido por correlação matemática) encontrado para uma amostra similar, que foi de 31,80% (AGUIAR, 2022).

Os valores obtidos para o PCS da CCB apresentaram um baixo desvio padrão, indicando confiabilidade nas correlações utilizadas neste trabalho. Ainda, o PCS e o PCI apresentam proximidade aos valores obtidos para o resíduo da cervejaria (SCHMITT, 2021), de $18,8 \pm 0,9 \text{ MJ kg}^{-1}$ e $19,8 \pm 0,7 \text{ MJ kg}^{-1}$ para o PCS (através da análise imediata e elementar, respectivamente), e de $17,3 \text{ MJ kg}^{-1}$ e $18,3 \text{ MJ kg}^{-1}$ para o PCI obtido a partir dos mesmos dados. Os resultados também foram similares aos obtidos para resíduos vitivinícolas como (FERNANDES, 2021): engaço de uva com PCS de $18,72 \text{ MJ kg}^{-1}$ e PCI de $17,91 \text{ MJ kg}^{-1}$, bagaço de uva-graspa com PCS de $18,49 \text{ MJ kg}^{-1}$ e PCI de $17,52 \text{ MJ kg}^{-1}$, e bagaço de uva-vinificação com PCS de $17,90 \text{ MJ kg}^{-1}$ e PCI de $16,84 \text{ MJ kg}^{-1}$.

CONCLUSÃO

A partir das caracterizações realizadas, foi possível avaliar o potencial combustível da casca de castanha do Brasil. Conclui-se que os resultados obtidos a partir das análises imediata, elementar e lignocelulósica apresentam coerência com dados da literatura e se assemelham a outras biomassas lignocelulósicas. Ainda, a biomassa estudada apresentou alto poder calorífico, sendo viável para geração de energia por processos termoquímicos de conversão. Dessa forma, é possível contribuir positivamente no processo de geração de energia, reduzindo os impactos causados ao meio ambiente através da geração de energia limpa e renovável.

Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Iniciação Científica da UTFPR e ao Campus da UTFPR de Francisco Beltrão.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.



REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. L. **Caracterização de biomassas amazônicas para uso energético**. 2022. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2022.
- CENCI, G. B. **Avaliação da combustão de um resíduo da colheita do milho e obtenção do poder calorífico por diferentes metodologias**. 2022. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2022.
- CEN/TS 14774-1:2004. European Committee for Standardization. Solid biofuels - Methods for determination of moisture content - Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method (English Version). August, 2004.
- CEN/TS 15148:2005. European Committee for Standardization. Solid biofuels - Method for the determination of the content of volatile matter (English Version). December, 2005.
- CEN/TS 14775:2004. European Committee for Standardization. Solid biofuels - Method for the determination of ash content (English Version). August, 2004.
- FERNANDES, F. S. **Caracterização e estudo cinético da pirólise de subprodutos da indústria vitivinícola visando seu aproveitamento energético**. 2021. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.
- HORST, D. J. **Avaliação da produção energética a partir de ligninas contidas em biomassas**. 2013. Dissertação de Mestrado – Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.
- MARCHESE, L. **Pirólise de bagaço de malte e resíduo de erva-mate: caracterização e estudo cinético por métodos isoconversionais**. 2019. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.
- MORAIS, J. P. S. *et al.* Procedimentos para análise lignocelulósica. **Embrapa**, Campina Grande, ed. 1, p. 54, 2010.
- NETTO, I. P. **Cinética da pirólise do caroço de açaí e efeito da presença de óxido de cálcio na reação**. 2022. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2022.
- SCHMITT, D. K. **Estudo do potencial bioenergético do resíduo de cervejaria considerando suas propriedades físico-químicas, parâmetros bioenergéticos e comportamentos da combustão**. 2021. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.