

CANA-DE-AÇÚCAR: ANÁLISE TÉRMICA E ENERGÉTICA DE BIOMASSA E EMISSÕES DE GASES NÃO CONDENSÁVEIS DURANTE A COMBUSTÃO

Danilo Campiom Arantes, dcampiomarantes@yahoo.com.br,
Dr. Solidônio Rodrigues de Carvalho, srcarvalho@mecanica.ufu.br

Resumo. Neste trabalho os estudos serão voltados para biomassa oriunda da palha ou bagaço de cana-de-açúcar. Uma das etapas é a definição do potencial energético, à partir da identificação do seu Poder Calorífico e da chamada “análise imediata”, que determina o teor de umidade (TU), teor de materiais voláteis (MV), teor de cinzas (CZ) e teor de carbono fixo (CF). Será determinada a influência da umidade sobre o poder calorífico do produto in natura. Como alternativa para valorização energética, um estudo sobre a torrefação do produto será realizado. Será estudado também a higroscopicidade da biomassa torrefeita. E, por fim, os gases não condensáveis gerados na combustão serão analisados por cromatografia gasosa.

Palavras chave: cana-de-açúcar, torrefação, caracterização energética.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade é um elemento chave no movimento global. A busca por combustíveis ecologicamente corretos que possam reduzir ou mesmo suprimir o consumo dos combustíveis fósseis é contínua. Assim, são cada vez maiores os investimentos em fontes de energia renováveis de forma a diversificar a matriz energética mundial.

Segundo Filippetto (2008), na busca por fontes energéticas alternativas e sustentáveis, a utilização de biomassa é vista como uma das possíveis alternativas ao uso das fontes fósseis. A sustentabilidade do uso de biomassa, todavia, requer um manuseio cuidadoso e consciente dos recursos naturais, para evitar desequilíbrios ambientais e destruição de ecossistemas.

Neste contexto, a biomassa exerce um papel bastante relevante, sendo uma das fontes de energia renovável mais explorada no planeta. Nos países em desenvolvimento a biomassa sempre foi crucial para a geração de energia. Nos países desenvolvidos, onde os combustíveis fósseis se constituem como a base energética, a biomassa também se faz presente, sendo comum o aproveitamento de resíduos florestais, urbanos e industriais como fonte de energia (RODRIGUES, 2009).

O reaproveitamento energético de resíduos vegetais gerados a partir de várias atividades agroindustriais pode ser uma forma de reduzir a pressão sobre recursos naturais diretamente explorados como fonte de combustíveis (FILIPPETTO, 2008). Assim, para Protássio et al (2011), os resíduos das mais variadas origens despontam-se como interessantes alternativas energéticas.

As indústrias do setor florestal geram um volume significativo de resíduos durante as diversas fases operacionais, que vão desde a exploração florestal até o produto final, podendo ser considerados como uma importante fonte de biomassa. Os resíduos gerados durante a colheita florestal são principalmente compostos de galhos, ponteiros, cascas e folhas (PINCELLI, 2011).

Entretanto, a biomassa *in natura* apresenta algumas características que podem restringir seu uso direto como combustível, tais como a baixa densidade, o alto teor de umidade, a granulometria irregular, o baixo teor de carbono fixo e o baixo poder calorífico. Portanto, no intuito de tornar o uso mais eficiente desse combustível heterogêneo para padronizar e aumentar a qualidade da biomassa é necessário, na maioria dos casos, a utilização de processos industriais para tentar corrigir algumas propriedades. Dentre os diversos processos existentes, destacam-se a torrefação e a briquetagem (GONÇALVES, 2010; VILAS BOAS, 2011; RODRIGUES, 2009).

Dentre todos os parâmetros a serem avaliados na caracterização energética do bagaço de cana, a umidade e o teor de cinzas são os principais responsáveis pela variação do poder calorífico, segundo Channiwala e Parick (2002). E Lima et al (2008), Farinhaque (1982) e Souza et al (2012) concluíram que a umidade tem influência negativa na liberação de calor durante a queima do combustível, pois uma parte da energia é para o aquecimento e vaporização da água. Lippel (2013), afirma que reduzindo a umidade da biomassa para valores entre 10 e 15%, seu poder calorífico aumenta de 2,0 kWh/Kg a 4,5 kWh/Kg e reduz os custos de transportes e estocagem, criando condições ideais para a queima direta ou para a obtenção de briquetes de alta qualidade.

As propriedades da biomassa torrefeita variam em função do tempo e temperatura de processamento. Para cada combinação destas variáveis pode-se obter produtos de diferentes propriedades energéticas, pois os teores de voláteis e carbono fixo variam em função de cada combinação realizada. Recomenda-se que a torrefação seja executada em uma atmosfera neutra ou redutiva, para inibir a oxidação ou ignição do material.

No caso de resíduos florestais, a torrefação é conduzida a temperatura entre 150 e 300°C e consiste em concentrar a energia da biomassa em curto tempo, e obter altos rendimentos operando com baixas taxas de aquecimento e temperaturas moderadas. Este tratamento térmico pode conduzir à homogeneização das características químicas e

físico-mecânicas do material e, sobretudo, concentrar a energia disponível em um novo produto, com uma perda de massa limitada variando em função da temperatura. Além da maior concentração de energia, o produto final poderá ser mais facilmente fragmentável devido à redução de suas resistências físico-mecânicas, além de apresentar menor higroscopicidade e um baixo teor de umidade final. Dentre outros, tais aspectos poderão garantir maior sucesso na aplicação da biomassa residual da colheita florestal para fins energéticos. Além do aumento da resistência ao ataque de organismos xilófagos (PINCELLI, 2011).

Em termos gerais a torrefação é um processo que não requer tecnologias muito complexas, pois é desenvolvido a temperaturas relativamente baixas e à pressão atmosférica. Portanto os custos dos equipamentos geralmente não são muito elevados, e inclusive as técnicas utilizadas são bem conhecidas. Este fato contribui a tornar a torrefação atrativa e, em termos econômicos, a diferença de outras tecnologias de conversão que são mais complexas, custosas e pouco exploradas. (FELFLI, 2003) O GCA, laboratório da Unicamp, considera que a torrefação da madeira, em pequena e média escala, no Brasil tem perspectivas de competir com os métodos tradicionais de carbonização, por duas razões fundamentais. Primeiro: a biomassa torrada têm capacidade e flexibilidade suficiente de adaptar-se aos requerimentos técnicos dos diferentes mercados, podendo atender a demanda de carvão nos mercados domésticos e comercial (Pizzarias, churrascarias, padarias), assim como também em alguns setores industriais que fazem uso intensivo da madeira como é o caso das indústrias de cerâmicas. Segundo, se a tecnologia empregada é eficiente e de baixo custo, esta pode competir com os fornos de alvenaria fazendo que os custos de produção da biomassa torrada sejam competitivos com os custos de produção do carvão.

Entre os métodos modernos de análise, a cromatografia ocupa um lugar de destaque devido à facilidade com que efetua a separação, identificação e quantificação de espécies químicas, por si mesma ou em conjunto com outras técnicas instrumentais de análise, como a espectrofotometria ou a espectrometria de massas (COLLINS, et al 2007). Dentre os diversos tipos de análises cromatográficas que existem, será utilizado a técnica de cromatografia gasosa, onde a fase móvel, ou gás de arraste é o hidrogênio.

Segundo Collins (2007) a cromatografia gasosa é uma excelente técnica e com altíssimo poder de resolução, tornando possível a análise de inúmeras substâncias presentes em uma mesma amostra. Dependendo do analito e do detector empregado é possível se detectar substâncias da ordem de 10^{-12} g.

O detector utilizado na análise dos gases não condensáveis *GNC's*, em especial, o metano é o detector de ionização de chama (DIC ou em inglês FID). O detector de ionização de chama é um dos mais amplamente usados na cromatografia gasosa. Ele é de fácil utilização, mas destrói a amostra, já que o gás de arraste proveniente da coluna é queimado em presença de ar e H_2 . A chama produzida na queima da amostra se encontra em um campo elétrico. O FID é um detector altamente sensível a compostos orgânicos. Ao sair da coluna, o gás (componentes da amostra + gás de arraste) é misturado com hidrogênio e ar sintético, e então queimado em um queimador de aço inoxidável. Os compostos orgânicos produzem íons e elétrons que podem conduzir eletricidade através da chama. O princípio do TCD está baseado na variação da condutividade térmica da corrente gasosa que carrega o analito em relação ao gás de arraste puro e sua vantagem está na simplicidade, ampla faixa dinâmica linear ($\sim 10^5$) e caráter não destrutivo da amostra (Mariani, 2007).

Neste trabalho os estudos serão voltados para biomassa oriunda do palha ou bagaço de cana-de-açúcar *ssp*. A cogeração de energia elétrica a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar tem se tornado uma alternativa nos dias de hoje, pois reduz os impactos ambientais e disponibiliza energia elétrica a custos reduzidos, além de se tratar de uma energia limpa e renovável (MIGUEL e FERNANDES, 2011). A biomassa pode ser utilizada para produzir energia através de usinas a vapor. Por meio da análise das propriedades térmicas, físico-químicas e mecânicas da biomassa esta pode ser tratada termicamente, de forma a aprimorar sua combustão em caldeiras e reduzindo seu consumo. Devido um mercado mais competitivo, as usinas buscam novos caminhos para garantir a remuneração do capital investido, como por exemplo, as usinas de açúcar e álcool que utilizam o bagaço para gerar sua própria energia e, se for o caso, vender o excedente durante a safra e entressafra.

2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A elaboração deste trabalho tem como objetivo a definição do poderio energético do bagaço de cana-de-açúcar através da identificação de seu poder calorífico e da análise imediata da biomassa, determinado através do teor de umidade (TU), materiais voláteis (MV), cinzas (CZ) e carbono fixo (CF). Será estudada ainda a influência da umidade sobre o poder calorífico e também a torrefação do bagaço de cana como alternativa para valorização energética da biomassa. E, por meio de um balanço energético, quantificar o gasto de energia no processo de torrefação. Por fim, serão analisados e quantificados os gases não condensáveis, por cromatografia gasosa, gerados na combustão. O bagaço de cana-de-açúcar *ssp* será disponibilizado pela empresa parceira.

3. METODOLOGIA

O LTCM dispõe de todos os materiais e equipamentos necessários para a realização das análises. Tais equipamentos são: peneiras com malhas de 19; 0,210 e 0,150 mm; balança semi-analítica com capacidade de 1,0 Kg e erro de 1%; balança analítica com capacidade de 500g e erro de 0,1mg; cadinhos com capacidade de 25 mL; Estufa; mufla, dessecador e um cromatógrafo gasoso acoplado ao detector de ionização por chama (FID) e ao detector de condutividade térmica (TCD).

3.1. Análise Imediata

3.1.1. Determinação do teor de umidade do bagaço de cana

Primeiramente será realizada a padronização granulométrica do bagaço de cana, segundo a NBR 6923/1981 – Amostragem e preparação de amostras, com grãos menores que 19 mm e maiores que 0,210 mm e a secagem dos potes. Em seguida, utilizando uma balança semi-analítica, será medida e anotada a massa de um recipiente. Posteriormente, será colocada dentro deste recipiente uma massa bagaço de cana. Esse procedimento será realizado até que sejam obtidas 5 amostras. As mesmas serão colocadas dentro da estufa a 105 °C. Após as primeiras 4 horas, as amostras serão retiradas da estufa e colocadas dentro do dessecador, à temperatura ambiente e em seguida, pesada e anotada sua massa. Cada amostra será pesada 3 vezes ao dia durante 4 dias, ou até que sua massa permaneça constante. De acordo com a norma, a precisão dos resultados não pode exceder 5%.

3.1.2. Determinação do Teor de Cinzas no bagaço de cana

Utilizando uma balança analítica, será pesado um cadinho, previamente seco, e anotado sua massa. Em seguida, será adicionado aproximadamente 1,0g de massa de bagaço de cana seca e com granulométrica inferior a 0,210 mm. Esse procedimento será repetido até que seja atingido um total de 6 amostras. Com a mufla previamente aquecida a 700°C, todos os cadinhos destampados serão colocados em seu interior por aproximadamente 10 horas e com a porta fechada, garantindo que toda matéria orgânica seja incinerada. Terminada essa etapa, todos os cadinhos serão retirados e colocados no interior do dessecador até que os mesmos estejam à temperatura ambiente. Por fim, cada cadinho será pesado em uma balança analítica e anotado sua massa final.

3.1.3. Determinação do Teor de Materiais Voláteis no bagaço de cana

Utilizando uma balança analítica, um cadinho previamente seco será pesado e anotado sua massa. Em seguida, será adicionado aproximadamente 1,0g de massa de bagaço de cana seca e com granulométrica inferior a 0,210 mm. Esse procedimento será repetido até que seja atingido um total de 6 amostras. Um cadinho por vez, tampado, será colocado, primeiramente, na entrada da mufla previamente aquecida a 900°C, permanecendo assim, e com a porta aberta, por 3 minutos. Passado esse tempo, a porta será fechada, permanecendo assim por mais 7 minutos. Após esta etapa, o cadinho será colocado no interior do dessecador para que o mesmo atinja a temperatura ambiente e sem contato com umidade. E, por fim, o cadinho será retirado do dessecador, colocado em uma balança analítica e anotado sua massa final.

3.1.4. Determinação do Teor de Carbono Fixo no bagaço de cana

O Teor de Carbono fixo de uma amostra é calculado de maneira indireta, utilizando-se os teores de Cinzas e Materiais Voláteis encontrados nas etapas anteriores.

3.2. Determinação do Poder Calorífico

O Poder Calorífico Superior (PCS) será determinado conforme o método descrito na NBR 8633/1984 – Determinação do poder calorífico. Será utilizada uma bomba calorimétrica isoperbólica à 25°C, modelo IKA-WERNE C2000, conforme Fig. 2. As análises das amostras serão realizadas em triplicatas. Esta análise será realizada no laboratório de nutrição animal da FAMEV – Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Uberlândia.

A determinação do Poder Calorífico Inferior (PCI) e Poder Calorífico Útil (PCU) serão obtidos de maneira indireta, através do valor do PCS.

3.3. Torrefação do bagaço de cana-de-açúcar

Os ensaios de torrefação do bagaço de cana serão realizados considerando 35g de amostra com uma granulometria entre 19 e 0,210 mm. A massa de amostra será colocada dentro de um forno cilíndrico com tampa, previamente seco e tarado. O forno será colocado no interior da mufla, previamente aquecida a uma determinada temperatura. O forno permanecerá no interior da mufla por um tempo determinado e em seguida, irá resfriar no interior do dessecador. Para este experimento serão variados o tempo de permanência do forno no interior da mufla e a temperatura da mesma.

3.4. Análise Cromatográfica dos gases de combustão do bagaço de cana

Durante o processo de combustão da biomassa, tanto para o bagaço de cana *in natura* quanto o torreficado, os gases não condensáveis gerados (CO, CO₂ e CH₄) passarão por um sistema de limpeza (retirada de material particulado), através do filtro de fibra de vidro. Os gases ao saírem do filtro, passarão pelo ciclone-erlenmeyer e posteriormente por

um conjunto de 4 impingers com sílica para a retenção da umidade. Em seguida, após os gases serem coletados em um bag, serão injetados no cromatógrafo para fazer a identificação e quantificação desses gases.

4. CONCLUSÃO

Com a conclusão deste trabalho, será possível analisar a viabilidade econômica e sustentável da produção de bagaço de cana-de-açúcar torreficado para uso na indústria, bem como no comércio e residências, quando comparado à biomassa *in natura*. Neste tratamento térmico é esperado que seja obtido uma biomassa com características físico-químicas superiores no que diz respeito a resistência às intempéries e produção de energia limpa. E, por fim, com a análise cromatográfica dos gases será possível saber se algum gás combustível será gerado para que o mesmo possa ser reaproveitado para a cogeração de energia em usinas à vapor e indústrias sucroalcooleiras.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem aos órgãos de fomento brasileiros - CAPES, CNPq, e FAPEMIG - pelo apoio financeiro concedido.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 6923: Carvão Vegetal – Amostragem e Preparação da Amostra**. Rio de Janeiro, 1981. 15p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 8112: Carvão Vegetal - Análise Imediata - Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 1986. 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 8633: Carvão Vegetal – Determinação do Poder Calorífico – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 1984. 13p.
- CHANNIWALA, S. A., PARIKH, P. P.. **A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels**. Elsevier, Fuel, v.81, p. 1051-1063, 2002.
- COLLINS, C. H., BRAGA, G. L., BONATO, P. S., “**Fundamentos de Cromatografia**”. Ed. Unicamp. p. 17-18; 204-205. Campinas, 2007.
- FELFLI, F. E., LUENGO, C. A., SOLER, P. B. **Torrefação de Biomassa: Características, Aplicações e Perspectivas**. Encontro Energético no Meio Rural. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- FARINHAQUE, R.; **Influência da Umidade no Poder Calorífico da Madeira de Bracatinga (*Mimosa scabrella, Benth*) e Aspectos Gerais da Combustão**. Curitiba: FUPEF, 1981. (Serie Técnica nº6).
- FILIPPETTO, D. **Briquetagem de Resíduos Vegetais: Viabilidade Técnico-Econômica e Potencial de Mercado**. 2008. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- GONÇALVES, J. E. **Avaliação Energética e Ambiental de Briquetes Produzidos com Rejeitos de Resíduos Sólidos Urbanos e Madeira de *Eucalyptus Grandis***. 2010. 104 f. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- LIMA, E. ALVES; ABDALA, E. M.; WENZEL, A. APARECIDO. **Influência da Umidade no Poder Calorífico Superior da Madeira**. Comunicado Técnico 220 – ISSN 1514-5030. Dezembro de 2008. Colombo, Paraná.
- MARIANI, L. Tese de Doutorado: **Estudo da emissão de metano no pantanal sul matogrossense**. p.50-52. INPE. São José dos Campos, 2007.
- MIGUEL, E. R.; FERNANDES, A. S., **A importância da utilização de bagaço de cana-de-açúcar na geração de energia em termelétricas**, III Encontro Científico e Simpósio de Educação Unisalesiano, p. 1-12, 2011.
- PINCELLI, A. L. P. M. S. **Características dos Resíduos da Colheita de Madeira de Eucalipto e Pinus, Submetidos ao Tratamento Térmico, com Foco na Aplicação Energética**. 2011. 126p. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- PROTÁSSIO, T. P.; ALVES, I. C. N., TRUGILHO, P. F., SILVA, V. O., BALIZA, A. E. R. **Compactação de Biomassa Vegetal visando à Produção de Biocombustíveis Sólidos**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.31, n.68, p. 273-283, 2011.
- RODRIGUES, T. O. **Efeitos da Torrefação no Condicionamento de Biomassa para Fins Energéticos**. 2009. 71p. Dissertação de - Universidade de Brasília, Brasília.
- SOUZA, M. M.; SILVA, D. A.; ROCHADELLI, R.; SANTOS, R. C.; **Estimativa de Poder Calorífico e Caracterização para Uso Energético de Resíduos da Colheita e do Processamento de *Pinus taeda***. Revista Floresta, Curitiba, PR, v.42, n.2, p.325-334, abr./jun. 2012.
- VILAS BOAS, M. A. **Efeito do Tratamento Térmico da Madeira para Produção de Briquetes**. 2011. 65f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.