



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR DURANTE A PIRÓLISE DA MADEIRA

Márcia Silva de Jesus¹

Alfredo Napoli²

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro³

Ana Clara Caxito de Araújo⁴

Luciano Junqueira Costa¹

Larissa Carvalho Santos⁵

Fabiana Paiva de Freitas¹

Juliana Ceccato Ferreira⁶

¹ Universidade Federal de Viçosa

² Outros

³ UFV -DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL / Universidade Federal de Viçosa

⁴ Departamento de Ciências Florestais / Universidade Federal de Lavras

⁵ Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Florestal

⁶ Universidade Federal de Goiás



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR DURANTE A PIRÓLISE DA MADEIRA

Resumo: O objetivo desse estudo foi obter o perfil térmico da madeira de *Eucalyptus urophylla* durante carbonização, utilizando um equipamento piloto de pirólise - Macro ATG. O experimento foi realizado com a madeira de *Eucalyptus urophylla*, 6 anos de idade, 30 cm de comprimento, 12 cm de diâmetro e 13% de umidade. As condições experimentais foram, temperatura final de 500 °C e taxa de aquecimento de 5 °C min⁻¹; atmosfera de gás nitrogênio. Foram inseridos os termopares, com o objetivo de acompanhar o processo de transferência térmica no material sólido. A variação térmica observada entre a superfície e o centro da madeira pode atingir até 120 °C de diferença. Ao atingir 500 °C na superfície do sólido, o centro encontra-se a 485 °C. Dessa forma, conclui-se que há formação de gradiente de temperatura entre a superfície e o centro do material sólido durante a pirólise, sendo que, no centro, a elevação da temperatura é um processo mais lento, principalmente se houver efeito da umidade.

Palavras-chave: Macro ATG, pirólise, carvão vegetal.

Abstract: The objective of this study was to determine the thermal gradient of a wood of *Eucalyptus urophylla* during the slow pyrolysis, from a pilot pyrolysis equipment - Macro ATG. The experiment was carried out with a 6-year-old *Eucalyptus urophylla* wood filler, 30 cm IN length, 12 cm in diameter and 13% moisture. The experimental conditions were: final temperature of 500 oC and heating rate of 5 °Cmin⁻¹ in nitrogen atmosphere. The thermocouples were inserted in order to follow the heat transfer process in the solid material. The thermal variation observed between the surface and the center of the wood can reach up to 120 °C of difference. When it reaches 500 °C on the surface of the solid, the center is at 485 °C, which means that the temperature variation tends to become more uniform at the end of the process. Thus, it is concluded that there is a temperature gradient formation between the surface and the center of the solid material during the pyrolysis, and that in the center, the elevation of temperature is a slower process, especially if there is moisture effect.

Keywords: Macro ATG, pyrolysis, charcoal.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

1. INTRODUÇÃO

A carbonização consiste na degradação térmica da biomassa, na ausência ou presença controlada de oxigênio / ar, formando carvão vegetal, alcatrão e outros compostos orgânicos e compostos gasosos - H_2 , CO_2 , CO , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 . O entendimento dos mecanismos químicos e físicos que ocorrem durante esse processo é de fundamental importância, para otimizá-lo em escala industrial.

Atualmente, há um grande interesse em desenvolver modelos que consigam representar de forma mais coerente a realidade dos mecanismos e fenômenos da pirólise. Porém, ainda pouco se conhece a respeito, principalmente, pela dificuldade em acompanhar a variação de temperatura, transferência de calor e perda de massa no interior do sólido, durante o processo (CHAN et al., 1985; DUFOUR et al., 2011; TURNER et al., 2010).

No Brasil, grande parte das unidades produtoras de carvão vegetal realizam o processo em fornos de alvenaria, que muitas vezes é baseado em fatores subjetivos, tais como coloração da fumaça e temperatura externa do forno sentida pelo tato das mãos (ARRUDA et al., 2011). Além disso, ainda existem muitas dificuldades no controle das emissões de gases poluentes, o que afeta, diretamente, a saúde dos trabalhadores e áreas vizinhas (GOMES; ENCARNAÇÃO, 2012). Segundo Peláez-Samaniego et al. (2008), no uso de fornos de alvenaria, cerca de 20% em massa de madeira são perdidas para gerar energia e manter o processo e 60% aproximadamente, são convertidas em gases e vapores.

Nos moldes tradicionais, as experimentações são realizadas em microscópicas estruturas sólidas, com posterior análise dos fenômenos de forma isolada. Todavia, sabe-se que a decomposição térmica da madeira é um processo complexo que envolve reações termoquímicas, absorção e liberação de energia a partir de reações endo e exotérmicas, evaporação e transporte de gases (Di BLASI, 2008) que ocorrem de forma não uniforme e simultânea. Principalmente, quando consideramos a rotina de uma unidade de produção. O interessante seria, o estudo do processo com maiores unidades amostrais ou corpos de prova, de forma a simular um pouco mais a realidade.

Segundo Leckner (2007) quando uma partícula se submete a transferência de calor a partir de uma fonte externa, ocorre nessa mesma partícula uma cadeia de transformações físicas e químicas. Em paralelo, há uma também transferência de massa. Esses fenômenos em grande parte podem ser explicados pelo gradiente térmico formado no sentido da superfície para o centro do material sólido.

Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas mais eficientes que busquem melhor entender e explicar os fenômenos térmicos e químicos que controlam a conversão da madeira em carvão vegetal, principalmente quando se considera o processo de transferência de calor e a formação de gradientes térmicos. Assim o objetivo do trabalho foi obter o perfil térmico da madeira de *Eucalyptus urophylla* durante carbonização, utilizando um equipamento piloto de pirólise - Macro ATG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A carbonização foi realizada no forno Macro ATG (Figura 1). Desenvolvido no La recherche agronomique pour le développement – CIRAD, França.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

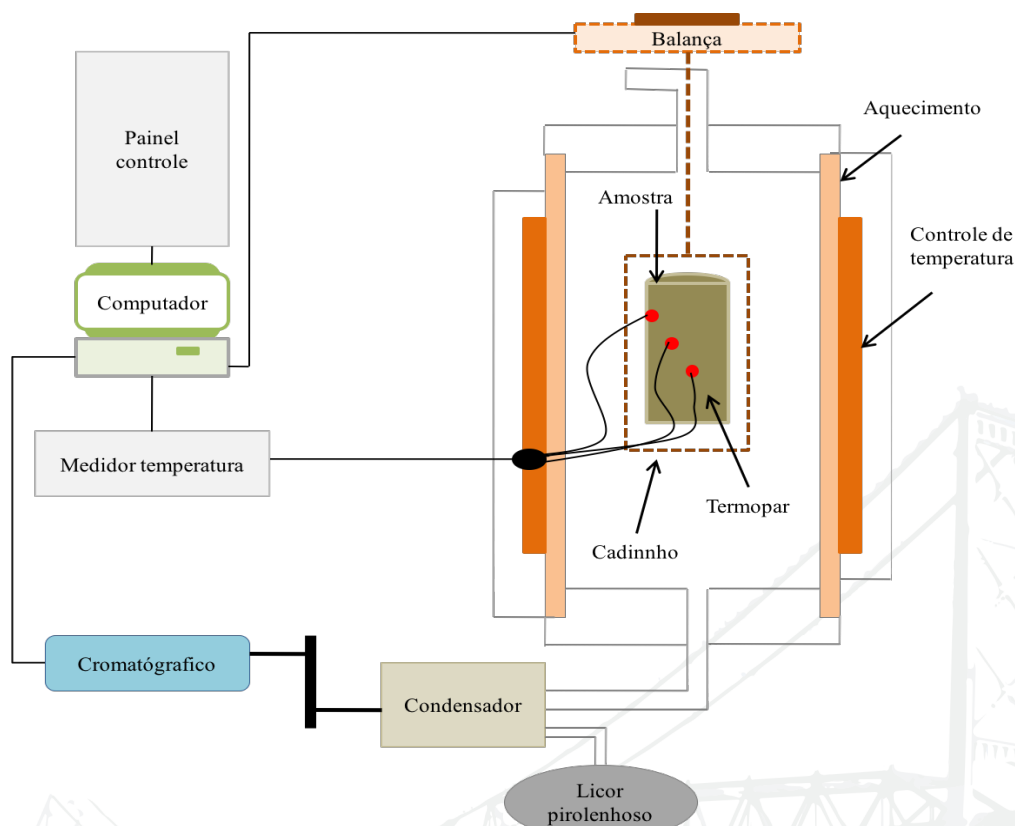


Figura 1. Esquema do forno Macro ATG.

O experimento foi realizado com um torete de madeira de *Eucalyptus urophylla*, de 6 anos de idade, 30 cm de comprimento, 12 cm de diâmetro e umidade de 13%.

As condições experimentais para a pirólise foram:

- Temperatura inicial: 40 °C (15 min);
- Temperatura final: 500 °C com patamar de residência de 3 h;
- Taxa de aquecimento: 5 °C min⁻¹;
- Atmosfera: gás nitrogênio (N₂), com fluxo de 0 - 2,5 NL min⁻¹ (normal litro por minuto)
- Período de resfriamento de 8h.

Foi inserido na madeira três termopares, cuja disposição é do sentido da superfície para o centro da peça, conforme demonstrado na figura 2. Para isso, foram abertos pequenos orifícios com o auxílio de uma furadeira. Nesses orifícios, foram inseridos os termopares, com o objetivo de acompanhar o processo de transferência térmica no material sólido durante toda a pirólise.

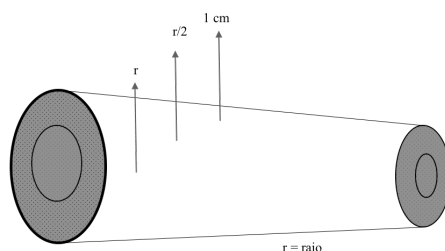


Figura 2. Representação esquemática do posicionamento dos termopares nos toretes de madeira de *Eucalyptus urophylla*.

O controle dos testes foi realizado, a partir de um *software* denominado *Macro Thermogravimetric*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A formação dos gases ocorre de forma não uniforme na madeira sequencialmente ao aquecimento, secagem e a desvolatilização (THUNMAN; LECKNER, 2007), explicados pelo processo de transferência térmica. Assim, ao observamos a Figura 3 é verificado que a variação de temperatura entre a superfície e o centro tende a se intensificar a medida que temperatura aumenta, até atingir 485 °C no centro.

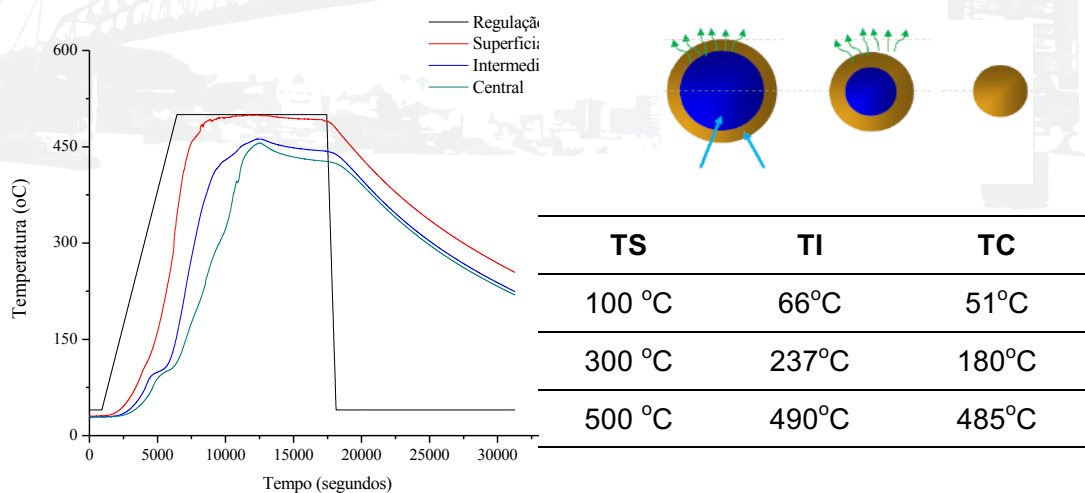


Figura 3. Gradiente térmico formado na madeira de *Eucalyptus urophylla* duante a pirólise.

Ao atingir 300 °C na superfície do sólido, o centro encontra-se a 180 °C, cuja diferença é de 120 °C. A variação térmica observada na madeira pode ser explicada



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

em consequência à sua má condução em calor, o que influencia o processo de transferência. De acordo com Kollman e Côté Júnior (1968), a má condução de energia deve-se a estrutura porosa e pobre em elétrons livres (responsáveis pela rápida transmissão de energia) presentes nessa matéria-prima.

O gradiente térmico no centro se intensificar a partir do momento que a água evapora. As etapas de aquecimento e secagem são essenciais para que haja aumento na temperatura da madeira e favoreça o processo de desvolatilização. Essas etapas ocorrem mais rapidamente na superfície. No centro, a elevação da temperatura se torna demorado, em decorrência da condução de calor ser dificultada pela própria matéria-prima, que é má condutora e intensificada pelo processo de secagem, justificando a expressiva variação térmica, no intervalo de 100 a 300 °C.

Ao atingir 500 °C na superfície do sólido, o centro encontra-se a 485 °C, isso significa que a variação térmica foi inferior a 3% nesse sentido, sendo esse um fato esperado. Outra possível explicação está relacionada à variação de densidade do carvão com o aumento de temperatura. Segundo Babu e Chaurasia (2004), durante a pirólise o volume ocupado pelo sólido (madeira e carvão) e voláteis (gases e alcatrão), tende a mudar, continuamente e como resultado dessa reorganização química, a densidade do carvão pode aumentar, em decorrência das contrações que ocorrem no material, isso provoca um gradiente de temperatura mais intenso e facilita a transferência de calor para o centro da peça. Quando o processo atinge temperaturas acima de 400 °C, a contração no material é maior que a perda de massa (SLOCUM et al., 1978), diminuindo a área de espaço vazio (poro), o que favorece a transferência de calor e a variação de temperatura entre a superfície-centro tende a ficar mais uniforme. Kanury e Blackshear (1970) alegam também que, após a formação da zona de carvão, não há mais o intenso escoamento de gases e a transferência térmica é facilitada por condução por meio do carvão.

4. CONCLUSÕES

Há formação de um gradiente de temperatura entre a superfície e o centro da madeira durante a carbonização. A diferença em temperatura entre superfície e o centro pode atingir até 120 °C.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CIRAD, CNPq, a Fapemig, a UFLA, a UFV e a Capes pelo apoio prestado ao desenvolvimento deste trabalho

6. REFERÊNCIAS

ARRUDA, T. P. M. et al. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 949-955, Apr. 2011.

BABU, B. V.; CHAURASIA, A. S. Heat transfer and kinetics in the pyrolysis of shrinking biomass particle. **Chemical Engineering Science**, v. 59, n. 10, p. 1999-2012, Jan. 2004.

CHAN, W. C. R.; KELBON, M.; KRIEGER, B. B. Modelling and experimental verification of physical and chemical processes during pyrolysis of a large biomass

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

particle. **Fuel**, v. 64, n. 1, p. 1505-1513, Dec. 1985.

DI BLASI, C. Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, n. 1, p. 47–90, Dec. 2008.

DUFOUR, A. et al. Modelling intra-particle phenomena of biomass pyrolysis. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 89, n. 10, p. 2136–2146, Sept. 2011

GOMES, G. M. F.; ENCARNACAO, F. The environmental impact on air quality and exposure to carbon monoxide from charcoal production in southern Brazil. **Environmental Research**, New York, v. 116, n. 4, p. 136-139, Mar. 2012.

KANURY, A. M.; BLACKSHEAR, P. L. Some considerations pertaining the problem of wood burning. **Combustion Science and Technology**, v. 2, n. 3-4, p. 339-355, Mar. 1970.

KOLLMAN, F.; CÔTÉ JÚNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology. I- Solid wood**. New York: Springer Verlag, 1968. 592 p.

PELÁEZ-SAMANIEGO, M. R. et al. Improvements of Brazilian carbonization industry as part of the creation of a global biomass economy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v.12, n.4, p. 1063–1086, Oct. 2008.

SLOCUM, D. H.; MCGINNIS JÚNIOR, E. A.; BEALL, F. C. Charcoal yield, shrinkage, and density changes during carbonization of oak and hickory woods. **Wood Science**, New York, v. 11, n. 1, p. 42-47, Mar. 1978.

TURNER, I. et al. An experimental and theoretical investigation of the thermal treatment of wood (*Fagussylvatica* L.) in the range 200–260 C. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 53, n. 4, p. 715-725, Nov. 2010.

THUNMAN, H.; LECKNER, B. **Thermo chemical conversion of biomass and wastes**. Chalmers: [s.n.], 2007. 334 p.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

