



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

# EFEITO DO PROCESSO DE TORREFAÇÃO EM SERRAGEM DE EUCALIPTO

KLAFKE A.F., TRIERWEILER L.F.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química  
E-mail para contato: andrefk@enq.ufrgs.br; luciane@enq.ufrgs.br

**RESUMO** – *O setor florestal brasileiro gerou cerca de 47,8 milhões de toneladas de biomassa residual no ano de 2016, onde 9,3 milhões foram destinados à queima para produção de energia elétrica. Porém, existem outros destinos para esse resíduo, como a utilização em biorrefinarias. Dentre os processos de conversão, a pirólise rápida se destaca por gerar altos rendimentos de bio-óleo. Porém, o bio-óleo apresenta propriedades físico-químicas que dificultam sua utilização, como instabilidade, pH ácido, alto teor de água e baixo poder calorífico. A utilização de biomassa torrada como matéria-prima é uma opção para melhorar as propriedades do bio-óleo gerado já que a torrefação remove compostos prejudiciais e água do bio-óleo, facilita a moagem da biomassa, aumenta a resistência da biomassa a ataques microbiológicos e reduz a higroscopicidade da biomassa. Neste trabalho utilizou-se a serragem de *Eucalyptus grandis*. Esse material foi seco, torrado a três temperaturas (220 °C, 250 °C e 280 °C). Análises elementar e termogravimétrica foram realizadas na biomassa e indicaram que o processo de torrefação é capaz de reduzir os teores de água, hemiceluloses e oxigênio na sua composição.*

## 1. INTRODUÇÃO

Biorrefinarias são plantas industriais que visam converter biomassa em produtos e intermediários químicos de valor agregado, combustíveis e energia. Os resíduos do setor florestal, principalmente da indústria de celulose e papel, são uma opção promissora para utilização como biomassa nas biorrefinarias. As rotas tecnológicas geralmente utilizadas são bioquímicas, químicas e termoquímicas (Borges, 2010).

Dentre os processos termoquímicos a pirólise rápida (temperatura da reação entre 500 e 600°C) se destaca por gerar altos rendimentos de bio-óleo, um produto líquido muito atrativo comercialmente por ser mais fácil de transportar e mais denso do que a biomassa que o originou, além de conter inúmeros produtos químicos de valor agregado e poder ser utilizado como combustível (Bridgwater, 1999). Porém, o bio-óleo apresenta propriedades físico-químicas que dificultam sua utilização, como instabilidade, pH ácido, alto teor de água e alto teor de oxigênio (que reduz seu poder calorífico) (Bridgwater, 2012). A acidez do bio-óleo advém principalmente da decomposição das hemiceluloses, cuja decomposição ocorre entre 200 e 260°C (Mohan et al., 2006). A torrefação é um processo termoquímico que utiliza temperaturas entre 200°C e 300°C gerando um material intermediário entre madeira e carvão e é recomendada como pré-tratamento de biomassa, antes da sua utilização em processos



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

termoquímicos como a pirólise rápida. O tratamento por torrefação remove compostos prejudiciais e água do bio-óleo, facilita a moagem da biomassa, aumenta a resistência da biomassa a ataques microbiológicos e reduz a higroscopicidade da biomassa (Almeida et al., 2009; Bergman et al., 2005; Prins et al., 2006a). A temperatura utilizada na torrefação ocorre principalmente a decomposição das hemiceluloses, dando origem a maior quantidade de voláteis, menos alcatrão e menos biochar que a celulose. Esta decomposição térmica das hemiceluloses é responsável por grande parte do ácido acético liberado da biomassa durante a pirólise, atribuída a desacetilação das hemiceluloses. Em menores quantidades, são produzidos levoglucosano e furfural (Mohan et al., 2006). Nesse cenário, o objetivo do presente trabalho é analisar a torrefação como pré-tratamento de serragem de eucalipto, que posteriormente será processada via pirólise rápida.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse estudo foi utilizada a serragem de *Eucalyptus grandis* proveniente dos picadores da empresa Celulose Riograndense (Guaíba-RS). Inicialmente a serragem foi seca em estufa à 100°C por 24h, tempo necessário para remover toda a água livre. Após a secagem das amostras, estas foram torradas em um sistema com um cilindro metálico encamisado, com aberturas cilíndricas onde as amostras foram colocadas; sistema de aquecimento por óleo; sistema de controle de temperatura; sistema de injeção de nitrogênio gasoso (para evitar a combustão da biomassa) e tampa com a devida vedação; entrada de nitrogênio; e saída de gases. As torrefações foram conduzidas a 220°C, 250°C e 280°C, permitindo a análise da influência da temperatura no processo. O tempo de torrefação utilizado foi de 45 min após atingir a temperatura alvo (Araújo et al., 2016; Arteaga-Pérez et al., 2015; Doddapaneni et al., 2016; Pinto et al., 2017; Rodrigues e Rousset, 2009). Para estudar os efeitos da torrefação na biomassa foram realizadas duas análises para caracterizá-la: análise termogravimétrica e análise elementar. Em conjunto, essas análises ajudam a entender a influência da torrefação e sua temperatura na estrutura macro e elementar da biomassa. A análise termogravimétrica (TGA – Thermogravimetric Analysis) foi realizada em uma termobalança Q50 (TA Instruments). Foram utilizadas amostras de aproximadamente 15 mg e rampas de aquecimento de 30 °C/min até 110 °C, mantida nessa temperatura por 10 minutos, e de 20 °C/min até 600 °C, mantida nessa temperatura por 10 minutos. O gás de arraste utilizado foi o nitrogênio a vazão de aproximadamente 40 L/min. A análise elementar foi realizada em um analisador Thermo EA112 CHNS/O, onde o conteúdo de oxigênio foi calculado por diferença.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perda de massa observada para as torrefações nas temperaturas de 220, 250 e 280°C foram de 4,56 %, 13,80 % e 26,12 %, respectivamente. Conforme esperado, houve aumento da perda de massa com o aumento da temperatura. Na Figura 1 pode-se observar que o aumento da temperatura de torrefação causou uma redução na quantidade de água contida na serragem de eucalipto, na região de 50 °C a 110 °C. A serragem seca apresentou conteúdo de água de aproximadamente 7%, enquanto as serragens torradas a 250°C e 280°C apresentaram aproximadamente 3%. Pode-se observar que o aumento da temperatura de torrefação causa uma redução na perda de massa na região de 225°C a 350°C, indicando que a torrefação foi capaz de retirar compostos da serragem de eucalipto que se decompõem a temperaturas mais baixas, em sua maioria compostos ácidos leves (Prins et al., 2006b). A Tabela 1 apresenta a média dos resultados da análise elementar realizada na serragem de eucalipto, onde foram

realizadas de 3 a 4 análises por amostra. Pode-se notar que a razão O/C diminui com o aumento da temperatura de torrefação, indicando que o processo de torrefação foi eficiente em retirar compostos oxigenados da biomassa. Segundo Lu et al. (2009), a maior parte do oxigênio contido na biomassa estará no seu bio-óleo gerado pelo processo de pirólise rápida. Como visto anteriormente, a presença de oxigênio no bio-óleo é responsável por seu baixo poder calorífico, sua corrosividade, sua instabilidade e sua polaridade (propriedade que impede a mistura do bio-óleo com combustíveis de petróleo apolares) (Lu et al., 2009; Oasma et al., 2010a).

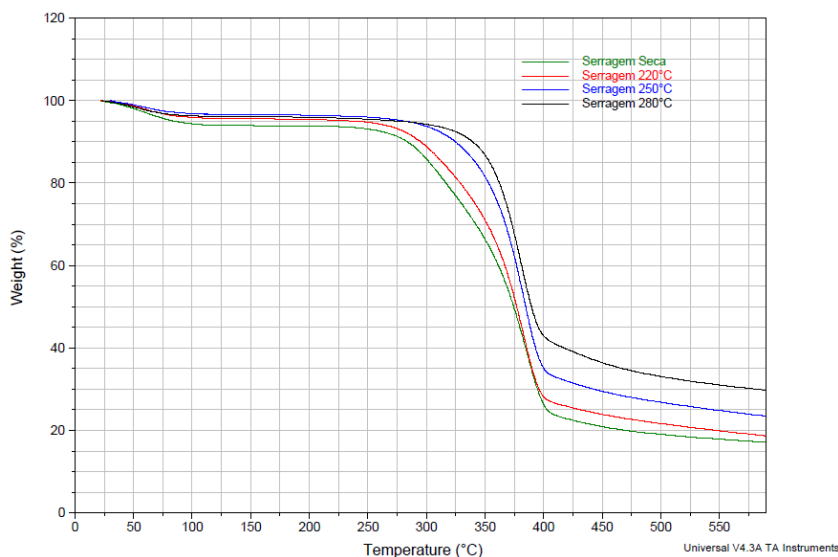


Figura 1: Resultado do TGA da serragem de eucalipto.

Tabela 1: Resultados da análise elementar da serragem de eucalipto.

| Temperatura de Torrefação [°C] | Sem Torrefação | 220   | 250   | 280   |
|--------------------------------|----------------|-------|-------|-------|
| Carbono [%]                    | 49,52          | 51,78 | 53,18 | 58,92 |
| Hidrogênio [%]                 | 5,86           | 5,69  | 5,90  | 5,24  |
| Nitrogênio [%]                 | 0,38           | 0,10  | 0,72  | 1,75  |
| Oxigênio [%]                   | 44,24          | 42,44 | 40,19 | 34,09 |
| O/C                            | 0,89           | 0,82  | 0,76  | 0,58  |
| PCS*[MJ/kg]                    | 18,06          | 18,89 | 19,92 | 21,69 |

\*Calculado segundo Demirbaş (1997).

#### 4. CONCLUSÕES

A biomassa torrada apresentou teores menores de água em comparação com a não torrada e menores razões O/C (reduzindo o teor de oxigênio no bio-óleo gerado no processo de pirólise rápida). A biomassa torrada também apresentou teores menores de hemiceluloses, facilitando sua moagem devido à destruição parcial da estrutura fibrosa. Adicionalmente, a biomassa torrada pode ser armazenada por mais tempo, pois a redução no teor de água



XXII CONGRESSO  
BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
23 a 26 de Setembro de 2018  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP



XVII ENCONTRO BRASILEIRO  
SOBRE O ENSINO DE  
ENGENHARIA QUÍMICA  
27 a 28 de Setembro de 2018  
USP  
São Paulo – SP

diminui a chance de ataques microbiológicos e a redução de hidroxilas disponíveis provenientes das hemiceluloses reduz sua higroscopicidade. Por outro lado, o processo de torrefação reduz significativamente a massa das amostras quando utilizadas altas temperaturas (26,12% para serragem torrada a 280 °C), a 220 °C e 250 °C a perda de massa pode ser considerada aceitável (4,56% para torrefação a 220 °C e 13,80% para torrefação a 250 °C).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.; OTÁVIO BRITO, J.; PERRE, P. Changes in wood-water relationship due to heat treatment assessed on micro-samples of three Eucalyptus species. v. 63. 2009.

ARAÚJO, S.; BOAS, M. A. V.; NEIVA, D. M.; et al. Effect of a mild torrefaction for production of eucalypt wood briquettes under different compression pressures. Biomass and Bioenergy, v. 90, p. 181–186, 1 jul. 2016.

ARTEAGA-PÉREZ, L. E.; SEGURA, C.; ESPINOZA, D.; et al. Torrefaction of Pinus radiata and Eucalyptus globulus: A combined experimental and modeling approach to process synthesis. Energy for Sustainable Development, v. 29, p. 13–23, 1 dez. 2015.

BERGMAN, P. C. A.; BOERSMA, A. R.; KIEL, J. H. A.; et al. Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass. Report: ECN-C--05-067. Petten, The Netherlands: ECN, 2005, 2005.

BORGES, F. C. Proposta de Um Modelo Conceitual de Biorrefinaria Com Estrutura Descentralizada. UFRGS, 2010.

BRIDGWATER, A. V. Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 51, n. 1, p. 3–22, 1999.

BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy, v. 38, n. Supplement C, p. 68–94, 2012.

DEMIRBAŞ, A. Calculation of higher heating values of biomass fuels. Fuel, v. 76, n. 5, p. 431–434, 1997.

DODDAPANENI, T. R. K. C.; KONTTINEN, J.; HUKKA, T. I.; et al. Influence of torrefaction pretreatment on the pyrolysis of Eucalyptus clone: A study on kinetics, reaction mechanism and heat flow. Industrial Crops and Products, v. 92, p. 244–254, 15 dez. 2016.

LU, Q.; LI, W.-Z.; ZHU, X.-F. Overview of fuel properties of biomass fast pyrolysis oils. Energy Conversion and Management, v. 50, n. 5, p. 1376–1383, 2009.

MOHAN, D.; PITTMAN CHARLES U.; STEELE, P. H. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Energy & Fuels*, v. 20, n. 3, p. 848–889, 2006.

OASMAA, A.; ELLIOTT, D. C.; KORHONEN, J. Acidity of Biomass Fast Pyrolysis Bio-oils. *Energy & Fuels*, v. 24, n. 12, p. 6548–6554, 16 dez. 2010.

PINTO, F.; GOMINHO, J.; ANDRÉ, R. N.; et al. Improvement of gasification performance of Eucalyptus globulus stumps with torrefaction and densification pre-treatments. Fuel, v. 206, p. 289–299, 15 out. 2017.

PRINS, M. J.; PTASINSKI, K. J.; JANSSEN, F. J. J. G. Torrefaction of wood. Part 1. Weight loss kinetics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 77, n. 1, p. 28–34, 1 ago. 2006a.

PRINS, M. J.; PTASINSKI, K. J.; JANSSEN, F. J. J. G. Torrefaction of wood. Part 2. Analysis of products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 77, n. 1, p. 35–40, 1 ago. 2006b.

RODRIGUES, T. O.; ROUSSET, P. L. A. EFFECTS OF TORREFACTION ON ENERGY PROPERTIES OF Eucalyptus grandis WOOD. CERNE; Vol 15 No 4 (2009), 19 maio 2009.