

CARACTERIZAÇÃO E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE CASTANHA DO PARÁ

Hellen Caroline Rodrigues Ferreira (Bolsista/Apresentador)¹ – Unifesspa
hellenferreira85@gmail.com

Luciane Batistella (Coordenadora do Projeto)² - Unifesspa *luciane.batistella@unifesspa.edu.br*

Agência Financiadora: UNIFESSPA/PNAES

Eixo Temático/Área de Conhecimento: Energias Renováveis - Processos termoquímicos de conversão de biomassa em energia.

1. INTRODUÇÃO

A demanda de energia mundial cresce a cada dia, no entanto, o uso de combustíveis fósseis está ligado a problemas ambientais tradicionais e instabilidade de preços, além de ser uma fonte esgotável. Dessa forma, o interesse em fontes alternativas de energia aumentou de forma considerável nos últimos anos, no Brasil, por exemplo, a biomassa é a segunda fonte de energia mais importante do país. A aplicação de biocombustíveis (incluindo resíduos sólidos municipais, industriais e agroindustriais) traz inúmeras vantagens como baixo custo, alta disponibilidade e pouco poluente

Apesar dos benefícios da utilização de biomassa em processos térmicos (combustão, a co-combustão, a pirólise e a gaseificação), a sua aplicação tem uma grande limitação em projetos que envolvem elevados fluxos de biomassa. Características como, a elevada umidade e baixa densidade, valor calórico relativamente baixo e custo de transporte caro, reduzem a viabilidade do uso direto da biomassa (MANDANAYAKE et al., 2017). Neste sentido, o processo de torrefação vem sendo investigado com o objetivo de melhorar as características físico-químicas da biomassa. A torrefação, também chamada de pirólise moderada, é um processo térmico realizado em ambiente inerte ou semi-inerte e normalmente sob condições atmosféricas, onde a biomassa é aquecida de 200 a 300 °C (ROUSSET, et al., 2011). Os produtos do processo de torrefação são sólido, líquido e gases. O sólido torrado quando comparado a biomassa in natura (bruta), tem maior densidade e poder calorífico, portanto com maior densidade energética. A torrefação torna o resíduo sólido um material hidrofóbico, sofrendo pouca influência da umidade do ambiente em que se encontra. A friabilidade do material é melhorada, facilitando o processo de moagem ou cominuição, com redução de 70% a 90% da demanda energética necessária para a cominuição de biomassa não tratada (DOASSANS-CARRÈRE, et al., 2014). O produto sólido torrado produzido pode ser utilizado em forma de pó em processos de co-combustão com carvão mineral pulverizado e gaseificação (TUMURLU, et al., 2011). Também, pode ser processado e densificado em peletes ou briquete, obtendo um sólido com uma alta densidade energética e ajustado à logística e requisitos para o uso final. O objetivo geral deste trabalho é determinar as propriedades dos resíduos lignocelulósicos da Castanha do Pará e avaliar seu potencial de aproveitamento energético em processo de torrefação para obtenção de um combustível sólido com alta densidade energética.

2. MATERIAS E MÉTODOS

O resíduo lignocelulósico selecionado para estudo do processo de torrefação foi a casca de castanha do Pará, coletada no estado do Pará-BR. O nome científico da castanheira é *Bertholletia excelsa* da família *Lecythidaceae*. A casca de castanha do Pará (CCP) foi moída e secada a 105 °C por 4 h em estufa. A faixa granulométrica utilizada nas análises e ensaios e torrefação foi a passante em 80 mesh e retido em 150 mesh. A amostra foi caracterizada quanto a análise imediata (umidade, matéria volátil, cinzas e carbono fixo) de acordo com as normas CEN/TS 14774-1 (2004), CEN/TS 15148 (2005) e CEN/TS 14775 (2004).

¹ Graduada em Engenharia Química - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

² Doutora em Engenharia Química - Professora Titular Adjunta da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (FEMMA/IGE/Unifesspa).

Os testes de torrefação foram realizados em escala de bancada utilizando forno cerâmico (mufla) e cadinhos de porcelana vedados. As condições de torrefação definidas foram 10 g de biomassa, taxa de aquecimento de 20 °C/min, temperaturas de 240, 270 e 300 °C, tempo de residência de 30 minutos após o forno atingir a temperatura de torrefação e atmosfera de N₂ com fluxo de 100 mL/min.

Os ensaios termogravimétricos das amostras de ouriço e CCP bruta e torradas foram realizados com o objetivo de prever o comportamento térmico em atmosferas oxidante e inerte. Para tanto, amostras de aproximadamente 22,0 mg, previamente secas na balança de umidade (MX-50, Moisture Analyser), foram analisadas na balança termogravimétrica DTG-60 da Shimadzu, sob atmosfera oxidante de ar sintético (20% oxigênio e 80% nitrogênio) e atmosfera inerte de N₂, com uma vazão de 50 mL/min. Foi aplicada uma taxa de aquecimento de 10 °C/min até a temperatura final de 900 °C. As amostras permaneceram na temperatura final da rampa até massa constante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de umidade, matéria volátil, cinzas e carbono e poder calorífico superior (PCS) das amostras de casca de castanha bruta e torradas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da análise imediata das amostras de CCP bruta e torradas.

Amostras	Umidade [%]	Voláteis [%, b.s]	Carbono Fixo [%, b.s]	Cinzas [%, b.s]	PCS (MJ/kg)
CCP bruta	9,00 ± 0,06	73,66 ± 2,51	14,65 ± 2,54	1,53 ± 1,35	17,77
CCP-TR240	1,93 ± 0,21	59,52 ± 0,66	31,63 ± 0,27	6,51 ± 0,40	21,44
CCP-TR270	0,28 ± 0,20	61,74 ± 3,05	32,32 ± 3,97	5,89 ± 0,74	22,00
CCP-TR300	0,02 ± 0,01	37,13 ± 0,49	56,93 ± 1,15	5,91 ± 1,04	26,51

O tratamento de torrefação diminuiu significativamente o teor de umidade da biomassa; à medida que aumentamos o grau de severidade da torrefação, o processo caracteriza uma desidratação do material até atingir a composição do carvão. É a partir da fragmentação dos grupos hidroxila da celulose e hemicelulose que o material adquire a condição de hidrofóbico, pois as moléculas de água terão impedimento para formar pontes de hidrogênio. O teor de cinzas representa a matéria inorgânica remanescente após a combustão da biomassa. A casca da castanha do Pará apresentou uma faixa de 5,89-6,51%, sendo considerado uma biomassa com baixo teor de matéria inorgânica. Um aumento na temperatura de torrefação resultou em aumento no conteúdo de carbono fixo, esse crescimento é em função da perda de umidade e dos compostos voláteis que continha oxigênio e hidrogênio, como metanol, ácido cético, monóxido e dióxido de carbono. O aumento no poder calorífico corresponde a um aumento da densidade energética, que é a propriedade que quantifica a capacidade de um dado volume de biomassa em gerar energia.

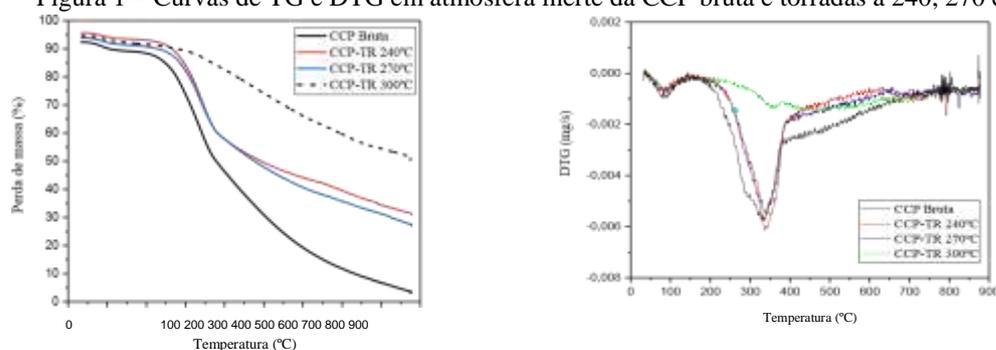
O comportamento termogravimétrico, ou seja, a perda de massa com o aumento da temperatura das amostras de Casca de castanha do Pará bruta e torradas (240, 270 e 300°C) foram avaliadas em atmosfera inerte e oxidante. As curvas de TG (perda de massa) foram derivadas obtendo o DTG (taxa de perda de massa) que fornece as informações da primeira derivada da variação de massa em relação ao tempo e temperatura. As curvas de TG e DTG em atmosfera inerte (gás nitrogênio) obtidas para as amostras de Casca de castanha do Pará bruta e torradas são mostradas nas Figuras 1 e 2.

Pode ser observado por meio das curvas de TG (Figura 1) que a perda de massa ocorre em quatro etapas. Uma pequena perda de massa observada em temperatura inferior a 100°C pode ser atribuída a perda de umidade e a degradação de compostos orgânicos leves. A segunda perda de massa ocorre na faixa de 200-250°C devido a degradação da hemicelulose. A terceira ocorre na faixa de 250-350°C devido a decomposição da celulose. E a quarta perda de massa é observada entre 300-600°C característica da decomposição de lignina.

A curva de TG da amostra CCP bruta cai rapidamente com o aumento da temperatura em consequência a maior quantidade de voláteis na biomassa. Em contraste a curva de TG da amostra CCPTR300 apresenta maior quantidade de carbono. As perdas de massa das amostras CCP Bruta, CCPTR240, CCPTR270

e CCPTR300 foram de 99,8%, 70,0%, 72,5% e 50,0%, respectivamente, indicando que quanto mais alta a temperatura de torrefação, a decomposição de compostos orgânicos é mais intensa quando comparada a amostra CCP bruta (XIN et al. 2018). O aumento da temperatura de torrefação causou uma suavização das curvas de TG das amostras torradas, principalmente para amostra CCPTR300, onde não é possível detectar degradação de hemicelulose.

Figura 1 – Curvas de TG e DTG em atmosfera inerte da CCP bruta e torradas a 240, 270 e 300°C.

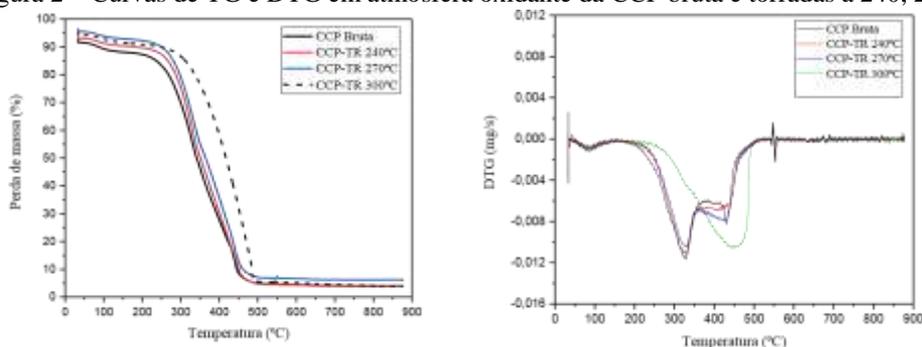


Nas curvas DTG, a temperatura da taxa máxima de perda de massa aumentou com a temperatura de torrefação. Enquanto isso, dois picos de perda de massa em 100°C e 350°C foram observados nas curvas de DTG em atmosfera inerte. O primeiro pico é observado a partir de 50°C e intensificado aos 100°C sendo associado à evaporação de água, o mesmo comportamento foi constatado nos estudos de Yang (2019) e Slopiecka (2012) para a palha de milho e a madeira, respectivamente. A perda de umidade foi mais significativa para a biomassa bruta quando comparada as amostras torradas. A menor quantidade de umidade observada para as amostras torradas ocorre devido a modificação da composição das amostras durante o processo de torrefação e tornando a biomassa hidrofóbica.

O segundo pico de perda de massa observado em 250°C. De acordo com Nunes et al. (2018) a hemicelulose é degradada completamente em torno de 245°C, enquanto a celulose inicia a degradação aos 240°C e finaliza em 300°C. Portanto, o segundo pico de perda de massa é característico da degradação de primeiramente hemicelulose e compostos orgânicos extrativos, e posteriormente, devido a degradação de celulose. Em 300°C e acima a celulose sofreu desidratação, descarboxilação e aromatização (XIN et al. 2018).

O terceiro pico de perda de massa da DTG é observado com início em ~400°C devido a decomposição da lignina. A carbonização contínua até uma temperatura elevada (> 580°C) com uma pequena perda de massa. A biomassa torrada à 300°C não apresentou picos significativamente acentuados nas curvas de TG e DTG. Segundo Martínez et al. (2018) quando a torrefação é do tipo severa (300°C ou mais) a decomposição da hemicelulose, celulose e lignina acontecem simultaneamente, dificultando a separação dos fenômenos envolvidos.

Figura 2 – Curvas de TG e DTG em atmosfera oxidante da CCP bruta e torradas a 240, 270 e 300°C.



As análises realizadas em atmosfera oxidante e inerte apresentaram eventos térmicos em regiões próximas, mas com intensidade e perda de massa distintas; a evaporação da água formou um pico menos acentuado, o evento pode ter ocorrido mais rapidamente; a primeira região de perda de massa acontece entre 200-300°C faixa em que a hemicelulose e celulose são degradadas, o segundo pico ocorre 300-500°C em que todas as amostras mostraram perda de massa em potencial, como a atmosfera leva à combustão, observa-se a degradação da celulose e lignina até às cinzas em todas as amostras. A partir da DTG nota-se que o pico de perda de massa da CCP torrada à 300°C foi maior que as outras amostras, possivelmente por possuir menor quantidade de hemicelulose e celulose e maior percentagem de lignina.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A torrefação demanda menor gasto energético e foi capaz de produzir um carvão vegetal de boa qualidade, livre de umidade e voláteis leves, fatores estes que tornam o processo de torrefação um prétratamento da biomassa atrativo. O aumento da temperatura de torrefação causou um aumento da concentração de carbono fixo, o que levou a um maior poder calorífico nas condições de maior temperatura (300°C). A diminuição da concentração de voláteis e aumento do conteúdo de cinzas também foi consequência do crescente aumento das temperaturas de torrefação. Não foram observadas grandes diferenças entre as concentrações de carbono fixo obtidas para as amostras torradas nas temperaturas de 240 e 270°C, assim, a amostra torrada na temperatura de 240°C foi considerada a condição ótima de torrefação da casca de Castanha do Pará. As análises termogravimétricas em atmosfera oxidante indicaram que as amostras torradas podem ser aplicadas em processos de combustão com alta liberação de energia, pois a umidade e voláteis de baixo poder calorífico foram eliminados na torrefação. As análises em atmosfera inerte mostraram que a pirólise consegue potencializar a densificação energética, eliminando maior quantidade de voláteis e concentrando a massa de carbono que é a massa remanescente do processo. Desta forma, o processo de pirólise terá maior eficiência e menor gasto energético para produção de um carvão de alta qualidade.

REFERÊNCIAS

- XIN, S. et al. Effect of torrefaction on the pyrolysis characteristics of high moisture herbaceous residues. *Energy*, v.152, p.586-593. 2018
- YANG, Y. et al. A Fundamental Research on Synchronized Torrefaction and Pelleting of Biomass. *Renewable Energy*, 2019. doi: 10.1016/j.renene.2019.04.112
- MADANAYAKE, B.N.; GAN, S.; EASTWICK, C.; NG, H.K., Biomass as an energy source in coal co-firing and its feasibility enhancement via pre-treatment techniques. *Fuel Processing Technology* 159, p. 287–305, 2017.
- ROUSSET, P.; AGUIAR, C.; LABBÉ, N.; COMMANDRÉ, J-M., Enhancing the combustible properties of bamboo by torrefaction. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 8225–8231, 2011.
- TUMURLU, J.S.; SOKHANSANJ, S.; WRIGHT, C.T.; BOARDMAN, R.D.; HESS, J.R., Review on biomass torrefaction process and product properties and design of moving bed torrefaction system model development. *ASABE Annual International Meeting*, Louisville, Kentucky, 2011.
- DOASSANS-CARRÈRE, N; MULLER, S; MITZKAT, M. REVE: Versatile Continuous Pre/Post-Torrefaction Unit for Pellets Production. *Springer Fachmedien Wiesbaden*, p.163-170, 2015.
- MARTÍNEZ, M.G. et al. Impact of biomass diversity on torrefaction: Study of solid conversion and volatile species formation through an innovative TGA-GC/MS apparatus. *Biomass and Bioenergy*. v. 119, p. 43-53, 2018.