III CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER - PDVAGRO 2018

EFEITO DA UMIDADE E DA ACÚSTICA NA TORREFAÇÃO DE *Pinus elliottii*

EFFECT OF ACOUSTICS ON TORREFACTION OF *Pinus elliottii*

Apresentação: Pôster

Myla Medeiros Fortes¹; Eder Pereira Miguel²; Bruno Sant`Ana Chaves³; Ícaro Renã Alves Moureira Nery⁴; Ailton Teixeira do Vale⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00449>

Introdução

A biomassa por ser heterogênea, higroscópica, ter baixo teor de carbono fixo e densidade apresenta baixa eficiência energética no processo de combustão e, por isto, necessita de pré-tratamento, como a torrefação, para melhorar sua qualidade. A torrefação é um tratamento térmico a temperaturas relativamente baixas, até 300°C, que visa produzir um combustível com maior densidade energética (CHEN et al., 2015). Associada à torrefação, a acústica pode aumentar as taxas de transferência de calor convectiva, observados em processos termo-acústicos (ZHOU et al., 2002; BENNETT et al., 2009). O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da acústica e da umidade no processo de torrefação de madeira de *Pinus elliottii*.

Fundamentação Teórica

A biomassa poder ser submetida a diversos processos de conversão transformando-se em outros combustíveis, no entanto, é essencial que a tecnologia de transformação torne a biomassa um combustível competitivo nos mercados energéticos. Um método proposto é a torrefação, a qual é realizada a baixas temperaturas e gera melhorias nas características energéticas da biomassa. Associada à acústica a torrefação pode modificar a transferência de calor dentro da amostra, provocando uma maior degradação do material com menor consumo

¹ Doutoranda em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, medeirosmyla@gmail.com

² Doutor em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, miguelederpereira@gmail.com

³ Mestrando em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, bruno.chaves@florestal.gov.br

⁴ Mestrando em Ciências Florestais, Universidade Estadual Paulista, icaronery@icloud.com

⁵ Professor Doutor, Universidade de Brasília, ailton.vale@gmail.com

de energia. Além da metodologia utilizada, o controle da qualidade da biomassa é de suma importância, pois ela apresenta elementos que podem favorecer a formação de compostos durante sua transformação. Neste sentido um elemento que deve ser controlado é a água (CANAL et al, 2016).

Metodologia

Foram utilizadas amostras de madeira orientadas, com dimensões de 3x3x3 cm, da espécie *Pinus elliottii* nas condições de 0% e 12% de umidade. Os materiais *in natura* e torreficado foram analisados quanto a densidade aparente, conforme a norma ABNT 9165 (1985), a compressão paralela às fibras conforme a norma ASTM D143/2000 com adaptação quanto às dimensões do corpo de prova, análise química imediata pela norma ABNT NBR 8112 (1986) e poder calorífico superior com base na norma ABNT NBR 8633 (1984).

Os ensaios de torrefação foram realizados em um reator que possibilita criações de diferentes rampas e patamares de aquecimento e análise das temperaturas dentro e na superfície da amostra. Os ensaios foram realizados com taxa de aquecimento de 5°C por min, temperatura final de 250°C e tempo na temperatura final de 60 minutos, conforme proposto por Rodrigues & Rousset (2009). As ondas acústicas foram geradas por um alto-falante localizado na parte superior e externa do reator, emitidas para um tubo que faz a conexão para dentro do reator por meio de uma abertura localizada na parte superior do reator, na frequência de 2478 hertz e amplitude constante de 10 volts (SILVEIRA et al. 2017).

A densidade energética foi calculada conforme a equação 01:

Equação 01:

$$DE = PCU * DA$$

Em que: DE = densidade energética (Mcal.m⁻³); PCI = poder calorífico inferior(kcal.kg⁻¹) na umidade “u”; DA = densidade aparente (kg.m⁻³) na umidade “u”.

O rendimento gravimétrico foi definido como sendo o rendimento em madeira torrificada ao final do processo de torrefação, conforme equação 02.

Equação 02;

$$RG: \frac{M_{torr}}{M_{seca}} * 100$$

Em que: RG = rendimento Gravimétrico (%), M torr = massa em material torreficado (kg) e M seca = massa de madeira seca a 0% de umidade (kg).

Considerou-se um arranjo fatorial de 2x2, cujos fatores foram: umidades – 0 e 12% e métodos de transformação: com e sem acústica. Os resultados dos ensaios foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para verificação dos efeitos significativos a 5% de

probabilidade de erro. As médias dos tratamentos foram comparadas, pelo teste Tukey.

Resultados e Discussões

Os resultados obtidos através das análises realizadas com as amostras torreficadas permitiram avaliar o efeito da acústica e da umidade. Para parâmetros de análise imediata não houve interação significativa entre os fatores, isoladamente o fator umidade apresentou diferença significativa para todos os parâmetros.

Conforme a Tabela 1, o tratamento a 12% de umidade apresentou os maiores valores de carbono fixo (30,57%) e cinzas (0,19) implicando em menor valor de materiais voláteis. Os baixos teores de cinzas diminuem as influências negativas sobre o poder calorífico (PINCELLI, 2011). Chen et al. (2016) observou maiores teores de cinzas em *Pinus sp.* torreficada a 250 °C, e a 280°C observaram teor de material volátil de 72,43% e carbono fixo de 29,26% próximos aos valores encontrados no tratamento de 12% de umidade. A presença de umidade na madeira favorece a formação de compostos devido a desaceleração do processo de degradação (CANAL et al, 2016).

Tabela 1. Comparação entre médias dos teores de carbono fixo e material volátil e cinzas de madeira torreficada de *Pinus elliottii*. Fonte: Própria

Umidade	Material Volátil (%)	Carbono Fixo (%)	Cinzas (%)
0%	73,9 a	25,94 b	0,15 b
12%	69,24 b	30,57 a	0,19 a

Obs: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

As características físicas (tensão máxima, rendimento gravimétrico e a perda de massa) não apresentaram interação significativa entre os fatores, havendo diferença significativa apenas para a umidade, quando analisada isoladamente.

A tensão máxima e o rendimento gravimétrico foram maiores para o tratamento a 0% de umidade, o que pode ser explicado pela menor perda de massa, conforme Tabela 2. Corroborando com esse estudo, Péres et al. (2015) encontraram rendimento gravimétrico de 84% para *Pinus radiata* torreficado a 250°C e Melkior et al. (2017) trabalhando com madeira do gênero *Pinus* torreficado a 245°C e 270°C obtiveram 11,4% e 20,9% em perda de massa, respectivamente. Sendo observado que nesse estudo o aumento de perda de massa foi devido a presença de umidade.

Tabela 2. Comparação entre médias das propriedades de perda massa e rendimento gravimétrico e Tensão

Máxima de material torreficado de *Pinus elliottii*. Fonte: Própria

Variáveis		Perda de massa (%)	Rendimento Gravimétrico (%)	Tensão Máxima (kgf/cm ³)
Umidade	0%	14,45 b	86,55 a	481,17 a
	12%	27,36 a	72,63 b	395,96 b

Obs: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

A densidade aparente e a densidade energética não apresentaram interação significativa entre os fatores umidade e acústica. Isoladamente a umidade teve influência significativa nos dois parâmetros, enquanto a acústica apenas na densidade aparente. Com inclusão da madeira não torreficada (Tabela 3), a densidade aparente apresentou-se significativamente maior para esta, com valor de $530,2 \text{ kg.m}^{-3}$ em relação à madeira tratada sem acústica ($461,1 \text{ kg.m}^{-3}$) e com acústica ($463,6 \text{ kg.m}^{-3}$) que não diferenciaram significativamente entre si. Observa-se que diminuição da densidade causada pela degradação térmica de seus constituintes químicos, principalmente as hemiceluloses.

Quanto à influência da umidade, o tratamento a 0% de umidade a madeira torreficada apresentou maior densidade aparente ($508,3 \text{ kg.m}^{-3}$) e maior densidade energética. A densidade aparente influencia diretamente a densidade energética, sendo essa menos influenciada pelo poder calorífico (VALE et al, 2017). Corroborando com esse estudo, Almeida & Dias (2016) observou valores de 480 e 540 kg/m^{-3} para densidade aparente da madeira *in natura* de *Pinus elliottii* e *Pinus oocarpa*, respectivamente. Järvinen& Agar (2014) em pellets de pinus torreficados a 255°C encontraram densidade aparente e energética de $633,8 \text{ kg.m}^{-3}$ e $3.010 \text{ Mcal.kg}^{-1}$, superiores as encontradas neste estudo por serem materiais densificados, na qual a densificação proporciona aumento de densidade aparente e energética.

Tabela 3. Comparação entre médias das propriedades de Densidade aparente e energética de material torreficado de *Pinus elliottii*. Fonte: Própria

Variáveis		Densidade aparente (kg/m ³)	Densidade energética (Mcal/kg)
Acústica	In natura	530,2 a	2220,8 a
	Sem	461,1 b	2283,0 a
	Com	463,6 b	2286,2 a
Umidade	0%	508,3 a	2407,2 a
	12%	461,67 b	2119,4 b

Obs: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Conclusões

Conforme os resultados, a análise de variância indica que a madeira torrificada do *Pinus elliottii* não sofreu influência do uso acústico, mas que a umidade da madeira durante o processo de torrefação gerou aumento do teor de carbono fixo, diminuição do teor de materiais voláteis e diminuição da resistência mecânica.

Referências

ALMEIDA, D. H. DE.; DIAS, A. A. Comparação de métodos de ensaio para determinação da resistência da madeira ao embutimento na direção paralela às fibras. **Rev. Árvore**, vol.40. 2016.

American Society For Testing And Materials. ASTM D-143:2000. Standard Methods Testing: Small Clear Specimens of Timber. USA. 2000. 57 p.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR 8112/86. Carvão vegetal – Análise imediata. São Paulo, SP, Brasil: Associação brasileira de normas técnicas. 1986.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR 8633/84. Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. São Paulo, SP, Brasil: Associação brasileira de normas técnicas. 1984.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR 9165/85. Carvão vegetal - Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade. São Paulo, SP, Brasil: Associação brasileira de normas técnicas. 1985.

BENNETT, G., MAHON, J., MURRAY, D., PERSONS, T., & DAVIS, I. (2009). Heat Transfer Enhancement In Ducts Due To Acoustic Excitation. Fluid Mechanics and Thermodynamics (ExHFT- 7)

BRAND, M. A. Fontes de biomassa para a geração de energia: notas de aula. Uniplac e Udesc, 2008.

CANAL, W. D.; CARVALHO, A. M. L.; CARNEIRO, A. DE. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, B. L. C.; DONATO, D. B. Efeito do teor de umidade da madeira na emissão de gases de efeito estufa no processo de carbonização. **ScientiaForestalis**. V.44, n.112, p. 831-840.2016.

CHEN, W.-H.; PENG, J.; BI, X. T.A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 847–866, 2015.

CHEN, Y.; CAO, W.; ATREYA, A. An experimental study to investigate the effect of torrefaction temperature and time on pyrolysis of centimeter-scale pine wood particles. **Fuel Processing Technology** , V.153, p. 74–80, 2016.

JÄRVINEN, T.; AGAR, D. Experimentally determined storage and handling properties of

fuel pellets made from torrefied whole-tree pine chips, logging residues and beech stem wood. **Fuel**, V.129 , P. 330–339.2014.

MELKIOR, T.; BARTHOMEUF, C.; BARDET, M. Inputs of solid-state NMR to evaluate and compare thermal reactivity of pine and beech woods under torrefaction conditions and modified atmosphere. **Fuel**, v.187 , p. 250–260,2017.

PÉREZ, A.L.E.; SEGURA, C.; ESPINOZA, D.; RADOVIC, L.R.; JIMENEZ, R. Torrefaction of *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus*: A combined experimental and modeling approach to process synthesis. **Energy for Sustainable Development**.N.29, p.13–23. 2015.

PINCELLI, A.L.P.S.M. Características dos resíduos da colheita de madeira de eucalipto e pinus, submetidos, ao tratamento térmico, com foco na aplicação energética. 2011. 126 p. **Tese** (Doutorado em Ciências) – Programa: Recursos Florestais – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura —Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2011.

RODRIGUES, T. O. & ROUSSET, P. L. Effects of torrefaction on energy properties of *Eucalyptus grandis* Wood. **Cerne**, v. 15, n. 4, p. 446-452, 2009.

SILVEIRA, E. A.; MORAIS, G, DE. M. V.; ROUSSET, P.; CALDEIRA, A. P; PÉTRISSANS, A ; GALVÃO, L. G. O. Coupling of an acoustic emissions system to a laboratory torrefaction reactor. **Journal of analytical and applied pyrolysis**, v. 129, p. 29-36, 2018.

VALE, A. T. DO.; MIGUEL, E. P.; MOREIRA, A. C. DE. O.; LIMA, C. M.; ORELLANA, B. B. M, A.; BRUNA, FORTES, M. M.; OLIVEIRA, M. P. O.; GONÇALEZ, J. C.; ILDEU, MARTINS, I. S . Artificial neural networks in predicting energy density of *Bambusa vulgaris* in Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, p. 856-862, 2017.

ZHOU D.W, LIU D.Y, X.G HU, C.F MA. Effect of acoustic cavitation on boiling heat transfer. *Experimental Thermal and Fluid Science*, v. 26, p. 931–938,2002.

.