

Caracterização físico-química e energética de resíduos lignocelulósicos de secadores de grãos

Gabriela Bonassa¹, Renata Filadelfo de Oliveira², Lara Talita Schneider¹, Elisandro Pires Frigo², Adriana Ferla de Oliveira²

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, PPGA – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura – Nível Mestrado, Cascavel-PR.

²Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor Palotina – Departamento de Engenharias e Exatas
gabrielabonassa@gmail.com, renata.filadelfo1@gmail.com, laarats@gmail.com, adrianaferla04@gmail.com, epfrigo@gmail.com

Resumo: A insegurança com relação às atuais fontes energéticas tem estimulado a busca por novas fontes de energia em todo o mundo. Neste cenário, a geração de energia através do aproveitamento de resíduos lignocelulósicos tem ganhado destaque em diversos países, devido principalmente a grande quantidade destes produzidos em atividades do setor agroindustrial. No entanto, para um melhor proveito deste material, é necessário o estudo das suas propriedades energéticas. Entre tais opções, a biomassa se destaca como uma alternativa promissora para a produção de energia. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi à caracterização físico-química e energética de resíduos advindos de secadores de grãos, mais especificamente das culturas de soja e milho. Por meio da análise química imediata determinou-se teor de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo do material coletado, e também o poder calorífico dos resíduos de soja. Ambas as amostras obtiveram dados compatíveis com a literatura, demonstrando o potencial dos resíduos para geração de energia.

Palavras-chave: biomassa, resíduos agroindustriais, aproveitamento energético.

Physical-chemical and energy characterization of lignocellulosic wastes from grain dryers

Abstract: The uncertainty with regard to current energy sources has stimulated the search for new energy sources around the world. In this scenery, the power generation by the use of lignocellulosic waste has gained prominence in several countries, mainly due to the high quantity of these produced in the agroindustrial sector activities. However, for a better advantage of this material, the study of its energetic properties is required. Among such options, the biomass stands out as a promising alternative for energy produce. In this context, the aim of the present work was the physico-chemical characterization and power of

wastes arising from grain dryers, more specifically the soybean and corn crops. Through chemical analysis it was determined moisture content, volatile content, ash content, fixed carbon content of the collected material, and also the calorific value of soybean residue. Both samples obtained data compatible with the literature, demonstrating the potential of waste for power generation.

Key words: biomass, agroindustrial wastes, energy use.

Introdução

Com a instabilidade dos preços dos combustíveis fósseis e a busca por maior segurança energética, aliada aos problemas ambientais advindos da utilização dos mesmos, opções energéticas como a biomassa passam a ganhar espaço, uma vez que são fontes neutras no quesito de emissão de carbono e desempenham papel importante na geração de eletricidade (HUANG et al., 2016).

De acordo com o BEN (2016) o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, sendo que 75,5 % da oferta interna de eletricidade no país advém de fontes renováveis, onde 8 % corresponde a biomassas como lenha, bagaço de cana-de-açúcar e licor negro.

A biomassa vegetal pode ser considerada uma fonte de energia renovável uma vez que depois de colhida pode ser cultivada novamente no mesmo local, com vantagens ambientais e para a saúde humana relacionadas à ciclagem de carbono e baixas concentrações de enxofre. Durante a última década, de acordo com Renet al. (2017) a utilização global da mesma para a geração de energia teve acréscimos de 8 % ao ano, já sendo projetado aumento de 25 a 33 % até 2050.

Durante a queima da biomassa, a presença do oxigênio faz com que a mesma necessite de menor razão molar de oxigênio do ar para a combustão, no entanto devido a esta condição estequiométrica, a quantidade de energia a ser liberada é inferior, acarretando em menor poder calorífico superior (RENDEIRO et al., 2008).

Segundo Açma (2003) e Chen et al. (2009) a energia presente na biomassa pode ser convertida em combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos por meio de processos de conversão (físicos, químicos ou biológicos) que buscam a obtenção de maiores eficiências energéticas aliados a minimização do desperdícios de conteúdo energético do material carbonáceo, facilitando também o armazenamento, transporte e uso desses combustíveis (MIKULANDRIC et al., 2016).

Diversos subprodutos de atividades agrícolas, agropecuárias, agroindustriais e urbanas possuem potencial de utilização para fins energéticos, onde as biomassas mais significativas quanto a volume e energia são as obtidas a partir de resíduos agrícolas e culturas energéticas, as quais originam-se de material vegetal gerado em sistemas de produção (NONHEBEL, 2007).

Os resíduos agrícolas são biomassas advindas do setor agroenergético, incluindo palhas, bagaços, cascas, espigas e hastes. Tanto a variedade quanto o volume de resíduos estão relacionados ao local de plantação, técnicas de manejo e colheita e características da cultura energética em si (DEMIRBAS et al., 2009).

O Brasil é um dos maiores produtores de soja e milho do mundo, com estimativas contínuas de crescimento de produtividade nas safras seguintes. Como consequência disso, no território nacional são geradas grandes quantidades de resíduos vegetais como cascas de talos, advindos do processamento desses grãos. Determinado volume desses subprodutos são utilizados em outras culturas agrícolas como cobertura para proteção do solo, e apesar disso, boa parte ainda é enviada para aterros sanitários, reduzindo sua vida útil e causando impactos negativos ao meio ambiente, quesitos os quais demonstram o quão emergente é a valorização deste tipo de biomassa (MIRANDA et al., 2013).

Diante disso, o objetivo do presente trabalho é a comparação de resíduos de soja e milho, coletados em secadores de grãos do município de Palotina-PR, quanto a propriedades físico-químicas e energéticas determinadas por análise imediata obtendo-se o teor de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo dos resíduos de ambos e poder calorífico da biomassa de soja.

Material e Métodos

Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Química Orgânica e Laboratório de Análise Instrumental e Controle de Qualidade da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina.

Análise imediata

A análise imediata das biomassas de soja e milho foi realizada seguindo os procedimentos da normativa ASTM D-3172 até D-3175 (ASTM, 1983) em duplicata.

Para realização da análise as amostras foram secas em estufa a temperatura de 105°C e posteriormente moídas em moinho de facas. Pesou-se os cadinhos previamente secos em estufa a 105°C com aproximadamente $\frac{3}{4}$ do volume do cadinho com ambas as amostras a serem analisadas, estes foram encaminhados a estufa a 105°C por duas horas e em seguida resfriados em dessecador por 30 minutos e pesados. Os recipientes tampados foram colocados em mufla a 950 °C, durante 6 minutos, novamente resfriados em dessecador e posteriormente pesados para a determinação da massa de voláteis.

Em mufla, com temperatura inferior a 300 °C, os cadinhos foram destampados e aquecidos lentamente até 750 °C, permanecendo em tal temperatura durante 2 horas. Após resfriados em dessecador, pesaram-se os mesmos para a determinação da massa de cinzas das amostras. A partir disto, o teor de carbono fixo foi determinado pela diferença entre o teor de voláteis e o teor de cinzas.

Com base nas massas obtidas determinaram-se a partir das Equações de 1 a 9 , as massas de amostra úmida, amostra seca, carbono + cinzas, cinzas, porcentagem de umidade, porcentagem carbono, porcentagem de voláteis, porcentagens de cinzas

$$\begin{array}{l} \text{Massa da} \\ \text{amostra úmida} \end{array} \quad m_{\text{amostra úmida}} = m_{\text{amostra úmida e cadinho}} - m_{\text{cadinho}} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Massa da} \\ \text{amostra seca} \end{array} \quad m_{\text{amostra seca}} = m_{\text{amostra seca e cadinho}} - m_{\text{cadinho}} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Massa de} \\ \text{carbono + cinzas} \end{array} \quad m_{\text{carbono+cinzas}} = m_{\text{carbono e cadinho}} - m_{\text{cadinho}} \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Massa de} \\ \text{cinzas} \end{array} \quad m_{\text{cinzas}} = m_{\text{cinzas e cadinho}} - m_{\text{cadinho}} \quad (4)$$

$$\% \text{ Umidade} \quad \% \text{ umidade} = \frac{(m_{\text{amostra úmida}} - m_{\text{amostra seca}})}{m_{\text{amostra úmida}}} \times 100 \quad (5)$$

$$\% \text{ Carbono} \quad \% \text{ carbono} = \frac{(m_{\text{carbono+cinzas}} - m_{\text{cinzas}})}{m_{\text{amostra seca}}} \times 100 \quad (6)$$

$$\% \text{ Voláteis} \quad \% \text{ voláteis} = \frac{(m_{\text{amostra seca}} - m_{\text{carbono+cinzas}})}{m_{\text{amostra seca}}} \times 100 \quad (7)$$

$$\% \text{ Cinzas} \qquad \% \text{ cinzas} = \frac{m_{\text{cinzas}}}{m_{\text{amostraseca}}} \times 100 \qquad (8)$$

$$\% \text{ Total} \qquad \% \text{ total} = \text{Carbono}_{(\% \text{ em b.s.})} + \text{Voláteis}_{(\% \text{ em b.s.})} + \text{Cinzas}_{(\% \text{ em b.s.})} \qquad (9)$$

Poder calorífico

O poder calorífico superior foi determinado em Bomba Calorimétrica (Modelo: IKA WORKS C-200) conforme o procedimento descrito na norma NBR 8633 (ABNT, 1984).

Resultados e discussão

Análise imediata

Na Tabela 1, observam-se os valores de teor de umidade das seis amostras dos resíduos obtidos no processo de limpeza e secagem de grãos de soja recebidos pela empresa, e de quatro amostras de resíduos de milho.

Tabela1. Teor de umidade dos resíduos de soja e milho

Resíduos de soja		Resíduos de milho	
Amostras	Umidade (%)	Amostras	Umidade (%)
1	0,88	1	0,82
2	0,71	2	1,61
3	0,70	3	1,07
4	0,85	4	1,56
5	0,70	Média	1,27
6	0,64		
Média	0,75		

Uma vez que pretende-se analisar as características químicas destes resíduos a fim que se verifique a possibilidade de sua utilização como combustível na própria secagem dos grãos, a discussão será baseada nas informações da literatura disponíveis para madeira, usada geralmente a secagem dos grãos.

Conforme citado por Hanstedet al. (2016) biomassas residuais possuem valores de umidade, granulometria de partículas, formato e densidade irregulares. Observa-se na Tabela 1, que o teor médio de umidade nas amostras de soja foi de 0,75 %.

Em estudo realizados por Ahmad et al. (2012) o teor de umidade encontrado para amostras de palha de soja foi de 1,29 %, valor acima da média obtida nas amostras

analisadas neste trabalho uma vez que essa determinação se deu após a secagem em estufa e moagem das amostras. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de que este parâmetro é afetado pelo tamanho das partículas da biomassa, forma de cultivo das plantas, temperatura a que esta foi submetida, composição química e densidade (DAVIS et al., 2017), além de que por ser um resíduo proveniente de secadores passou por temperaturas elevadas para a remoção da umidade dos grãos, resultado na eliminação de parte da água contida na biomassa.

Já para os resíduos de milho, a média de teor de umidade obtida foi de 1,27 %. Hesse et al. (2009) e Templeton et al. (2009) citam que os resíduos provenientes da colheita do milho possuem umidade de aproximadamente 50 % e após o processo de secagem dos grãos este valor diminui para cerca de 12 %. Esta etapa faz-se necessária para que não haja risco de degradação biológica dos grãos úmidos.

Quanto ao teor de carbono fixo, este se relaciona a porcentagem de carbono disponível para a combustão do material, fornecendo uma estimativa do poder calorífico que o mesmo possui. Teores inferiores proporcionam longos tempos de queima e baixa liberação de calor (EFOMAH; GBABO, 2015).

Na Tabela 2, encontram-se as médias de teor de carbono fixo dos resíduos de soja e milho.

Tabela 2. Teor de carbono fixo dos resíduos de soja e milho

Resíduos de soja		Resíduos de milho	
Amostras	Carbono fixo (%)	Amostras	Carbono fixo (%)
1	10,93	1	13,12
2	8,87	2	13,36
3	9,74	3	13,36
4	8,00	4	12,81
5	6,53	Média	13,16
6	7,75		
Média	8,64		

A média obtida a partir das análises do resíduo de soja foi de 8,64 %, valor aproximado ao encontrado por Ladet et al. (2016), que foi de 8,07 %. Para o resíduo de milho, a média obtida foi de 13,16 %, também próxima ao valor citado na literatura por Shariff et al. (2016), que foi de 11,19 %, sendo que uma alternativa para aumento de tal teor e

consequente maximização do poder calorífico seriam técnicas como pirólise, briquetagem e peletização.

O teor de cinzas é um parâmetro que indica o conteúdo de matéria inorgânica presente na biomassa, que dará origem a formação de cinzas nos sistemas de combustão, sendo que valores inferiores proporcionam maiores rendimentos na queima (VASSILEV et al., 2010).

Observa-se na Tabela 3, o teor de cinzas das amostras de soja e milho.

Tabela 3. Teor de cinzas dos resíduos de soja e milho

Resíduos de soja		Resíduos de milho	
Amostras	Cinzas (%)	Amostras	Cinzas (%)
1	26,92	1	1,24
2	38,07	2	6,11
3	33,67	3	2,46
4	40,71	4	4,63
5	50,70	Média	3,61
6	43,05		
Média	38,85		

A média do teor de cinzas dos resíduos de soja e milho foi de 38,85 e 3,61 %, respectivamente. Em relação à primeira cultura, de acordo com Bonner et al. (2014) os teores normalmente variam entre 4 a 10 %, sendo que, no geral, estes relacionam-se a contaminação do solo durante a colheita e o manejo, processos mecânicos, variedade dos híbridos e tipo de fertilizante. Biomassas colhidas comumente possuem teores mais elevados, acarretando na formação de aglomerados sólidos e emissão de fumaça durante a combustão (LIZOTTE et al., 2015).

O teor de voláteis relaciona-se a velocidade do processo de combustão em questão, sendo estes os primeiros produtos liberados durante a queima da matéria-prima, incluindo compostos como hidrocarbonetos leves, alcatrão, CO, CO₂, H₂, e umidade, compreendendo cerca de até 70 % de sua massa (VASSILEV et al., 2010).

Os dados referentes ao teor de voláteis dos resíduos estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4. Teor de voláteis dos resíduos de soja e milho

Resíduos de soja		Resíduos de milho	
Amostras	Voláteis (%)	Amostras	Voláteis (%)
1	62,15	1	85,64
2	53,06	2	80,53
3	56,59	3	84,18
4	51,28	4	82,56
5	42,77	Média	83,23
6	49,20		
Média	52,51		

A média de teor de voláteis dos resíduos de soja foi de 52,51 %, já para os resíduos de milho, o valor obtido foi de 83,23 %, geralmente este teor está entre 75,3 e 76,15 %. Tal diferenciação possivelmente seja advinda das técnicas de plantio, manejo, fertilizantes e das condições operacionais do próprio secador, que influenciam diretamente neste parâmetro (BHAGAVATULA et al., 2014; ANUKAM et al., 2016). Segundo Werthaeret al. (2000) quando comparados aos carvões, resíduos agroindustriais possuem maior concentração de compostos voláteis, geralmente entre 65 a 85 %, enquanto que para biomassas florestais os valores então entre 76 e 86 % (GARCIA et al., 2012).

Poder calorífico

Define-se poder calorífico como a quantidade de energia liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa do combustível (FRIEDL et al., 2005). Referente ao poder calorífico superior, este indica a quantidade de energia interna contida em determinado combustível, quando tanto a água contida no material quanto a resultante do processo de combustão estão condensadas (RODRIGUES et al., 2002).

Na Tabela 5, observam-se os valores de poder calorífico superior dos resíduos de soja.

Tabela 5. Poder Calorífico Superior (PCS)

Amostras	PCS (J/g)
1	17282
2	17252
3	17390
4	17256

BONASSA et al.

5	17432
6	17203
Média	17302

Na literatura, Kis et al. (2009) mencionam valores de poder calorífico para resíduos da soja de 16993 J/g, próximo ao obtido na presente biomassa analisada. Segundo Brito et al. (1987) o PCS relaciona-se a aspectos genéticos da cultura e condições locais, sendo que espécies cultivadas em locais de temperatura e umidade amenas juntamente a latitudes elevadas, apresentam maior conteúdo energético.

É visto que existe uma tendência de maiores valores de poder calorífico superior estarem associados aos maiores valores de carbono fixo, observando-se o contrário para o teor de materiais voláteis. Logo, um acréscimo do teor de carbono fixo e um decréscimo no teor de materiais voláteis proporcionam aumento no poder calorífico superior (PROTÁSIO et al, 2012).

Considerações finais

A partir da análise imediata dos resíduos observou-se que, tanto para os resíduos de soja quanto os de milho os teores de umidade e carbono fixo são compatíveis com os dados citados na literatura. Já quanto ao teor de voláteis e cinzas as porcentagens são distintas, o que poder ser atribuído as diferenças de cultivo, manejo, tipo de solo, de variedades dos grãos e condições de processamento. Determinou-se também o poder calorífico superior dos resíduos de soja, sendo estes também compatíveis aos dados da literatura, demonstrando, portanto, o potencial destes resíduos de secadores do município de Palotina para fins energéticos.

Os resíduos de milho proveniente de secadores demonstraram-se melhores do ponto de vista energético quando comparados à soja, devido ao teor de carbono fixo ser superior e de cinzas inferior, isto proporciona que estes possuam maior poder calorífico e rendimento durante a queima.

É cada vez mais importante o aproveitamento do elevado volume de resíduos que vem sendo disponibilizados pela agroindústria brasileira, juntamente a geração de energia e segurança energética. Sendo assim, faz-se importante as análises das biomassas para avaliação e melhor aproveitamento do seu potencial energético, visando agregar valor às cadeias produtivas.

Agradecimentos

Agrademos a CAPES pela concessão de bolsas de estudo.

Referências

- ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984**, Carvão vegetal: análise imediata, NBR 8633, Rio de Janeiro, 6 p.
- AÇMA, H. H. Combustion characteristics of different biomass materials. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 1, p. 155-162, 2003.
- AHMAD, M.; LEE, S. S.; DOU, X.; MOHAN, D.; SUNG, J. K.; YANG, J. E.; OK, Y. S. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. **Bioresource Technology**, v. 118, p. 536-544, 2012.
- ANUKAM, A. I.; MAMPHWELI, S. N.; MABIZELA, P. S.; MEYER, E. L. Blending Influence on the Conversion Efficiency of the Cogasification Process of Corn Stover and Coal. **Journal of Chemistry**, v. 2016, p. 1-8, 2016.
- ASTM D-3172 até 3175. **American Society for Testing Materials**, Annual Book of ASTM Standards, vol. 05.05. Philadelphia, 1983.
- BEN. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015**, 2016.
- BHAGAVATULA, A.; HUFFMAN, G.; SHAH, N.; HONAKER, R. Evaluation of Thermal Evolution Profiles and Estimation of Kinetic Parameters for Pyrolysis of Coal/Corn Stover Blends Using Thermogravimetric Analysis. **Journal of Fuels**, v. 2014, p. 1-12, 2014.
- BONNER, I. J.; SMITH, W. A.; EINERSON, J. J.; KENNEY, K. L. Impact of Harvest Equipment on Ash Variability of Baled Corn Stover Biomass for Bioenergy. **BioEnergy Research**, v. 7, n. 3, p. 845-855, 2014.
- BRITO, J. O.; FILHO, M. T.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **IPEF**, n.36, p.13-17, 1987.
- CHEN, L.; XING, L.; HAN, L. Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 9, p. 2689-2695, 2009.
- DAVIS, J.; MATOVIC, D.; POLLARD, A. The performance of resistance, inductance, and capacitance handheld meters for determining moisture content of low-carbon fuels. **Fuel**, v. 188, p. 254-266, 2017.

DEMIRBAS, M. F.; BALAT, M.; BALAT, H. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. **Energy Conversion and Management**, v. 50, n. 7, p. 1746-1760, 2009.

EFOMAH, A. N.; GBABO, A. The Physical, Proximate and Ultimate Analysis of RiceHusk Briquettes Produced from a Vibratory Block MouldBriquetting Machine. **International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology**, v. 2, n. 5, p. 814-822, 2015.

ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMAN, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN, J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 644-653, 2012.

FIGUEIREDO, P. N. New challenges for public research organisations in agricultural innovation in developing economies: Evidence from Embrapa in Brazil's soybean industry. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 62, p. 21-32, 2016.

FRIEDL, A.; PADAVOUVAS, E.; ROTTER, H.; VARMUZA, K. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. **AnalyticaChimicaActa**, v. 544, n. 1/2, p. 191-198. 2005.

GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. **Bioresource Technology**, v. 103, n. 1, p. 249-258, 2012.

HANSTED, A. L. S.; NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; YAMAMOTO, H.; YAMAJI, F. M. Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production. **Fuel**, v. 184, p. 180-184, 2016.

HESS, J. R.; KENNEY, K. L.; WRIGHT, C. T.; PERLACK, R.; TURHOLLOW, A. Corn stover availability for biomass conversion: situation analysis. **Cellulose**, v. 16, n. 4, p. 599-619, 2009.

HUANG, Y. W.; CHEN, M. Q.; LI, Y.; GUO, J. Modeling of chemical exergy of agricultural biomass using improved general regression neural network. **Energy**, v. 114, p. 1164-1175, 2016.

KIS, D.; SUCIC, B.; GUBERAC, V.; VICA, N.; ROZMAN, V.; SUMANOVAC, L. Soybean Biomass as a Renewable EnergyResource. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v. 74, n. 3, p. 201-203, 2009.

LAD, P. P.; PATIL, B. N.; GUPTA, S. V. Carbonisation of marking nut shell (*Semecarpusanacardium*). **International Journal of Agricultural Science and Research**, v. 6, n. 4, p. 19-27, 2016.

LIZOTTE, P. L.; SAVOIE, P.; CHAMPLAIN, A. D. Ash Content and Calorific Energy of Corn Stover Components in Eastern Canada. **Energies**, v. 8, n. 6, p. 4827-4838, 2015.

MIKULANDRIC, R.; VERMEULEN, B.; NICOLAI, B.; SAEYS, W. Modelling of thermal processes during extrusion based densification of agricultural biomass residues. **Applied Energy**, Available online, 2016.

MIRANDA, M. I. G.; BICA, C. I. D.; NACHTIGALL, S. M. B.; REHMAN, N.; ROSA, S. M. L. Kinetic thermal degradation study of maize straw and soybean hull celluloses by simultaneous DSC-TGA and MDSC techniques. **Thermochimica Acta**, v. 565, p. 65-71, 2013.

NONHEBEL, S. Energy from agricultural residues and consequences for land requirements for food production. **Agricultural Systems. Holanda: Elsevier**, v. 94, p. 586-592, 2007.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 122-133, 2011.

REN, X.; SUN, R.; MENG, X.; VOROBIEV, N.; SCHIEMANN, M.; LEVENDIS, Y. A. Carbon, sulfur and nitrogen oxide emissions from combustion of pulverized raw and torrefied biomass. **Fuel**, v. 188, p. 310-323, 2017.

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, F. M.; BRASIL, A. C. M.; CRUZ, D. O. A.; GUERRA, D. R.; MACÊDO, E. N.; ICHIHARAA, J. A. **Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. 1ª Edição, Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

RODRIGUES, L. D.; DA SILVA, I. T.; DA ROCHA, B. R. P.; DA SILVA, I. M. O. Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará. **Enc. Energ. Meio Rural**, v.2, n.4, p. 1-6, 2002.

SHARIFF, A.; AZIZ, N. S. M.; IMAIL, N. O.; ABDULLAH, N. Corn Cob as a Potential Feedstock for Slow Pyrolysis of Biomass. **Journal of Physical Science**, v. 27, n. 2, p. 123-137, 2016.

TEMPLETON, D. W.; SLUITER, A. D.; HAYWARD, T. K.; HAMES, B. R.; THOMAS, S. R. Assessing corn stover composition and sources of variability via NIRS. **Cellulose**, v. 16, n. 4, p. 621-639, 2009.

VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, v. 89, n. 5, p. 913-933, 2010.

WERTHER, J.; SAENGER, M.; HARTGE, E. U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 26, n. 1, p. 1-27, 2000.

Recebido para publicação em: 16/11/2016

Aceito para publicação em: 18/11/2016