



CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CASCA DE EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS

**MIKAELY RENALY CARLOS DA SILVA; MÔNICA CARVALHO; SILVIA LAYARA
FLORIANI ANDERSEN**

RESUMO

Diante do elevado consumo de combustíveis derivados do petróleo e seu consequente esgotamento, é urgente a transição para uma matriz energética que dependa menos de combustíveis fósseis e que emita menos poluentes. Uma alternativa é a utilização de resíduos industriais, como resíduos sólidos (biomassa) da indústria de papel e celulose. Os resíduos selecionados para este estudo são a casca suja de eucalipto e a casca limpa de eucalipto. O objetivo deste estudo é caracterizar fisicamente e quimicamente a casca do eucalipto, avaliando seu potencial como recurso energético, por meio de análise imediata de biomassa e a análise de microscopia eletrônica de varredura. Os resultados indicam que o teor de cinzas é elevado: 58,88% para a casca limpa de eucalipto e de 70,18% para a casca suja de eucalipto, um dado relevante pois quanto maior a quantidade de cinzas, menor o poder calorífico. O poder calorífico é $7,55 \text{ MJ.kg}^{-1}$ para a casca limpa de eucalipto e $4,80 \text{ MJ.kg}^{-1}$ para a casca suja de eucalipto, o que sugere baixo potencial para utilização em processos de conversão térmica. A morfologia das amostras, analisada por MEV, demonstra que as cascas de eucalipto analisadas possuem baixo potencial como matéria-prima para conversão energética.

Palavras-chave: Biomassa; papel; celulose; energias renováveis; poder calorífico.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial tem impulsionado o aumento da demanda por alimentos e energia. Segundo o relatório das Nações Unidas World Population Prospects 2022, a população mundial deverá alcançar 8,5 bilhões de pessoas em 2030 e 9,7 bilhões em 2050 (ONU, 2023).

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2023 (Brasil, 2024), o Brasil emitiu 428 Mt CO₂-eq devido a atividades humanas. Embora 47,4% da matriz energética brasileira seja composta por fontes renováveis, como hidrelétricas e biomassa, ainda há uma dependência significativa de 52,6% de fontes não renováveis, como petróleo, gás natural e carvão.

As maiores vantagens da adoção de fontes renováveis é que são provenientes de fontes de energia de baixo carbono, disponíveis na natureza e que se renovam em um curto período; devido à grande biodiversidade do país, o Brasil dispõe de várias fontes renováveis.

A biomassa lignocelulósica permite a obtenção de diversos materiais, como biocombustíveis, e a celulose, hemicelulose e lignina são seus principais componentes. Para acessar esses produtos, especialmente a celulose, a biomassa precisa ser submetidas a pré-

tratamentos. Existem diferentes tipos de pré-tratamentos: físicos (moagem e irradiação), químicos (uso de ácidos, álcalis e solventes orgânicos), biológicos (uso de micro-organismos e enzimas) e físico-químicos (combinando calor e tratamento químico) (SILVA, 2024).

Neste trabalho, foram selecionados dois resíduos sólidos de uma indústria de papel e celulose da região Sudeste do Brasil, que também realiza o processo de reciclagem de papel e embalagens Tetra Pak®. Os resíduos escolhidos foram a casca suja de eucalipto e a casca limpa de eucalipto. O objetivo do estudo é caracterizar fisicamente e quimicamente esses resíduos, avaliando seu potencial como fonte de energia, por meio de processos de conversão térmica de biomassa e análise das propriedades de pirólise.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de casca de eucalipto são provenientes de uma indústria de papel e celulose da região sudeste do Brasil. As amostras são de casca limpa e de casca suja, e foram analisadas no Laboratório de Materiais e Química Ambiental (LabMaq) da Universidade de Federal da Paraíba.

Antes das análises as amostras foram secas em estufa a 105 °C, trituradas e peneiradas até tamanho da partícula inferior a 100 mesh.

A análise de teor de umidade empregou a balança determinadora de umidade MOISTURE ANALYZER, AND MF-50, onde as amostras são submetidas a temperatura de 100° C com peso médio de um grama cada.

Os resíduos sólidos foram caracterizados por meio de análise imediata e microscopia eletrônica de varredura (MEV) para analisar a morfologia. O poder calorífico (PC) foi calculado usando a equação (1), por meio do teor de carbono fixo (CF) e teor de material volátil (MV), conforme Demirbas (1997).

|

$$PC = 0,312 (CF) + 0,1534 (MV) [MJ.kg^{-1}]$$

(1)

Para a análise imediata, o teor de cinzas, o material volátil e o carbono fixo foram determinados utilizando as normas ASTM (ASTM E1755:2007 e ASTM E872). O carbono fixo foi calculado por diferença.

A análise MEV foi realizada para avaliar a morfologia, usando um microscópio marca Oxford, modelo 7353.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra as propriedades físico-químicas da casca limpa de eucalipto.

Tabela 1: Analise imediata e poder calorífico da casca limpa de eucalipto.

Teor	Casca limpa de eucalipto
U (%)	16,310
CF (%)	7,385
MV (%)	34,203
Z (%)	58,880
PC [MJ.kg ⁻¹]	7,5508

A umidade do resíduo da casca limpa de eucalipto foi de 16,31%, um valor considerado adequado, pois não é excessivamente alto, permitindo a queima eficiente da casca para geração de energia. Em relação ao teor de material volátil, observou-se um percentual de 34,203%, inferior ao de outras análises, o que é comum devido ao ambiente de origem do resíduo. Esse valor sugere uma reatividade mais baixa e uma degradação mais lenta do material, caso seja submetido ao processo de combustão.

Quanto ao teor de cinzas, verificou-se um percentual elevado de 58,88%, um dado relevante, pois quanto maior a quantidade de cinzas, menor o poder calorífico. Neste caso, o poder calorífico foi de 7,5508 MJ.kg⁻¹, o que indica uma baixa viabilidade de aproveitamento desse resíduo como fonte de energia, especialmente em processos de conversão térmica.

Para fins de comparação, Martinez-Perez et al. (2012) obteve valores entre 14,44 MJ.kg⁻¹ para a casca de T. indica e 17,05 MJ.kg⁻¹ para a casca de guajava. O estudo de Sobol et al. (2023) mostrou que o poder calorífico de cascas de árvores europeias variou entre 17.239 MJ.kg⁻¹ ± 0.318 MJ.kg⁻¹ a 21.618 MJ.kg⁻¹ ± 0.375 MJ.kg⁻¹. Observa-se que os valores obtidos aqui neste estudo são muito mais baixos, porém não é um impeditivo para seu uso. A biomassa com um baixo PC pode ser utilizada, mas necessita de pré-processamento (por exemplo, secagem, densificação) ou mistura com combustíveis de maior PC para atender aos requisitos de um processo de conversão de energia.

A Tabela 2 mostra as propriedades físico-químicas da casca suja de eucalipto.

Tabela 2: Análise imediata e poder calorífico da casca suja de Eucalipto

Teor	Casca suja de Eucalipto
U (%)	-
CF (%)	1,45
MV (%)	28,365
Z (%)	70,185
PC [MJ.kg ⁻¹]	4,803

Não foi possível analisar a umidade do resíduo casca suja de eucalipto, devido ao meio em que se encontrava inserida a referida casca, o que resultaria em alterações no seu resultado.

Já o teor de material volátil, foi possível observar que ele apresenta um percentual mais baixo do que as outras análises de 28,365%, o que é comum devido o meio em que foi retirado, o que demonstra uma possível reatividade e degradação mais lenta do material, caso submetido ao processo de combustão.

O teor de cinzas foi de 70,185%, um valor elevado, o que implica em um poder calorífico reduzido, que neste caso foi de 4,803 MJ.kg⁻¹. Esse baixo poder calorífico indica uma baixa viabilidade de aproveitamento do resíduo como fonte de energia, especialmente em processos de conversão térmica. Porém como dito anteriormente, não é um impeditivo. Não existe um valor mínimo para utilização de um recurso como fonte energética – por exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar estudado por Delgado et al. (2018) possuía PC = 8,9119 MJ/kg e foi empregado para combustão em caldeiras também por Lima et al. (2022).

O PC “mínimo” para que a biomassa seja adequada para processos de conversão de energia depende do processo utilizado e da tecnologia empregada. Por exemplo, o PC de uma biomassa para combustão direta precisa ser de pelo menos 8-12 MJ/kg em base seca (IRENA, 2015). Porém a biomassa de PC mais baixo pode passar por secagem adicional, ou ser misturada com outros combustíveis. Para processos de gaseificação, é frequentemente necessário um PC mínimo de 10 MJ/kg (IRENA, 2015) em base seca para garantir a geração de syngas suficiente para aplicações subsequentes. A biomassa para pirólise geralmente requer um PC de pelo menos 15 MJ/kg (IRENA, 2015), pois esse processo visa converter a biomassa em bio-óleo, gás de

síntese (syngas) e biocarvão, que dependem do conteúdo energético intrínseco. Já a torrefação pode melhorar o PC da biomassa. Enquanto a biomassa não tratada pode ter um valor calorífico em torno de 10-18 MJ/kg, a biomassa torrefada pode alcançar valores caloríficos de até 20-22 MJ/kg (IRENA, 2015).

A Figura 1 mostra a morfologia da amostra de casca suja de eucalipto, imagem da análise realizada por meio do MEV. Pode-se observar que sua estrutura é irregular, sem a presença de pequenos poros.

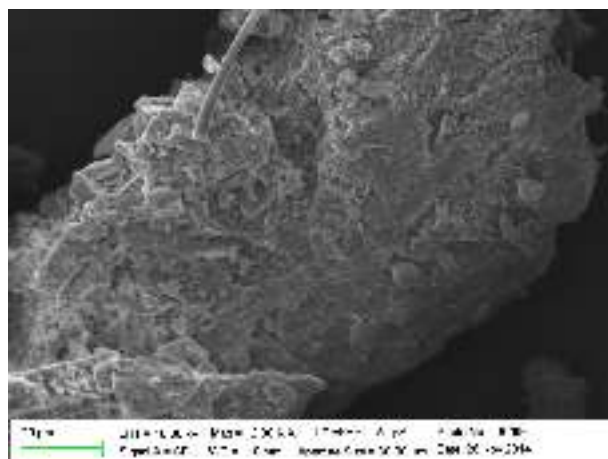


Figura 1: Morfologia da casca suja de eucalipto.

A Figura 2 mostra a morfologia da amostra de casca limpa de eucalipto, onde é possível observar uma morfologia bastante uniforme, com forma sólida e partículas uniformes, embora um pouco irregulares. Além disso, não apresenta pequenos poros.

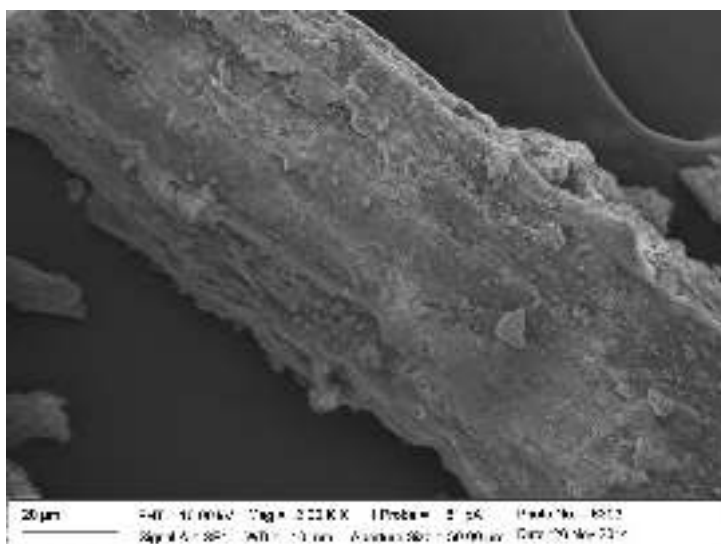


Figura 2: Morfologia da casca limpa de eucalipto.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho os resíduos de casca limpa de eucalipto e casca suja de eucalipto da indústria de papel e celulose foram caracterizados físico-quimicamente para a avaliação da possibilidade de utilização como fontes renováveis de energia.

Foi possível observar que as cascas de eucalipto apresentaram baixos teores de material volátil (34,203% e 28,365% m/m respectivamente) o que é comum devido o meio em que foi retirado, o que demonstra uma possível reatividade e degradação mais lenta do material, caso submetido ao processo de combustão.

Os poderes caloríficos confirmam a baixa viabilidade de utilização desse resíduo como fonte de energia (7,5508 e 4,803 MJ.kg⁻¹), especialmente em processos de conversão térmica.

A morfologia das amostras foi observada por meio de MEV e verificou-se uma uniformidade para a casca suja e uma irregularidade na morfologia da casca limpa. Em suma, os resíduos estudados não possuem potencial para geração de energia e serem utilizados na própria indústria.

REFERÊNCIAS

ASTM E872. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels.

ASTM E1755. Standard Test Method for Ash in Biomass.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. p. 17.

ONU. World Population Prospects 2022: **Summary of results. United Nations: Department of Economic and Social Affairs: Population Division**, 2023. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2025.

Delgado, D.B.M.; Carvalho, M.; Junior, L.M.C.; Chacartegui, R. Analysis of biomass fired boilers in a polygeneration system for a hospital. *Front. Manag. Res.* 2018, 2, 1–13.

IRENA – International Renewable Energy Agency. Biomass for Heat and Power - Technology Brief. 2015. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA-ETSAP_Tech_Brief_E05_Biomass-for-Heat-and-Power.pdf?utm_source=chatgpt.com>. Acesso em: 09 de janeiro de 2025.

LIMA, K. M. et al. Solar Energy and Biomass within Distributed Generation for a Northeast Brazil Hotel. *Energies*, v. 15, n. 23, p. 9170, 2022.

MARTÍNEZ-PÉREZ, R. et al. Poder calorífico y material inorgánico en la corteza de seis árboles frutales. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, v. 18, n. 3, p. 375-384, 2012.

SILVA, P.H.N.; SOUZA, M.V.F.; FURTADO, M.E.S.A.; SILVA, R.A.D. ARAUJO, A.M.M.A.; GONDIM, A.D. Pré-tratamento de biomassa lignocelulósica: Revisão. 2º congresso da rede brasileira de bioquerosene e hidrocarbonetos sustentáveis para aviação. **Editora Científica**, p. 45-47, 2024.

SOBOL, Ł.; SABAT, Do.; DYJAKON, A. Assessment of Bark Properties from Various Tree Species in Terms of Its Hydrophobicity and Energy Suitability. *Energies*, v. 16, n. 18, p. 6586, 2023.