

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM VISTAS ENERGÉTICAS¹

Carlos Guilherme Lopes Grotto
Adão Marcos Ferreira Costa
Carla Jovania Gomes Colares
Douglas Henrique Pereira²

RESUMO

A utilização de biomassas residuais de plantas utilizadas na agroindústria tem sido crescente. O bagaço de cana-de-açúcar se destaca nesse cenário, já que a cultura da planta é muito difundida, gerando grandes quantidades desse resíduo. Neste contexto é necessário entender as características dessa biomassa para poder otimizar a geração de energia. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar o potencial energético da biomassa de cana-de-açúcar por meio da análise dos principais parâmetros que influenciam esse processo. Foram realizadas análises de poder calorífico superior, análises químicas imediatas, infravermelho e análise elementar, com o intuito de avaliar o potencial energético desse material. Observou-se bom nível de poder calorífico superior, 4309,50 kcal kg⁻¹, além de teores baixos de cinzas, 0,95%, fatores que podem explicar a grande utilização da biomassa de bagaço de cana-de-açúcar para a geração de energia direta, principalmente na indústria.

Palavras-chave: Resíduos. Cana-de-açúcar. Fonte de energia.

CHARACTERIZATION OF SUGAR CANE BAGASSE BIOMASS WITH ENERGY VIEWS

ABSTRACT

The use of residual biomass from plants used in agribusiness has been increasing. The sugarcane bagasse stands out in this scenario, since the plant's culture is very widespread, generating large amounts of this residue. In this context, it is necessary to understand the characteristics of this biomass in order to optimize the energy generation. With the above, the present study had as objective characterize and evaluate energy potential of sugarcane biomass through the analysis of the main parameters that influence the process. Analyzes of superior calorific power, immediate chemical analyzes, infrared and elementary analysis were carried out, in order to evaluate the energetic potential of this material. A good level of higher calorific value was observed, 4309.50 kcal kg⁻¹, in addition to low ash content, 0.95%, factors that may explain the great use of sugarcane bagasse for direct energy generation, mainly in industry.

Keywords: Waste. Sugarcane. Energy source.

¹Como citar este artigo: GROTTTO, C.G.L.*et al.* Caracterização da biomassa de bagaço de cana-de-açúcar com vistas energéticas. **ForScience**, Formiga, v. 9, n. 1, e00928, jan./jun. 2021. DOI: 10.29069/forscience.2021v9n1.e928.

²Autor para correspondência: Douglas Henrique Pereira, e-mail: doug@uft.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da população mundial e a modernização do modo de vida tem contribuído de forma significativa para aumento da demanda global de energia (RÜHL, 2012; ARPIA *et al.*, 2021). Atualmente, a matriz energética mundial é significativamente baseada em fontes não renováveis como carvão, petróleo e gás natural (FERREIRA *et al.*, 2018). Como resultado, é observado o esgotamento desses combustíveis fósseis e uma maior degradação ambiental, incluindo poluição do ar, destruição da camada de ozônio e aumento contínuo da temperatura global (PRASAD *et al.*, 2019; ARPIA *et al.*, 2021). Com isso, a busca por fontes alternativas, renováveis e sustentáveis de energia que atendam à demanda mundial é uma necessidade urgente (COELHO *et al.*, 2019; VIEIRA *et al.*, 2020).

O uso de biomassa para a produção de energia está se tornando cada vez mais atraente e possui grande potencial para aumentar a participação das fontes renováveis na matriz energética global, dada a quantidade de resíduos gerados nos setores agrícola, industrial e urbano (DIRBEBA *et al.*, 2017; FERREIRA *et al.*, 2018; GUILHERME *et al.*, 2019; DI FRAIA *et al.*, 2020). Os resíduos de natureza lignocelulósica estão entre as biomassas mais geradas no mundo e são os mais utilizados até o momento (VIEIRA *et al.*, 2020). A composição química desse tipo de biomassa é composta principalmente por celulose (30 a 50%), hemicelulose (15 a 35%), lignina (10 a 30%), extrativos e cinzas (2 a 25%), podendo as concentrações variarem de acordo com o tipo de resíduo, idade e estágio vegetativo (RAMBO *et al.*, 2015; GROTTO *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a cana-de-açúcar é uma das maiores culturas agrícolas do mundo, com uma produção anual de cerca de 1,9 bilhões de toneladas, sendo o Brasil o maior produtor mundial (BILATTO *et al.*, 2020; DEVI *et al.*, 2020). Tal fator possui influência direta no fato de a cana-de-açúcar ser uma das biomassas mais utilizadas, contribuindo para a diversificação energética e o desenvolvimento sustentável, uma vez que, à medida que a safra se torna mais significativa aumenta também a produção dos resíduos agrícolas (DEVI *et al.*, 2020). A biomassa da cana-de-açúcar representa o quarto lugar na matriz energética brasileira correspondendo a 8,65% de toda energia gerada e mais de 77% da energia produzida a partir de biomassas (CAVALCANTI; CARVALHO; DA SILVA, 2020). Além de se tornar autossuficiente, o setor sucroenergético vem aumentando cada vez mais sua capacidade de exportar a bioeletricidade produzida para o sistema interligado nacional (SIN) com percentuais de 40% para consumo próprio e 60% para o SIN. De 2010 a 2017, a quantidade de quilowatt-hora exportado para a rede elétrica nacional por tonelada de cana processada

aumentou mais de 110% (DE SOUZA, 2020). Em termos de produção de energia, nota-se que os resíduos de cana-de-açúcar possuem uma capacidade energética de 7400 MJ por tonelada de cana (CORTEZ; BALDASSIN; DE ALMEIDA, 2020), além de ser significativamente superior à energia obtida a partir do carvão. O custo de conversão também é mais barato quando comparado à outras fontes não renováveis derivadas do petróleo e carvão mineral (CORTEZ; BALDASSIN; DE ALMEIDA, 2020; DEVI *et al.*, 2020).

A biomassa da cana-de-açúcar inclui bagaço (que é um produto do processo de moagem da cana-de-açúcar), folhas e copas que contêm celulose, hemicelulose, lignina e proteínas como principal componente, podendo variar de acordo com o tipo e idade da planta e as condições do solo (DIRBEBA *et al.*, 2017; COELHO *et al.*, 2019; DEVI *et al.*, 2020).

O bagaço é um resíduo do processo de moagem dos colmos frescos da cana-de-açúcar, sendo o componente mais conhecido e utilizado da biomassa (DANTAS; LEGEY; MAZZONE, 2013; COELHO *et al.*, 2019). Empregado principalmente para produzir calor e energia, particularmente para obtenção de açúcar e etanol, tendo o excedente de energia gerado exportado para a rede elétrica (DIRBEBA *et al.*, 2017; HILOIDHARI *et al.*, 2018; CARVALHO *et al.*, 2020). A palha também é usada para gerar calor e eletricidade, ou é deixada nas lavouras para melhorar a qualidade do solo, como retenção de água, reciclagem de nutrientes e redução da erosão (BILATTO *et al.*, 2020). O bagaço e a palha apresentam propriedades físico-químicas e morfológicas distintas, sendo ambos utilizados também como matéria-prima para produzir bioetanol de segunda geração e outros bioquímicos como ácido lático, furfural, butanol e metanol (DIRBEBA *et al.*, 2017; FARZAD *et al.*, 2017; BILATTO *et al.*, 2020; DEVI *et al.*, 2020).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar os principais parâmetros que influenciam diretamente na eficácia energética do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia direta.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de bagaço de cana-de-açúcar foram obtidas por meio de coleta em estabelecimentos comerciais que utilizam máquinas do tipo moenda e realizam a extração de caldo de cana-de-açúcar para venda/consumo na cidade de Gurupi/TO nos meses de Fevereiro e Março de 2020.

2.1 Análise química imediata

As análises químicas imediatas foram feitas baseadas na Norma Brasileira Regulamentadora - NBR nº 8112 em que a etapa inicial foi a realização da análise de umidade, definida como a quantidade de água que se encontra no material a ser analisado. O procedimento foi realizado com secagem em estufa por 24h (ABNT, 1986). Em seguida, procederam-se as análises de materiais voláteis (MV), que representa a quantidade de vapor condensável e não condensável liberados no processo de aquecimento, e o teor de cinzas (TC), que são resíduos da combustão e compostos de óxidos que se apresentam geralmente no estado sólido à temperatura ambiente. A partir dos resultados obtidos de MV e TC, foi possível obter o valor de carbono fixo, que é calculado pela diferença do percentual total da amostra (100%), do valor de TC e dos MV (RAMOS E PAULA *et al.*, 2011; CORREIA *et al.*, 2020).

2.2 Teores de extrativos e lignina solúvel, insolúvel e total

A lignina é uma substância complexa composta em grande parte de grupos fenólicos aromáticos que geralmente dão a rigidez e a dureza da fibra da cana-de-açúcar (VAZ JÚNIOR, 2013). Este parâmetro foi determinado seguindo o manual da Associação Técnica da Indústria de Celulose e Papel Norte Americana (TAPPI *Technical Association of Pulp and Paper Industry*) número T 204 cm-97 e T 222 om-11 (TEMPLETON; EHRMAN, 1995a, TEMPLETON; EHRMAN, 1995b; TAPPI, 2007). A análise dos teores ligninas foi executada a partir da etapa de remoção dos extrativos totais em solvente e após, realizou-se a extração e quantificação da lignina solúvel e insolúvel. A lignina total foi obtida pela soma da lignina solúvel e insolúvel (TEMPLETON; EHRMAN, 1995a, TEMPLETON; EHRMAN, 1995b; TAPPI, 2007).

2.3 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica consiste na técnica pela qual se obtém o perfil térmico de degradação e o poder calorífico referente a quantidade de energia liberada durante a combustão (STANISLAV *et al.*, 2010). A presente análise foi realizada a partir da utilização do equipamento 2960 Simultaneous DSC-TGA da TA Instruments, em que a perda massa foi verificada em uma faixa de temperatura de 20 à 600°C, rampa de aquecimento de 30°C min⁻¹ na presença de atmosfera de ar sintético com vazão de 30 mL min⁻¹.

2.4 Espectroscopia na região do infravermelho médio

A espectroscopia na região do infravermelho médio é uma técnica utilizada na caracterização química dos constituintes presentes na amostra, pois permite elucidar e entender os tipos de ligações e grupos funcionais presentes (STANISLAV *et al.*, 2010; MOREIRA *et al.*, 2019). A obtenção dos espectros no infravermelho médio foi executada em um espectrofotômetro da marca Perkin Elmer IR Spectrum Two. Foi utilizado 1 mg de amostra juntamente a 100 mg (proporção 1:100 m m⁻¹) de brometo de potássio (KBr), ao qual foram misturados e macerados com o auxílio de um grau e pistilo. Em seguida, o material foi prensado para a formação de uma pastilha, que foi inserida no espectrofotômetro para a realização da leitura na faixa espectral de 400 a 4000 cm⁻¹ com resolução de 4 cm⁻¹ e varredura de 32 scans, sendo adquirido um espectro por amostra.

2.5 Poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI)

O poder calorífico representa a quantidade de energia produzida com a queima da biomassa. Com relação ao poder calorífico superior (PCS) este parâmetro representa a quantidade de energia liberada, considerando a água contida nos produtos de combustão no estado líquido. O poder calorífico inferior (PCI) é a quantidade de energia liberada considerando que a água contida nos produtos de combustão sofra vaporização. Em relação ao bagaço de cana-de-açúcar, elevados valores de umidade influenciam na diminuição do PCI e interfere no processo de queima (STANISLAV *et al.*, 2010; RAMBO *et al.*, 2015). Para a determinação do poder calorífico superior (PCS), a análise seguiu a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR nº 8633 (ABNT, 1984), em que a aferição das amostras foi realizada em bomba calorimétrica, modelo C 2000 basic da marca IKA após secagem prévia.

O PCI foi obtido por meio de correlações com a análise química elementar (PARIKH; CHANNIWALA; GHOSAL, 2005), sendo obtido a partir de correlações empíricas conforme equação 1:

$$\text{PCI} = \text{PCS} - (600 \times 0,09 \times \% \text{ Hidrogênio}) \quad (1)$$

em que PCS é o poder calorífico superior, (dado em base seca, kcal kg⁻¹), PCI o poder calorífico inferior, (dado em base seca, kcal kg⁻¹) e %Hidrogênio é a porcentagem obtida na etapa de análise elementar.

2.6 Análise elementar

A análise elementar determina a porcentagem da massa dos principais elementos químicos presentes em biomassas em que, geralmente, são quantificados os percentuais de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), oxigênio (O) (STANISLAV *et al.*, 2010; PONTE *et al.*, 2019). Para realização da análise elementar, foram utilizadas amostras previamente secas e peneiradas em peneira de 200 mesh para obter as porcentagens de Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O) e Nitrogênio (N). Realizou-se a análise elementar (CHN) em um analisador da marca Flash 2000. O teor de oxigênio (O) (%) foi determinado pela diferença, considerando que os elementos compõem 100% da amostra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise imediata

Os dados encontrados para as análises químicas imediatas (realizadas em triplicata) sendo: Teor de Umidade (TU), Teor de Materiais Voláteis (TMV), Teor de Cinzas (TC) e Teor de Carbono Fixo (TCF) para o bagaço de cana-de-açúcar estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química imediata do bagaço de cana-de-açúcar

Análise	Bagaço de Cana
TU (%)	8,72
TMV (%)	81,90
TC (%)	0,95
TCF (%)	17,15

Com relação as análises imediatas, existe uma grande relação entre estas e o poder calorífico de combustíveis. Teores elevados de cinzas e de umidade tendem a influenciar negativamente a eficiência energética de biomassas (FERREIRA *et al.*, 2014). Analisando inicialmente os valores obtidos para a umidade é possível observar que o valor encontrado para o bagaço de cana-de-açúcar foi de 8,72%. Esse valor mostrou-se inferior aos observados na literatura (REIN, 2007; MANYÀ; ARAUZO, 2008; DA SILVA; DE LIMA, 2020), sendo importante destacar que essa é uma etapa fundamental para o melhor aproveitamento dos resíduos e para a maior sustentabilidade do processo de produção, já que elevados valores de

umidade podem resultar em fatores como dificuldade de transporte à longas distâncias e dificuldade de armazenamento e diminuição do poder calorífico útil (GROTTO *et al.*, 2020).

Observa-se que o bagaço de cana-de-açúcar analisado apresentou teor de 0,95% de cinzas. Em biomassas residuais, esse valor pode variar entre 0,2 e 6,6% (VAMVUKA; KAKARAS, 2011). Os valores encontrados para o bagaço da cana-de-açúcar são excelentes com relação a este parâmetro, já que esse material pode representar perdas de produtividade, além da necessidade de destinação adequada para atendimento às normas e legislações ambientais atuais.

Outro fator importante é o valor do teor de carbono fixo (TCF) que foi de 17,15%. O TCF está diretamente relacionado à eficiência energética da biomassa, visto que quanto maior o TCF, maior será o índice de combustão (GROTTO *et al.*, 2020); assim, os valores de TCF encontrados para o bagaço da cana-de-açúcar são adequados para geração de energia (GROTTO *et al.*, 2020).

Com relação ao teor de materiais voláteis (TMV), o bagaço de cana-de-açúcar apresentou teor de 81,90% e, tal valor pode ser considerado elevado para esse tipo de biomassa. A consequência desse dado é refletida em uma queima rápida, que favorece a ignição e com intensa liberação de partículas voláteis, mas apresenta baixa resistência, diminuindo o tempo da queima. Por outro lado, a queima de materiais voláteis pode representar entre 50% e 70% de componentes em base seca de uma biomassa, contribuindo assim para a liberação de energia durante a combustão (MANYÀ; ARAUZO, 2008).

3.2 Análise termogravimétrica

A Figura 1 ilustra as curvas de TG e DTA para a biomassa de cana-de-açúcar estudada. A primeira queda na porcentagem de massa (%) é observada até a temperatura de 110°C e está relacionada com a saída de parte dos materiais voláteis e umidade presentes no bagaço cana-de-açúcar. Correlacionando com a análise de umidade (TU) realizada no presente trabalho (resultado de análise imediata), nota-se que a perda de massa nessa região foi de aproximadamente 6,0% e a umidade encontrada foi de 8,72% (Tabela 1), o que comprova a retirada da maior parte de água das amostras encontra-se nessa faixa de temperatura.

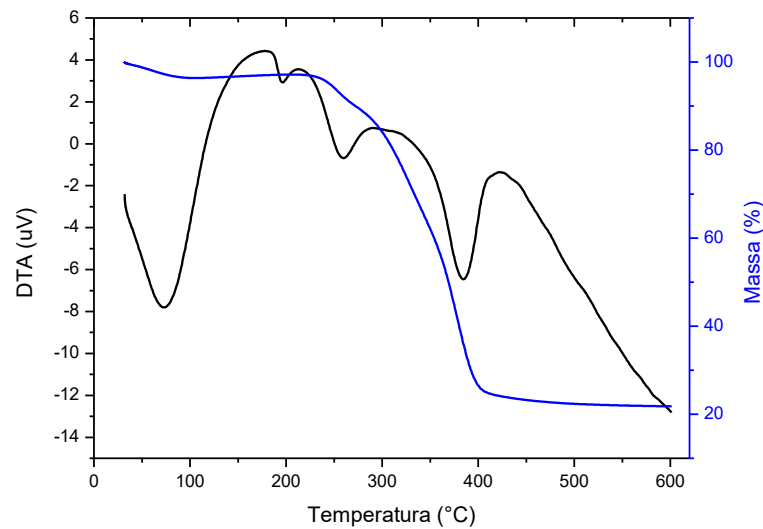


Figura 1 - Curvas de TG e DTA para a o bagaço de cana-de-açúcar

A segunda queda de massa, observada na zona entre as temperaturas (120 e 330°C), corresponde à degradação de celulose e hemicelulose, polímeros que necessitam de menor quantidade de energia para serem degradados (BERNAL *et al.*, 2002; CARRIER *et al.*, 2011; RAMBO *et al.*, 2015; ACQUAH *et al.*, 2017).

Observou-se nessa zona uma perda de massa de aproximadamente 22%, sendo importante destacar que a hemicelulose se decompõe entre 275 e 305 °C e a decomposição de celulose ocorre entre 300 e 325°C (BERNAL *et al.*, 2002; CARRIER *et al.*, 2011; RAMBO *et al.*, 2015; ACQUAH *et al.*, 2017).

Na última zona (330 e 600°C) observa-se a degradação do polímero que exige maior quantidade de energia para a quebra das ligações, a lignina (BERNAL *et al.*, 2002; RAMBO *et al.*, 2015; ACQUAH *et al.*, 2017). Nessa região, tem-se uma perda de massa de aproximadamente 52%. Ao fim, na temperatura de 600°C, tem-se que cerca de 20% do material não havia sido degradado. Uma parte representa uma biomassa que ainda pode entrar em combustão e uma parte menor (0,95%) representa as cinzas, composto majoritariamente por compostos inorgânicos, sendo a sílica um deles (RAMBO *et al.*, 2015).

A curva DTA exibe bandas bem definidas endotérmicas nas regiões próximas de 72°, 197°, 258° e 382° Celsius e picos exotérmicos em 180°, 213°, 301° e 421° Celsius que pode ser relacionado a energia necessária para quebrar as ligações químicas seguida da liberação de energia, respectivamente.

3.3 Espectroscopia na região do Infravermelho médio

Na Figura 2 estão representadas as principais bandas de infravermelho (IV) para a amostra do bagaço de cana-de-açúcar. Pelo espectro da Figura 2 é possível identificar os principais grupos funcionais e como esperado, a análise no IV evidenciou a presença de bandas que possuem características similares aos materiais constituídos de celulose, hemicelulose e lignina (HOLLER *et al.*, 2009; GROTTTO *et al.*, 2020).

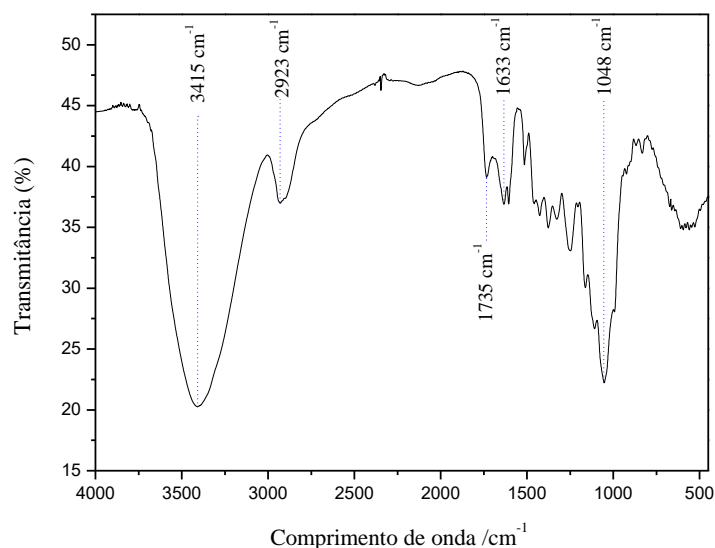


Figura 2 - Espectro de infravermelho médio da amostra de bagaço de cana-de-açúcar

Analisando os resultados de IV é possível identificar uma banda intensa na região com número de onda em 3415 cm^{-1} , evidenciando a presença de vibrações de estiramento simétrico de grupos -OH de álcoois e fenóis presentes na lignina, celulose e hemicelulose (TARLEY; ARRUDA, 2004; HOLLER *et al.*, 2009). A presença de grupos silanóis (Si-OH), devido à grande influência de sílica e a água presente na superfície do bagaço de cana de açúcar também são responsáveis pelo estiramento na região citada (em 3415 cm^{-1}) (GROTTTO *et al.*, 2020).

Identifica-se também a presença do estiramento C-H alifático com pico entre 2950 cm^{-1} e 3000 cm^{-1} , que evidenciam a presença de cadeia alifáticas (-CH₂, -CH₃), presentes em moléculas de celulose, hemicelulose e lignina. A banda identificada entre 1780 cm^{-1} e 1650 cm^{-1} está relacionada à vibração de estiramento de C=O presentes em cetonas, ésteres, aldeídos e ácidos carboxílicos. A presença de ligação do tipo C-O está relacionada a vibrações de estiramento identificada na banda em 1048 cm^{-1} , evidenciando a presença de grupos dos ácidos carboxílicos (HOLLER *et al.*, 2009).

3.4 Poder calorífico superior, inferior e teor de lignina

O poder calorífico da biomassa é uma indicação da energia ligada ao processo de combustão, sendo convertido em energia térmica. É considerado o parâmetro mais importante para medir a eficiência de um combustível (GROTTO *et al.*, 2020). Os resultados para o poder calorífico superior (PCS) da amostra analisada encontrado foram de 4309,50 kcal kg⁻¹. O valor determinado é próximo aos reportados para outras biomassas também utilizadas como fonte de energia como a casca de arroz (GROTTO *et al.*, 2020). Outro ponto importante é que na utilização do resíduo para combustão, o teor de umidade é um fator importante, mas é controlável, por outro lado o teor de cinzas não é controlável. Neste sentido, o bagaço de cana-de-açúcar analisado se destaca, pois apresenta baixo valor de cinzas e um bom poder calorífico superior (PCS).

Com relação ao PCI, calculado a partir da equação 1, o valor encontrado foi de 3930,96 kcal kg⁻¹. Ressalta-se que o PCI obtido neste presente estudo para o bagaço de cana-de-açúcar corrobora com o estudo realizado por Ramos e Paula *et al.* (2011) que obtiveram o PCI de 3855,78 kcal kg⁻¹ para o bagaço de cana-de-açúcar caracterizado com resíduos de biomassa vegetal para utilização energética. Em outro trabalho Correia *et al.* (2020), em seu estudo que avaliou as características físico-químicas e energéticas do bagaço da cana-de-açúcar, quando submetido a condições de estocagem a céu aberto obtiveram o valor de PCI médio de 3862,14 kcal kg⁻¹

Os resultados encontrados para lignina solúvel, insolúvel, total e extrativo são apresentados na Tabela 2. O valor de lignina total obtido para o bagaço de cana-de-açúcar foi de 27,95%. Esse dado possui relação direta com os resultados observados para poder calorífico superior (PCS).

Tabela 2 - Teores de lignina e extrativos (%)

Análise	Bagaço de cana-de-açúcar
Extrativos (%)	16,56
Lignina Solúvel (%)	7,59
Lignina Insolúvel (%)	20,36
Lignina Total (%)	27,95

Cabe destacar que a quantidade de lignina tem grande interesse em áreas de alta demanda energética, devidos sua estrutura química, porcentagem de carbono e poder

calorífico, influenciando de forma positiva na eficiência de geração de energia de um combustível (GOUVEA *et al.*, 2017; GROTTTO *et al.*, 2020).

3.5 Análise química elementar

Os resultados obtidos na análise química elementar para as porcentagens de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e oxigênio (O) estão representadas na Tabela 3. O principal componente observado na composição do bagaço de cana-de-açúcar avaliado é o carbono (44,25%), devido à presença de moléculas orgânicas nos principais componentes da biomassa (lignina, celulose e hemicelulose).

Tabela 3 - Análise Química Elementar (%) do bagaço de cana-de-açúcar

C	H	N	O
44,25	7,01	0,36	47,43

Observou-se grande semelhança dos resultados de análise elementar com o que foi descrito na literatura em estudos que utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar (REIN, 2007; MANYÀ; ARAUZO, 2008). Os valores mostram que esse resíduo não apresenta grande variação elementar, apesar da comparação levar em consideração trabalhos em que os locais de coleta do material foram totalmente diferentes (REIN, 2007).

4 CONCLUSÃO

A plantação de cana-de-açúcar no Brasil é uma atividade agrícola economicamente importante. Um subproduto consideravelmente significativo gerado após a moagem da cana-de-açúcar é o bagaço que pode ser utilizado para fins energéticos. Neste contexto, o presente trabalho avaliou o potencial energético do bagaço de cana-de-açúcar. O bagaço de cana-de-açúcar analisado apresentou um alto teor de materiais voláteis (81,90 %), uma baixa umidade (8,72%) e teores adequados de carbono fixo (17,51%) que favorece uma combustão simples, rápida e eficiente. Outro ponto importante é o baixo teor de cinzas encontrado (0,95%) que é excelente, pois gera pouco resíduos após a queima. Os valores encontrados para o poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI) foram de 4309,50 kcal kg⁻¹ e 3930,96 kcal kg⁻¹, respectivamente, o que permite explicar a elevada utilização do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia. Os altos valores de PCS e PCI podem ser justificados pelo teor de carbono da análise elementar (44,25 %) e o teor de lignina (27,95 %) que são

parâmetros importantes a serem analisados em toda biomassa que tem por finalidade a geração de energia. Por fim, os dados encontrados reforçam a importância de se conhecer de forma efetiva as características de uma biomassa para a sua utilização com fins energéticos e o bagaço de cana de cana de açúcar estudado se mostrou favorável e com potencial esta aplicação.

REFERÊNCIAS

- ACQUAH, G. E. *et al.* Chemometric modeling of thermogravimetric data for the compositional analysis of forest biomass. **PLoS ONE**, v. 12, p. 0172999, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172999>. Acesso em: 07 jun. 2020.
- ARPIA, A. A. *et al.* Sustainable biofuel and bioenergy production from biomass waste residues using microwave-assisted heating: A comprehensive review. **Chemical Engineering Journal**, v. 403, p. 126233, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126233>. Acesso em: 25 fev. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 8112**: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 8633**: carvão vegetal – determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.
- BERNAL, C. *et al.* Influência de alguns parâmetros experimentais nos resultados de análises calorimétricas diferenciais - DSC. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, p. 849-855, 2002.
- BILATTO, S. *et al.* Lignocellulose nanocrystals from sugarcane straw. **Industrial Crops and Products**, v. 157, p. 112938, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112938>. Acesso em: 25 fev. 2021.
- CARRIER, M. *et al.* Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 298-307, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.067>. Acesso em: 10 mai. 2020.
- CARVALHO, D. J. *et al.* Assessment of the self-sustained energy generation of an integrated first and second generation ethanol production from sugarcane through the characterization of the hydrolysis process residues. **Energy Conversion and Management**, v. 203, e0112267, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112267>. Acesso em: 27 fev. 2021.
- COELHO, R. D. *et al.* Effect of water stress on renewable energy from sugarcane biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 103, p. 399-407, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.025>. Acesso em: 10 set. 2020.
- CORREIA, M. A. C. *et al.* Características e potencial energético do bagaço da cana-de-açúcar armazenado sem cobertura por um período prolongado. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 13, n. 1, p. 173-187, 2020.

CORTEZ, L. A. B.; BALDASSIN, R.; DE ALMEIDA, E. Chapter 7 - energy from sugarcane. *In: SANTOS, F. et al (Orgs.). Sugarcane biorefinery, technology and perspectives.* [s.l.]: Academic Press, 2020, p. 117-139. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012814236300007X>. Acesso em: 10 out. 2020.

DANTAS, G. A.; LEGEY, L. F. L.; MAZZONE, A. Energy from sugarcane bagasse in Brazil: an assessment of the productivity and cost of different technological routes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 356-364, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.080>. Acesso em: 10 set. 2020.

DA SILVA, R. N.; DE LIMA, F. E. Estudo do impacto do teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar em sistemas de cogeração. **Revista Geama**, Recife, v. 6, n. 2, p. 25-33, 2020.

DE SOUZA, Z. J. Bioelectricity of sugarcane: a case study from Brazil and perspectives. *In: Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives.* [s.l.]: Elsevier, 2020, p. 255–279. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978012814236300013>. Acesso em: 3 mar. 2021.

DEVI, G. K. *et al.* 12 - Effective utilization of sugarcane trash for energy production. *In: KUMAR, R. P. et al (Orgs.). Refining biomass residues for sustainable energy and bioproducts.* [s.l.]: Academic Press, 2020, p. 259-273. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128189962000120>. Acesso em: 10 out. 2020.

DI FRAIA, S. *et al.* Energy potential of residual biomass from agro-industry in a Mediterranean region of southern Italy (Campania). **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 124085, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124085>. Acesso em: 25 fev. 2021.

DIRBEBA, M. J. *et al.* Potential for thermochemical conversion of biomass residues from the integrated sugar-ethanol process: fate of ash and ash-forming elements. **Bioresource Technology**, v. 234, p. 188-197, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.021>. Acesso em: 09 ago. 2020.

FARZAD, S. *et al.* Multi-product biorefineries from lignocelluloses: a pathway to revitalisation of the sugar industry? **Biotechnology for Biofuels**, v. 10, n. 1, p. 87, 2017. 17. 10:87. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0761-9>. Acesso em: 09 jun. 2020.

FERREIRA, I. T. *et al.* Estimativa do potencial energético de resíduos celulósicos de fabricação de papel através de análise imediata. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 3, n. 4, 2014.

FERREIRA, L. R. A. *et al.* Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 440-455, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.034>. Acesso em: 09 jul. 2020.

GOUVEA, A. F. G. *et al.* Estudo da adição da lignina kraft nas propriedades mecânicas dos briquetes de resíduos da indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 1029-1036, 2017.

GUILHERME, A. de A. *et al.* Ethanol production from sugarcane bagasse: use of different fermentation strategies to enhance an environmental-friendly process. **Journal of Environmental Management**, v. 234, p. 44–51, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.102>. Acesso em: 10 jul. 2020.

HOLLER, F. J. *et al.* **Princípios de análise instrumental**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HILOIDHARI, M. *et al.* Bioelectricity from sugarcane bagasse co-generation in India: an assessment of resource potential, policies and market mobilization opportunities for the case of Uttar Pradesh. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 1012–1023, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.087>. Acesso em: 10 jul. 2020

GROTTO, C. G. L. *et al.* Energy potential of biomass from two types of genetically improved rice husks in Brazil: A theoretical-experimental study. **Biomass and Bioenergy**, v. 142, p. 105816, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105816>. Acesso em: 10 ago. 2020

MANYÀ, J. J.; ARAUZO, J. An alternative kinetic approach to describe the isothermal pyrolysis of micro-particles of sugar cane bagasse. **Chemical Engineering Journal**, v. 139, p.549-561, jun. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.09.005>. Acesso em: 14 jun. 2020.

MOREIRA, A. A. *et al.* Treatment of sugarcane bagasse for the immobilization of soybean β -glucosidase and application in soymilk isoflavones. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, 2019.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S. A.; GHOSAL, G. K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, v. 84, n. 5, p. 487-494, 2005.

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.10.010>. Acesso em: 10 out. 2020.

PONTE, M. R. *et al.* Blendas de bagaço de cana-de-açúcar, podas de mangueira e cajueiro: caracterização das propriedades e investigação de seus potenciais energéticos. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, 2019.

PRASAD, S. *et al.* Biofuels: a clean technology for environment management. In: SHAH, S.; VENKATRAMANAN, V.; PRASAD, R. (Orgs.). **Sustainable green technologies for environmental management**. Singapore: Springer Singapore, 2019, p. 219–240. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-981-13-2772-8_11. Acesso em: 10 out. 2020.

RAMBO, M. K. D. *et al.* Estudo de análise termogravimétrica de diferentes biomassas lignocelulósicas utilizando a análise por componentes principais. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 862-868, 2015.

RAMOS E PAULA, L. E. de *et al.* Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011.

REIN, P. **Cane sugar engineering**. Berlim: Verlag, 768 p, 2007.

RÜHL, C. *et al.* Economic development and the demand for energy: a historical perspective on the next 20 years. **Energy Policy**, v. 50, p. 109-116, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.039>. Acesso em: 05 mar. 2020.

STANISLAV, V. *et al.* An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, v. 89, p. 913-933, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.022>. Acesso em: 01 jul. 2020.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Solvent extractives of wood and pulp**. TAPPI test methods. Atlanta:TAPPI Press, 2007.

TEMPLETON, D.; EHRMAN, T. **Determination of acid-insoluble lignin in biomass. laboratory analytical procedure (LAP) n° 003**. National Renewable Energy Laboratory – NREL, 1995a.

TEMPLETON, D.; EHRMAN, T. **Determination of acid-soluble lignin in biomass. laboratory analytical procedure (LAP) n° 004**. National Renewable Energy Laboratory – NREL, 1995b.

TARLEY, C. R. T.; ARRUDA, M. A. Z. Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. **Chemosphere**, v. 54, n. 7, p. 987-995, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.09.001>. Acesso em: 01 jul. 2020.

VAMVUKA, D.; KAKARAS, E. Ash properties and environmental impact of various biomass and coal fuels and their blends. **Fuel Processing Technology**, v. 92, p. 570-581, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.11.013>. Acesso em: 01 jul. 2020.

VAZ JÚNIOR, S. Biomassa para Química Verde. 1. ed. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2013.

VIEIRA, S. *et al.* Sustainability of sugarcane lignocellulosic biomass pretreatment for the production of bioethanol. **Bioresource Technology**, v. 299, p. 122635, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122635>. Acesso em: 26 fev. 2021.

DADOS DOS AUTORES

Carlos Guilherme Lopes Grotto

E-mail: cguilhermelopes@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/3897440954419890>

Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia na Universidade Federal do Tocantins -UFT. Mestre em Biotecnologia pela UFT. Tem experiência na área de gerenciamento de resíduos na produção de combustíveis sólidos e análises físico-químicas para combustíveis sólidos.

Adão Marcos Ferreira Costa

E-mail: adaomarcos22@hotmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4309465745611441>

Possui graduação em Química Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins - UFT, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Química da UFT. Técnico de Laboratório de Química do Instituto Federal do Tocantins campus Dianópolis desde 2015. Tem experiência na área de química Teórica e atua também em gestão de laboratório e descarte de resíduos químicos.

Carla Jovania Gomes Colares**E-mail:** carla.colares@uft.edu.br**Currículo lattes:** <http://lattes.cnpq.br/4432660032449203>

Doutorado em Química pela Universidade de Brasília (UnB) e graduação em Química Industrial pela Universidade Estadual de Goiás (UEG). Professora adjunta da Universidade Federal do Tocantins. Tem experiência na de química analítica e química ambiental, com ênfase instrumentação, quimiometria, imagens digitais, métodos espectroscópicos e em tratamento de resíduos sólidos.

Douglas Henrique Pereira**E-mail:** doug@uft.edu.br**Currículo lattes:** <http://lattes.cnpq.br/7848886510940927>

Pós-doutorado e doutorado pela Universidade Estadual de Campinas, mestrado pela Universidade de São Paulo e graduação em Química Licenciatura pela Universidade Federal de Lavras. Professor adjunto da Universidade Federal do Tocantins. Tem experiência na área de química Teórica, métodos compostos adaptados a pseudopotenciais, mecanismos reacionais.