



Avaliação da composição lignocelulósica do resíduo da colheita do milho visando sua decomposição térmica

Evaluation of the lignocellulosic composition of corn harvest residue for its thermal decomposition

Mariana de Bairros Mayer¹, Luciane Batistella² e Michele Di Domenico³

RESUMO

Este artigo analisa a composição química do resíduo da colheita do milho (RM) por meio da análise imediata e lignocelulósica. O RM, colhido na safra 2019/2020, é composto por sabugo, palha, casca e cabelo, que representam 50% da colheita. Os resultados demonstram que a umidade média é de 9,18%, em conformidade com a literatura. O baixo teor de cinzas (1,48%) é interessante do ponto de vista ambiental, enquanto que o alto teor de matéria volátil (78,88%) é consistente com dados de referência. A análise lignocelulósica revelou variações consideráveis nos teores de extrativos, hemicelulose, celulose e lignina em comparação a outros estudos, devido às diferentes partes do milho analisadas e variedades de cultivo. O elevado teor de lignina no RM pode resultar numa pirólise mais lenta, afetando a liberação de gases voláteis, enquanto que os extrativos e a hemicelulose influenciam na produção desses gases. As cinzas desempenham um papel direto na combustão, atuando como catalisadoras, mas também podem formar depósitos e rejeitos. Esses resultados são cruciais para avaliar o potencial do RM em aplicações industriais e energéticas. Assim, o estudo destaca a relevância da biomassa residual de milho como fonte de energia renovável e sua viabilidade em diversas aplicações.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização; Conversão térmica; Resíduo do milho.

ABSTRACT

This article analyzes the chemical composition of corn harvest residue (RM) through proximate and lignocellulosic analysis. The RM, harvested in the 2019/2020 season, is composed of cob, straw, husk, and hair, representing 50% of the harvest. The results demonstrate that the average moisture content is 9.18%, per the literature. The low ash content (1.48%) is environmentally interesting, while the high volatile matter content (78.88%) is consistent with reference data. Lignocellulosic analysis revealed considerable variations in the levels of extractives, hemicellulose, cellulose, and lignin compared to other studies, due to the different parts of corn analyzed and cultivation varieties. The high lignin content in RM can result in slower pyrolysis, affecting the release of volatile gases, while extractives and hemicellulose influence the production of these gases. Ash plays a direct role in combustion, acting as a catalyst, but can also form deposits and waste. These results are crucial for assessing the potential of RM in industrial and energy applications. Thus, the study highlights the relevance of corn crop residue as a source of renewable energy and its feasibility in various applications.

KEYWORDS: Characterization; Thermal conversion; Corn residue.

INTRODUÇÃO

A crise do petróleo, ocasionada na década de 70 pela OPAEP (Organização dos Países Árabes Exportadores de Petróleo) e OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), evidenciou a importância da utilização de fontes renováveis de energia e combustíveis (CARVALHO, 2013). A substituição dos combustíveis fósseis pela biomassa traz inúmeras vantagens, como agregar valor a resíduos e uma destinação dos mesmos,

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: marianamayer@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 9922079477159371.

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.



menor poluição atmosférica e o uso de fontes renováveis de energia. São exemplos de combustíveis renováveis derivados de biomassa: álcool, biogás e biodiesel.

Segundo o *site* da empresa Syngenta (2022), o Brasil consolidou-se como terceiro maior produtor mundial de milho no ano de 2022. Neste mesmo ano, 113,3 milhões de toneladas do grão foram produzidas (CONAB, 2022). A consequência de uma produção tão volumosa é a grande quantidade de resíduos gerados anualmente, sendo eles o caule, palha, casca e sabugo, que representam aproximadamente 50% da colheita.

As plantas desempenham um papel crucial na coleta de energia, uma vez que capturam a energia solar e a armazenam em forma química. Essa energia armazenada é acessível através de diversas vias termoquímicas, sendo as principais incluindo processos de combustão, gaseificação e pirólise.

METODOLOGIA

A biomassa em estudo foi previamente preparada por Idelbrando (2021) e consiste no resíduo da colheita do milho (RM) da safra 2019/2020, composta por uma mistura de sabugo, palha do milho, cabelo do milho e folhas. O RM foi coletado numa propriedade da cidade de Erechim-RS e, após a coleta, foi submetido a uma pré-secagem a 150°C por 24 h em estufa de aquecimento (SOLAB, modelo SL 100/480). Em seguida, o resíduo foi moído e peneirado para um diâmetro de partícula menor de 250 µm. Por fim, foi armazenado em recipientes fechados sob ausência de luz.

A análise da biomassa é um procedimento crucial para a avaliação de suas características físicas e químicas, com o intuito de determinar sua viabilidade em várias aplicações, tais como pirólise e combustão. As análises imediata e lignocelulósica neste trabalho foram conduzidas no Campus da UTFPR Francisco Beltrão. Assegurou-se a coleta de dados em duplicata para garantir a precisão dos resultados.

Os teores de extrativos (EX), lignina (LG), holocelulose (HL), alfacelulose (AC) e hemicelulose (HM) foram determinados experimentalmente de acordo com os procedimentos para análise lignocelulósica fornecidos pela EMBRAPA, seguindo as normas TAPPI T 222 om-22 (TAPPI, 2006) para lignina, T 204 cm-97 (TAPPI, 2007) para extrativos, T 203 cm-99 (TAPPI, 2009) para alfacelulose (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010). Resumidamente, as análises foram feitas da seguinte forma: para a determinação do teor de EX, colocou-se um cartucho contendo 4,0 g de amostra em extrator do tipo Soxhlet (Nova ética, modelo 211-6), na presença de álcool etílico como solvente. Após a análise de EX, a amostra restante no cartucho foi utilizada na análise dos teores de LG e HL. Para a determinação do teor de LG, a amostra foi submersa em ácido sulfúrico 72% e refrigerada; posteriormente foi feita a diluição e em seguida evaporação da mesma, e, por fim, a amostra foi filtrada. Na determinação do teor de holocelulose foi utilizada uma manta de aquecimento, e feita uma diluição com o clorito de sódio e ácido acético glacial sob agitação constante durante a reação; posteriormente, foi feita a filtração e secagem da amostra. Para a análise de alfacelulose, foi utilizada a holocelulose obtida, sendo esta submersa numa solução de NaOH 17,5% e triturada por 8 min. Na sequência, a amostra foi filtrada, seca e pesada para sua determinação. A determinação da hemicelulose foi feita pela diferença entre 100% e a soma dos teores de extrativos, alfacelulose, lignina e cinzas.

A análise imediata tem como objetivo a quantificação dos teores de umidade (U), cinzas (CZ), voláteis (MV) e carbono fixo (CF). Primeiramente, o teor de umidade foi



determinado de acordo com a norma CEN/TS 14774-1 (CEN/TS, 2004), empregando uma estufa do modelo LUCA-80/150 da marca Lucadema. Nesse procedimento, as amostras foram submetidas a uma secagem de 2 h a 105°C até atingirem massa constante. Posteriormente, o teor de cinzas foi obtido com a utilização de um forno mufla modelo 2000F.2MRP da Zezimaq, seguindo as diretrizes da norma CEN/TS 14775 (CEN/TS, 2004), com as amostras permanecendo no forno a 550°C por 4 h. A terceira análise consistiu na determinação dos materiais voláteis, de acordo com a norma CEN/TS 15148 (CEN/TS, 2005), em que as amostras foram submetidas a uma temperatura de 900°C em um forno mufla por 7 min. O cálculo do carbono fixo foi realizado por meio da diferença entre a soma dos teores de umidade, cinzas e materiais voláteis e 100%.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para análise imediata estão apresentados na Tabela 1. O teor de umidade foi compatível com o encontrado por Mendes *et al.* (2014), que obtiveram um teor de 8,1% para o resíduo da palha do milho. Já o teor de cinzas obtido neste estudo é consideravelmente baixo em comparação ao calculado no estudo anterior, que foi de 5%, o que pode ser explicado por variações na amostra analisada (após algum tempo preparo) e também por manipulações do operador do experimento. O teor de material volátil foi condizente ao determinado por Idelbrando (2021), que obteve um teor de 78,93%, conferindo confiabilidade na execução do procedimento da análise.

Tabela 1 – Análise imediata experimental do resíduo da colheita do milho

Componente	Teor (%)
Umidade	9,18 ± 0,39
Cinzas	1,48 ± 1,01
Material volátil	78,88 ± 0,02
Carbono Fixo	10,46

Fonte: Autoria própria (2023).

A análise lignocelulósica desempenha um papel crucial na compreensão da composição química das biomassas e suas implicações nas propriedades de decomposição térmica, incluindo pirólise e combustão. Neste estudo, examinou-se a composição lignocelulósica do resíduo do milho, comparando-se esta com valores encontrados na literatura (Tabela 2).

Em relação aos EX, o presente estudo registrou um teor de 5,74%, que é coerente com os resultados de Laborel-Préneron, Magniont e Aubert (2018), que analisaram o resíduo da espiga do milho. Já comparando com o teor de EX encontrado por Kiaei, Samariha e Kasmani (2010), que também analisaram um resíduo de milho, o valor obtido nesse estudo foi maior provavelmente pela diferença entre as quantidades de cada elemento (folhas, caule e espigas) presentes em cada uma das amostras. É notável que o teor de EX presente no RM é consideravelmente mais baixo do que os relatados por Mendes *et al.* (2014) (de 13,9%) para o resíduo de palha do milho. Essa diferença pode estar relacionada às diferentes partes da planta e à variedade de milho estudada e a diferença do solvente utilizado.

**Tabela 2 – Análise lignocelulósica experimental do resíduo da colheita do milho e comparação com outras biomassas residuais**

Referência	Biomassa	CZ (%)	EX (%)	LG (%)	HL (%)	AC (%)	HM (%)
Este estudo	Resíduo do milho	1,48 ± 1,01	5,74 ± 0,47	36,28 ± 1,70	58,35 ± 0,69	37,43 ± 8,15	19,07
Laborel-Préneron, Magniont e Aubert, 2018	Resíduo de espiga do milho	1,4	6,9	6,6	82,1	41,4	40,7
Kiaei, Samariha e Kasmani, 2010	Resíduo do milho	4,79	2,40 ± 1	21,33 ± 0,57	-	47,33 ± 0,58	-
Mendes <i>et al.</i> , 2014	Resíduo de palha do milho	5	13,9	7,9	73,1	35,3	37,5
Kiaei, Samariha e Kasmani, 2010	Bagaço da cana-de-açúcar	1,78	3,41 ± 0,52	20,50 ± 0,5	-	55,46 ± 0,51	-

Fonte: Autoria própria (2023).

Os valores obtidos do teor de LG e HM foram bem diferentes entre os diferentes estudos, o que também pode ser explicado pelas diferentes partes do milho analisadas e a diferença do cultivo dos milhos que originaram os resíduos.

No presente estudo, a AC foi medida em 37,43%, indicando uma proporção significativa na composição da biomassa. Esse resultado é coerente com os resultados obtidos por Laborel-Préneron, Magniont e Aubert (2018), Kiaei, Samariha e Kasmani (2010) e Mendes *et al.* (2011), sendo o último (35,3%) o mais condizente com os dados deste estudo. Essa consistência na composição da AC entre os estudos sugere que essa fração da biomassa de milho é relativamente estável em diferentes partes da planta.

Biomassas com teores mais elevados de LG, como o resíduo do milho em comparação com o bagaço da cana-de-açúcar, tendem a ter uma pirólise mais tardia. Isso ocorre porque a lignina é mais resistente à decomposição térmica em comparação com outros componentes da biomassa, como celulose e hemicelulose. Portanto, a pirólise do resíduo do milho pode ocorrer a temperaturas mais elevadas e de forma mais gradual, resultando em uma liberação mais lenta de gases voláteis e alcatrões. Altos teores de EX e HM podem implicar na liberação de uma quantidade maior de gases voláteis durante a pirólise. Isso ocorre porque esses componentes são menos estáveis termicamente e se decompõem em temperaturas mais baixas, contribuindo para a formação de gases como CO₂, CO, CH₄ e outros hidrocarbonetos (YANG *et al.*, 2007). Portanto, o resíduo do milho pode ter uma taxa de produção de gases voláteis mais alta durante a pirólise em comparação ao bagaço da cana-de-açúcar.

A presença de cinzas na biomassa afeta diretamente processos térmicos como a pirólise e a combustão. Biomassas com teores mais elevados de cinzas podem atuar como catalisadoras durante a reação, aumentando a velocidade. No entanto, isso também pode resultar em problemas, como a formação de depósitos nos equipamentos (especialmente nas altas temperaturas de combustão), afetando a eficiência do processo.



CONCLUSÃO

Este estudo analisou a composição química do resíduo do milho por meio das análises imediata e lignocelulósica. Os resultados mostraram conformidade com referências da literatura em relação aos teores de umidade, material volátil e carbono fixo. A comparação com estudos anteriores revelou variações nos teores de extrativos, lignina, hemicelulose e outros componentes, atribuídas à diversidade das partes do milho analisadas e das variedades de cultivo. Além disso, constatou-se que o teor de lignina mais elevado presente no resíduo do milho tende a resultar em uma pirólise mais tardia, enquanto teores de extrativos e hemicelulose podem influenciar na produção de gases voláteis durante a pirólise. As cinzas presentes na biomassa foram destacadas por seu impacto na combustão, atuando como catalisadoras, mas também podendo gerar desafios operacionais. Essas informações são cruciais para avaliar a aplicabilidade do resíduo do milho em diversas áreas industriais e energéticas, considerando suas características específicas e contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de aproveitamento de biomassa.

Agradecimentos

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

Conflito de interesse

Não há conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, L. P. M. (2013). A Crise do Petróleo e suas perspectivas. **A Defesa Nacional**, 101(822). Recuperado de <http://www.ebrevistas.eb.mil.br/ADN/article/view/6300>

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos: safra 2021/2022 12º levantamento**. [s.i.]: Ministério da economia, 2022 (Relatório técnico).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN/TS 14774-1**: Methods for determination of moisture content - Oven dry method. {S.I.}: Cen/TS, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN/TS 14775**: Methods for determination of moisture content - Oven dry method. {S.I.}: Cen/TS, 2004.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN/TS 15148**: Methods for determination of moisture content - Oven dry method. {S.I.}: Cen/TS, 2005.

IDELBRANDO, Andressa Brandalize. **Pirólise não-isotérmica de resíduo da colheita do milho por termogravimetria: caracterização e estudo cinético utilizando modelos isoconversionais integrais**. 2021. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.

KIAEI, Majid; SAMARIHA, Ahmad; KASMANI, Jafar Emrahimpour. Characterization of Biometry and Chemical and Morphological Properties of Fibers from Bagasse, Corn, Sunflower, Rice, and Rapeseed Residues in Iran. **Journal Of Forest Science**. [S.I.], p. 75-82. ago. 2010.

LABOREL-PRÉNERON, Aurélie; MAGNIONT, Camille; AUBERT, Jean-Emmanuel. Characterization of Barley Straw, Hemp Shiv and Corn Cob as Resources for Bioaggregate Based Building Materials. **Waste And Biomass Valorization**. [S.I.], p. 1095-1112. mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9895-z>. Acesso em: 15 set. 2023.

MENDES, Carlos Augusto de Carvalho *et al.* Chemical, physical, mechanical, thermal and morphological characterization of corn husk residue. **Cellulose Chemistry And Technology**. Rio de Janeiro, p. 727-735. maio 2015. Disponível em: [https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT9-10\(2015\)/p.727-735.pdf](https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT9-10(2015)/p.727-735.pdf). Acesso em: 20 set. 2023.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. DE F.; MARCONCINI, J. M. **Procedimentos para Análise Lignocelulósica**. [s.d.].

SYNGENTA BRASIL (Brasil) (org.). **Milho: maior cultura agrícola produzida no mundo**. 2022. Disponível em: <https://portal.syngenta.com.br/noticias/milho-maior-cultura-agricola-produzida-no-mundo/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE PULP, PAPER. **T 203CM-99**: Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp. {S.I.}, 2009.

TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE PULP, PAPER. **T 204 CM-97**: Solvent extractives of wood and pulp. {S.I.}, 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE PULP, PAPER. **T 222 OM-02**: Acid-insoluble lignin in wood and pulp. {S.I.}, 2006.

YANG, H., YAN, R., CHEN, H., LEE, D. H., ZHENG, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, 86 (12–13), 1781–1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>