

PIRÓLISE DA BIOMASSA DE GRAMÍNEAS PARA A OBTENÇÃO DE CARVÃO VEGETAL PULVERIZADO

ÁLISON MOREIRA DA SILVA¹, ANANIAS FRANCISCO DIAS JÚNIOR¹, LUIS FILIPE CABRAL CEZARIO¹, JOSÉ OTÁVIO BRITO², AZARIAS MACHADO DE ANDRADE³, NATÁLIA DIAS DE SOUZA³

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Av. Gov. Lindemberg, 316, Centro, 29.550-000 Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil. alison_vni@hotmail.com; ananiassjr@usp.br; luisfilipecabral10@gmail.com.

² Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP), Avenida Pádua Dias, 11, Caixa Postal 09, 13.418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. jobrito@usp.br

³ Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Rod. BR 465, Km 07, 23.890-000, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. azariasmachado@bol.com.br; natdias@hotmail.com

RESUMO: A busca por fontes alternativas aos combustíveis fósseis, visando à produção de energia é uma necessidade fundamental para o futuro do desenvolvimento econômico e sustentável do planeta. Os diversos resíduos da biomassa vegetal se destacam como atraentes alternativas energéticas. Este trabalho teve por objetivo analisar os rendimentos da pirólise do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), bem como obter subsídios básicos que norteassem seleção de biomassas alternativas para a produção de carvão vegetal pulverizado. As biomassas utilizadas foram caracterizadas pelo teor de extrativos totais e o teor de lignina. Posteriormente, foram submetidas à pirólise até a temperatura máxima de 500°C, determinando em seguida os rendimentos em carvão vegetal, líquido pirolenhoso e de gases não condensáveis. Foram observados para *Pennisetum purpureum* teores de extrativos de 10,62%, enquanto que lignina, 18,21%. Para a *Saccharum spp.*, foram encontrados 23,78% de extrativos e 15,29% de lignina. Em relação aos produtos oriundos da pirólise, *Pennisetum purpureum* obteve-se 35,63% de rendimento de carvão, enquanto que *Saccharum spp.* obteve 26,73%. Com base nos resultados obtidos, afirma-se a competência em rendimentos das biomassas pirolisadas, possibilitando sua inserção em siderurgias em forma de carvão pulverizado, como suplemento energético ao carvão vegetal de madeira “bitolado”.

Palavras-chave: cana-de-açúcar; capim-elefante; finos para ventaneira.

PYROLYSIS OF GRASS BIOMASS FOR SPRAYING CHARCOAL OBTATION

ABSTRACT: The search for alternative sources to fossil fuels, aiming at energy production, is a fundamental necessity for the future of the planet's economic and sustainable development. The various residues of plant biomass stand out as attractive energy alternatives. This work aimed to analyze the yields of elephant grass (*Pennisetum purpureum*) and sugar cane (*Saccharum spp.*) pyrolysis, as well as to obtain basic subsidies that guide the selection of alternative biomass for the production of pulverized charcoal. The biomass of each grass species was characterized by the analysis of total extractives content and lignin content. Subsequently, they were subjected to pyrolysis up to a maximum temperature of 500°C, followed by the yields of charcoal, pyrolygneous liquid, and non-condensable gases. *Pennisetum purpureum* extract contents were 10,62%, while lignin 18,21%. For *Saccharum spp.*, 23,78% extractives and 15,29% lignin was found. For pyrolysis products, *Pennisetum purpureum* obtained 35,63% coal yield, while *Saccharum spp.* obtained 26,73%. Based on the results obtained, it is stated the competence in yields of pyrolyzed biomass, enabling their insertion in pulverized coal steel mills, as an energy supplement to “bitolated” wood charcoal.

Keywords: sugar cane; elephant grass; thin for windshield.

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes alternativas aos combustíveis fósseis, visando à produção de energia é uma necessidade fundamental para o futuro do desenvolvimento econômico e sustentável mundial. Após o estabelecimento de metas no Acordo de Paris (COP-21) ocorrido em 2015, dentre elas a redução da emissão de gases de efeito estufa, a biomassa ganhou força como alternativa sustentável e renovável, pelo fato de que o carbono emitido pela combustão da biomassa é equivalente ao carbono fixado durante o processo de fotossíntese (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015; MACHADO; PIMENTEL, 2019; BAUER; MENRAD, 2019; MORGAN et al., 2019). Os diferentes usos da biomassa refletem sua importância econômica e social, comprovado pelo fato de que países em desenvolvimento utilizam a biomassa como uma das únicas fontes energéticas disponíveis. Em países da união europeia, por exemplo, a biomassa na forma de madeira e de biocombustíveis sólidos pode representar mais de 30% da fonte de energia total, enquanto em países subdesenvolvidos esta representatividade é maior que 80% das fontes de energia (GENOVESE; UDAETA; GALVÃO, 2006; EUROSTAT, 2020).

Desse modo a busca por novas fontes de matérias-primas para a utilização energética ganha impulso, como as gramíneas, que possuem grande aptidão para a produção energética (GOLDEMBERG, 2009; MARAFON et al., 2016). As gramíneas são consideradas matérias-primas potenciais para a produção de energia, devido ao rápido crescimento e elevada produtividade. Dentre as possibilidades de uso, destaca-se no Brasil, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), como boas alternativas de geração de energia, por possuírem grande representatividade em termos de cultura agrícola (CAVALIERO; JANNUZZI, 1999; BNDES, 2008).

A *Pennisetum purpureum* e a *Saccharum* spp. são, reconhecidamente, gramíneas forrageiras de mais alto potencial produtivo, adaptando-se muito bem às

condições de clima e solo em praticamente todo o Brasil. A produção de *Saccharum* spp. chegou a 758,5 milhões de toneladas em 2017, com um aumento contínuo nos últimos anos (IBGE, 2019). As altas produtividades destas espécies, associadas a presença de elevado percentual de fibras, fazem delas alternativas sustentáveis de biomassa para utilização como insumo energético (QUESADA, 2004; MARAFON et al., 2016). Um dos processos mais utilizados no mundo para a conversão da biomassa em energia é a pirólise. Neste processo, o material é submetido a ação controlada de calor, que resulta na degradação da matéria-prima, onde, dependendo dos objetivos da aplicação, são gerados compostos sólidos, líquidos e gasosos em diferentes proporções (CZERNIK; BRIDGWATER, 2004; YANG et al., 2013; CHEN et al., 2014). Os estudos sobre a pirólise da biomassa e suas vertentes processuais, têm sido altamente importantes e, particularmente, para o Brasil, inclui-se a avaliação de novas fontes de biomassa destinadas à produção de carvão vegetal. A madeira tem sido a biomassa mais tradicionalmente usada para a obtenção de carvão vegetal. Cresce, porém, o interesse pelo uso de outras matérias-primas, particularmente, considerando a obtenção de carvão vegetal na forma pulverizada (CAVALIERO; JANNUZZI, 1999; PÉREZ-JELDRES et al., 2017).

Nesta condição, o carvão vegetal passa a ter importante papel como produto para ser injetado nas chamadas ventaneiras dos alto-fornos de siderúrgicas, atuando como suplemento energético ao carvão vegetal de madeira “bitolado”, carregado pelo topo do equipamento, proporcionando redução do consumo de carvão vegetal (ou de coque de carvão metalúrgico) e conseqüentemente da produtividade (CAVALIERO; JANNUZZI, 1999; TIWARI; DAS; SINGH, 2018).

Diante da necessidade de obtenção de combustíveis limpos, renováveis e eficientes, este trabalho de pesquisa teve por objetivo analisar a pirólise de *Pennisetum purpureum* e *Saccharum* spp., visando a produção de carvão vegetal pulverizado. Pretendeu-se ainda, obter subsídios básicos para nortear a adequada

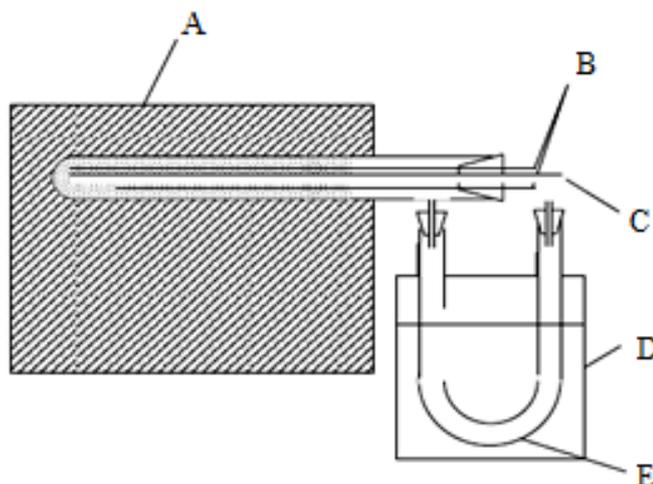
seleção de biomassas alternativas para a produção de carvão vegetal pulverizado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As biomassas utilizadas de *Pennisetum purpureum* e *Saccharum* spp. foram caracterizadas pela análise do teor de extrativos totais realizado segundo a norma TAPPI T 264 cm-97 (1997) e o teor de lignina klason foi determinado seguindo descrições da

norma TAPPI 222 om-02 (2002). A metodologia de pirólise seguiu a metodologia proposta por Dias Júnior et al. (2018). Dessa forma, os processos foram conduzidos em um dispositivo de pirólise contendo um tubo de retorta usando-se um forno com aquecimento elétrico, em atmosfera inerte, na temperatura de 500°C, monitorada mediante a inclusão de termopares na zona de reação. Um tubo em “U” foi utilizado para a coleta dos gases condensáveis gerados (Figura 1).

Figura 1. Esquema do processo de pirólise utilizado - “Gray-King Setup” (GKS). Em que: A = forno mufla; B = termopar para medição da temperatura; C = entrada para inserção de gás nitrogênio; D = recipiente para gelo; E = tubo tipo “U” para recolhimento do líquido pirolenhoso.



Fonte: Dias Júnior et al. (2018)

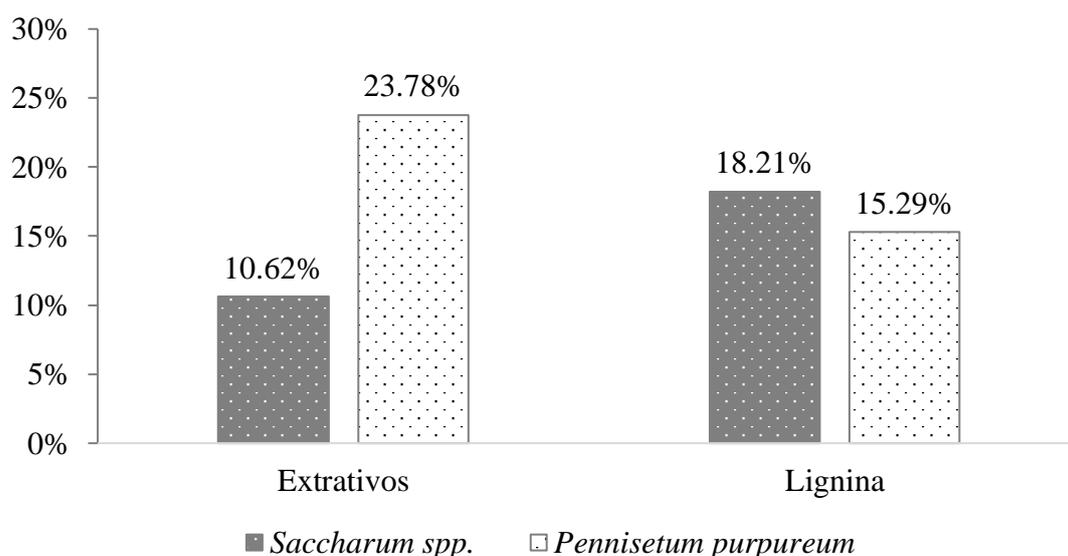
As amostras de bagaço de *Saccharum* spp. e *Pennisetum purpureum* foram moídas em um moinho tipo Willey e em seguida homogeneizadas por meio da passagem em peneiras de granulometria fração 20 mesh. Em seguida as biomassas foram secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até condição anidra. As pirólises foram iniciadas à temperatura ambiente e conduzidas até se alcançar a temperatura máxima fixada em 500°C. Atingida esta temperatura, a mesma foi mantida pelo tempo de cinco minutos, para uniformização do processo pirolítico.

Realizadas as pirólises, as massas de carvão vegetal contido no tubo de vidro e de

líquido pirolenhoso depositado no tubo tipo “U” foram mensurados, para em seguida prosseguir com os cálculos dos rendimentos. Os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, em líquido pirolenhoso e em gases não-condensáveis foram obtidos com base na massa dos respectivos produtos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os resultados das avaliações dos teores de extrativos e de lignina de *Saccharum* spp. e *Pennisetum purpureum*.

Figura 2. Composição química do *Saccharum* spp. e *Pennisetum purpureum*.

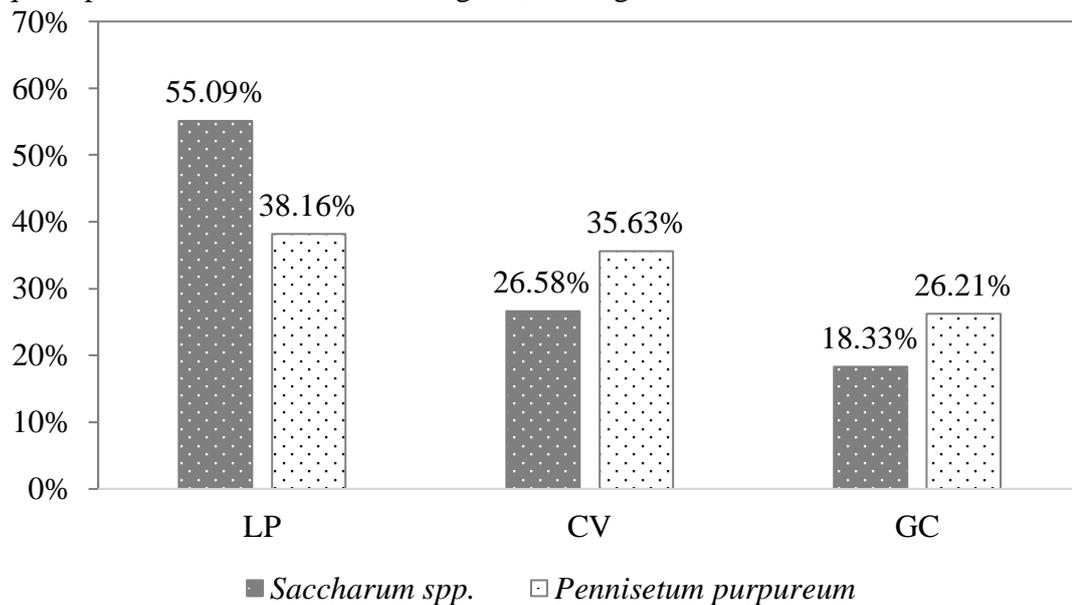
A análise mostrou que a *Saccharum* spp. conteve teores de extrativos de 10,62% e teor de lignina de 18,21%. Esses valores foram próximos aos encontrados por Nakashima et al. (2014) e Santos et al. (2018), com percentual de 12,75% e 9,48% para os extrativos. Em relação à lignina, Santos et al. (2018) obtiveram teores médios de 21,45%, resultado superior ao encontrado neste estudo. Carvalho et al. (2014), trabalhando com *Saccharum* spp., encontrou teores de extrativos e lignina insolúvel de 15,00% e 19,50%, respectivamente. Enquanto que Moutta, Ferreira-Leitão e Bon (2014), trabalhando com o mesmo material, encontraram 5,62% de extrativos e 27,34% de lignina. Essas diferenças podem estar relacionadas com o material utilizado na análise, nota-se que que o volume entre palhada e bagaço de cana-de-açúcar podem

influir diretamente sobre o as características energéticas.

Já o resultado de extrativos e lignina encontrado para o capim-elefante foi de 23,78% e 15,29%, respectivamente, corroborando com os dados obtidos por Paterlini et al. (2013), que trabalhando com o *Pennisetum purpureum*, encontraram teor de extrativos de 23,85%, enquanto que teor de lignina insolúvel de 16,27%. De acordo com Quesada (2004), o potencial energético da biomassa está relacionado ao seu teor de carbono contido na lignina. O percentual de carbono fixo presente na lignina estabelece a quantidade de energia gerada, e quanto maior for este percentual, mais lenta será a queima do combustível (STURION; PEREIRA; CHEMIN, 1988).

Os resultados dos rendimentos são apresentados na Figura 3.

Figura 3. Rendimentos das pirólises de *Saccharum spp.* e *Pennisetum purpureum*. Em que: LP = líquido pirolenhoso; CV = carvão vegetal; GC = gases condensáveis.

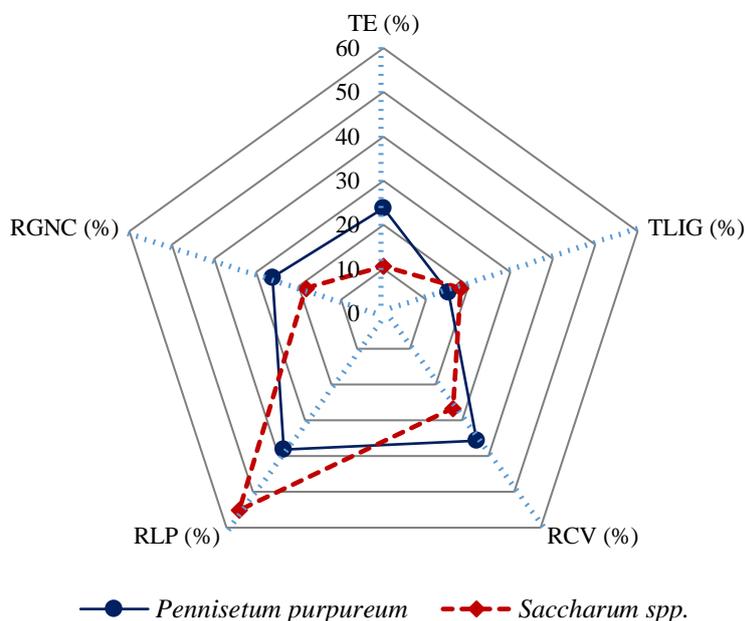


O elevado teor de lignina e a qualidade desta macromolécula podem contribuir para maiores rendimentos no processo de pirólise (PEREIRA et al., 2013; ARAÚJO et al., 2016). Todavia, tal comportamento não foi observado neste trabalho, uma vez que a espécie com maior teor de lignina, a *Saccharum spp.*, apresentou menor rendimento na produção de carvão vegetal. Contudo, a mesma espécie apresentou menores teores de extrativos, justificando os resultados encontrados, uma vez que a redução deste composto diminui o rendimento do carvão vegetal (SEBIO-PUÑAL et al., 2012). Nas gramíneas, as unidades p-hidroxifenila (H) são mais abundantes que as encontradas nas madeiras, apesar de em uma proporção menor que a guaiacil e siringil (FENGEL; WEGENER, 1989). A p-hidroxifenila é a lignina menos reativa entre as três, uma vez que seu precursor (ácido p-coumarílico) apresenta dois carbonos aromáticos livres e, portanto, dois sítios passíveis de ligações com outras unidades de fenilpropano, como, por

exemplo, ligações carbono-carbono que são fortes, o que eleva o grau de condensação da lignina e torna mais difícil sua quebra (GUTIÉRREZ; ODRÍGUEZ; DEL RIO, 2006). Desta forma, considerando a lignina a última macromolécula a ser degradada totalmente em processo de pirólise (CHEN et al., 2018; DHYANI; BHASKAR, 2018), sua composição é formada por ligninas de alta resistência à ação do calor.

Apesar do baixo teor de lignina apresentado em *Pennisetum purpureum*, quando comparado à *Saccharum spp.*, os valores se distribuem de forma mais balanceada entre rendimento em líquido pirolenhoso e rendimento em carvão vegetal, obtendo menor rendimento de gases não condensáveis (Figura 3). O rendimento em líquido pirolenhoso em *Saccharum spp.* foi superior, quando comparado ao rendimento em carvão vegetal e gases não condensáveis, sobretudo quando comparado ao teor de líquido pirolenhoso da *Pennisetum purpureum*.

Figura 4. Comparativo das variáveis analisadas no material gramíneas visando a geração de energia. Em que: TE = teor de extrativos; TLIG = teor de lignina; RCV = rendimento em carvão vegetal; RLP = rendimento em líquido pirolenhoso; RGNC = rendimento em gases não condensáveis.



A maior produtividade e o menor ciclo produtivo de *Pennisetum purpureum*, associado à geração de resíduos na produção de açúcar e etanol a partir de *Saccharum spp.* potencializam a possibilidade de uso destas biomassas para fins energéticos. Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, afirma-se a competência em rendimentos das biomassas pirolizadas, possibilitando sua inserção em siderurgias em forma de carvão pulverizado,

como suplemento energético ao carvão vegetal de madeira “bitolado”.

4 CONCLUSÃO

Biomassas pirolizadas de *Saccharum spp.* e *Pennisetum purpureum* apresentam valores de rendimento com potencial para uso em siderurgias, na forma de carvão pulverizado, como suplemento energético ao carvão vegetal de madeira “bitolado”.

5 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. C. C.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BRAGA, P. P. C.; LIMA, R. V.; PROTÁSIO, T. P. Efeito da relação siringil/guaiacil e de fenóis derivados da lignina nas características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus spp.* **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 405-414, 2016.
- BAUER, A.; MENRAD, K. Standing up for the Paris Agreement: do global climate targets influence individuals' greenhouse gas emissions? **Environmental Science e Policy**, Straubing, v. 99, p. 72-79, 2019.
- BNDES. **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável. 1. ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2008.
- CARVALHO, D. M.; PÉREZ, A.; GARCÍA, J. C.; COLODETTE, J. L.; LÓPEZ, F.; BLANCO, M. J. D. Ethanol-soda pulping of sugarcane bagasse and straw. **Cellulose Chemistry and Technology**, Bucharest, v. 48, n. 3-4, p. 355-364, 2014.

CAVALIERO, C. K. N.; JANNUZZI, G. M. A injeção de combustível auxiliar em alto forno como medida de redução das emissões de CO₂ do segmento siderúrgico nacional: estudo de casos na ACESITA e COSIPA. *In: SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES*, 21., 1999, Vitória. **Trabalhos [...]**. Vitória: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1999. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/siderugia1.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2019.

CHEN, D.; YIN, L.; WANG, H.; HE, P. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. **Waste Management**, New York, v. 34, n. 12, p. 2466-2486, 2014.

CHEN, D.; GAO, A.; CEN, K.; ZHANG, J.; CAO, X.; MA, Z. Investigation of biomass torrefaction based on three major components: Hemicellulose, cellulose, and lignin. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 169, n. 1, p. 228-237, 2018.

CZERNIK, S.; BRIDGWATER, A. V. Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil. **Energy & Fuels**, Washington, v. 18, n. 2, p. 590-598, 2004.

DHYANI, V.; BHASKAR, T. A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Renewable Energy**, Oxford, v. 129 n. 1, p. 695-716, 2018.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; PROTÁSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; BRITO, J. O.; TRUGILHO, P. F. Pyrolysis and wood by-products of species from the Brazilian semi-arid region. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 117, p. 65-75, 2018.

EUROSTAT. **Renewable energy statistic**. Luxemburgo: Eurostat, 2020. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics. Acesso em: 18 ago. 2020.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVAO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. *In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL*, 6., 2006, Campinas. **Procedimentos [...]**. Campinas: SciELO, 2006. p. 1-10. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100021&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 26 Out. 2020.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GUTIÉRREZ, A.; RODRÍGUEZ, I. M.; DEL RIO, J. C. Chemical characterization of lignin and lipid fractions in industrial hemp bast fibers used for manufacturing high quality paper. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 6, p. 2138-2144, 2006.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**: Tabela 5457. Brasília, DF: SIDRA, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 06 ago. 2019.

MACHADO, J. S. T.; PIMENTEL, R. M. Potencial do capiaçu como biomassa energética. **Revista Brasileira de Engenharia de Produção**, São Mateus, v. 5, n. 2, p. 56-62, 2019.

- MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARAES, V. S. **Poder calorífico do capim-elefante para a geração de energia térmica**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.
- MORGAN, E. A.; NALAU, J.; MACKEY, B. Assessing the alignment of national-level adaptation plans to the Paris Agreement. **Environmental Science e Policy**, New York, v. 93, n. 1, p. 208-220, 2019.
- MOUTTA, R. D. O.; FERREIRA-LEITÃO, V. S.; BON, E. P. S. Enzymatic hydrolysis of sugarcane bagasse and straw mixtures pretreated with diluted acid. **Biocatalysis and Biotransformation**, Londres, v. 32, n. 1, p. 93-100, 2014.
- NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; SILVA, D. A.; CHRISOSTOMO, W.; YAMAJI, F. M. Aproveitamento de Resíduos Vegetais para a Produção de Briquetes. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Sorocaba, v. 1, n. 34, p. 22-29, 2014.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Convenção quadro sobre mudanças do clima**. Conferência das partes. Paris: ONU, 2015. Vigésima primeira sessão.
- PATERLINI, E. M.; ARANTES, M. D. C.; GONÇALVES, F. G.; VIDAURRE, G. B.; BAUER, M. O.; MOULIN, J. C. Evaluation of elephant grass for energy use. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Jerônimo Monteiro, v. 4, n. 2, p. 126-133, maio 2013.
- PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. C.; FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of Eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. **BioResources**, Viçosa, v. 8, n. 3, p. 4574-4592, 2013.
- PÉREZ-JELDRES, R.; CORNEIO, P.; FLORES, M.; GORDON, A.; GARCÍA, X. A modeling approach to co-firing biomass/coal blends in pulverized coal utility boilers: Synergistic effects and emissions profiles. **Energy**, Oxford, v. 120, n. 1, p. 663-674, fev. 2017.
- QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. **Parâmetros Qualitativos de Genótipos de Capim-elefante (Pennisetum purpureum Schum.) estudados para a produção de energia através da Biomassa**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004.
- SANTOS, L. R. O.; PRIMIANO-FILHO, M. C.; NAKASIMA, G. T.; HANSTED, A. L. S.; SILVA, D. A.; ALESI, L. S. A.; VARANDA, L. D.; YAMAJI, F. M. Produção de combustível sólido a partir da palha de cana-de-açúcar e braquiária. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Sorocaba, v. 7, n. 2, p. 266-279, 2018.
- SEBIO-PUÑAL, T.; NAYA, S.; LÓPEZ-BECEIRO, J.; TARRIÓ-SAAVEDRA, J.; ARTIAGA, R. Thermogravimetric analysis of wood, holocellulose, and lignin from five wood species. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Dordrecht, v. 109, n. 3, p. 1163-1167, 2012.
- STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; CHEMIN, M. Qualidade da madeira de *eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 1, n. 16, p. 55-59, jun. 1988.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 222 om-02: Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Atlanta: Tappi Press, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 264 cm-97: Preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Press, 1997.

TIWARI, H. P.; DAS, A.; SINGH, U. Novel technique for assessing the burnout potential of pulverized coals/coal blends for blast furnace injection. **Applied Thermal Engineering**, Oxford, v. 130, p. 1279-1289, fev. 2018.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W. P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 11-15, 2013.

YANG, Y.; BRAMMER, J. G.; OUADI, M.; SAMANYA, J.; HORNUNG, A.; XU, H. M.; LI, Y. Characterization of waste derived intermediate pyrolysis oils for use as diesel engine fuels. **Fuel**, Guildford, v. 103, n. 1, p. 247-257, 2013.