



CARACTERIZAÇÃO DE COMBUSTÍVEL SÓLIDO *IN NATURA* E CARBONIZADO PROVENIENTE DA BRIQUETAGEM DE RESÍDUOS DO COCO E DA MORINGA

Thiago dos Santos Saraiva¹, Roberlucia Araújo Candeia²

RESUMO

A tecnologia de briquetagem se configura como uma das formas de tratamento de resíduos lignocelulósicos, agrícolas e florestais em geral, proporcionando a formação de um biocombustível sólido e energético. Esta pesquisa buscou investigar o comportamento físico, químico e energético de briquetes *in natura* e carbonizado, compostos por biomassa de casca de coco, cascas da semente e vagem de Moringa, com adição de aglutinante para fins de se obter bioproduto com melhor composição energética. A metodologia adotada foi de caráter experimental, utilizando como matéria prima da região do alto sertão da Paraíba, cascas de coco e cascas das sementes e vagem de Moringa, as quais foram secas e trituradas para a o processo de densificação. Produziram-se quatro formulações de briquetes, sob duas variações de processamento, *in natura* e carbonizada (200 °C por 1h), e em triplicata. Em ambos os tratamentos foram padronizada a quantidade de massa e adicionado o aglutinante (amido de mandioca) em cada formulação, e estes foram submetido à compactação a 20 ton/kg.força por 10 min. E, posterior foram submetidos à análise imediata. Entre os tratamentos propostos exceto dos carbonizados, todos apresentaram boa briquetagem e resistência. As análises revelaram concentrações dentro do limite aceitável, no entanto, a forma *in natura* apresentou poder de queima mais lento e prolongado em relação ao do carbonizado. E, quanto à composição, tantos os briquetes *in natura* como carbonizados compostos por maior quantidade de casca de coco, 100C e 80C20M, agregam os melhores desempenho de poder de combustão ao produto formulado.

Palavras-chave: Resíduo Agrícola, Carvão Vegetal, Briquete.

¹Aluno de Engenharia Ambiental, CCTA/UACTA, UFCG, Pombal, PB, e-mail: thiagosaraiva_2010@hotmail.com

²Doutora em Química, UFPB, Docente, CCTA/UATA, UFCG, Pombal, PB, e-mail: roberlucia@yahoo.com.br

CHARACTERIZATION OF SOLID IN NATURA AND CARBONIZED FUEL FROM COCONUT AND MORINGA WASTE BRIQUETATION

ABSTRACT

Briquetting technology is one of the ways of treating lignocellulosic, agricultural and forestry residues in general, providing the formation of a solid and energetic biofuel. This research aimed to investigate the physical, chemical and energetic behavior of *in natura* and carbonized briquettes, composed of coconut shell biomass, seed shells and Moringa pod, with addition of binder in order to obtain a bioproduct with better energetic composition. The methodology adopted was of an experimental nature, using as raw material from the upper sertão region of Paraíba, coconut husks and the husks of seeds and Moringa pods, which were dried and crushed for the densification process. Four formulations of briquettes were produced, under two variations of processing, *in natura* and carbonized (200 °C for 1h), and in triplicate. In both treatments, the amount of mass was standardized and the binder (cassava starch) was added to each formulation, and these were subjected to compaction at 20 ton/kg.force for 10 min. And, later were subjected to immediate analysis. Among the proposed treatments, except the carbonized ones, all presented good briquetting and resistance. The analyzes revealed concentrations within the acceptable limit, however, the *in natura* form presented a slower and more prolonged burning power compared to the carbonized form. And, regarding the composition, both *in natura* and carbonized briquettes, composed of a greater amount of coconut husk, 100C and 80C20M, add the best combustion power performance to the formulated product.

Keywords: Agricultural Waste, Charcoal, Briquette.

INTRODUÇÃO

As atividades agroindústrias e urbanas geram resíduos orgânicos que são parcialmente reaproveitadas, e os que não são reutilizados e/ou absorvido na cadeia produtiva são deixados para decomposição natural servindo de adubo orgânico, ou são acumuladas em lixões, promovendo o impacto ambiental para o meio ambiente, sem nenhuma perspectiva de aproveitamento energético, a exemplo da casca de coco, casca da semente e vagem da Moringa (PAULA et al., 2011; ZANG, SUN, XU, 2018) o desperdício dessas fontes de energia contribui para a poluição atmosférica, e, conseqüentemente, o aquecimento global (MAO et al., 2018).

O processo de tratamento e transformação da biomassa em energia é realizado por meio de diversas tecnologias (SILVA, et al., 2018). BRÁS et al. (2008) e WIDJAYA et al. (2018), destacam que os processos mais utilizados são os termoquímicos e biológicos. Os termoquímicos utilizam-se o calor para transformação da biomassa em energia, sendo determinadas pela quantidade de oxigênio presente (pirólise, gaseificação e combustão). Enquanto que, o processo biológico é realizado pela ação de microrganismos que transformam as moléculas presentes na biomassa em compostos mais simples com alto potencial energético, dentre este processo estão a digestão anaeróbia e a fermentação.

A tecnologia de briquetagem envolve a conversão de biomassa em biocombustíveis sólidos de densidade que são fáceis de usar, manusear, armazenar e transportar, e, por sua vez produz uma queima de alta energia com menos emissões de gases poluidores (PAULA, 2010; BONASSA et al, 2018). Os briquetes podem ser feitos a partir de materiais residuais, como madeira, serragem, cascas de arroz, bagaços de cana-de-açúcar, ou seja, resíduos agrícolas e florestais em geral (ZANG, SUN, XU et al, 2018). Quanto a sua aplicação, estes podem ser utilizados para alimentar fornos, fornalhas ou caldeiras nas indústrias de cerâmicas, olarias, e/ou nas pizzarias, padarias, lareiras, fogões e fornos domésticos (PAULA, 2010).

Os briquetes podem ser produzidos sob a forma *in natura* ou carbonizada, sendo que o biocarvão no formato carbonizado tem-se três tipos de tecnologias de conversão térmica de biomassa que são a combustão direta, pirólise e gaseificação, visto que estes processos agregam mais energia ao produto desejado (KONGPRASERT, WANGPHANICH, JUTILARPTAVORN, 2019).

Segundo Zanella (2018) na técnica de carbonização do biocarvão ocorre a obtenção da fase sólida, que é constituída por carbono, materiais não deformáveis

sem qualquer mecanismo de ligação, onde é armazenada energia entálpicas proveniente da compactação das partículas. No entanto, existe a desvantagem no que tange a resistência do produto final, a exemplo do briquete carbonizado, e que pode ser corrigido com a adição de aglutinante, promovendo a melhoria nas características físicas e químicas do material.

Para tanto, neste trabalho buscou-se investigar briquetes *in natura* e carbonizado, a partir de misturas de resíduos de biomassa como as cascas de coco, cascas da semente e vagem da Moringa, com adição de aglutinante, com o intuito de conhecer as propriedades bioenergéticas dos produtos briquetados avaliando ambos os formatos e composições.

O aproveitamento de resíduos lignocelulósicos como biomassas agrícolas e/ou florestais, além de também serem materiais descartados e/ou ignorado no meio ambiente, seja urbano e/ou rural, são alternativas sustentáveis que agregam ao briquete chamado de lenha ecológica, seja oriunda do tratamento *in natura* e/ou carbonizado, uma opção energética para fins de ser manuseado como fonte térmica. Além de promover a redução da poluição ambiental, ocasionada pelos acúmulos de material lignocelulósicos nos aterros sanitários e/ou lixões, além de reduzir a utilização de lenha, preservando as florestas e/ou matas ciliares.

MATERIAIS E MÉTODOS (OU METODOLOGIA)

Obtenção e Preparação das Matérias Primas

As biomassas utilizadas na fabricação dos briquetes foram os resíduos oriundos da agroindústria da Região do Alto Sertão Paraibano, especificamente do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, Casca de coco. E, as cascas da semente e vagem da Moringa proveniente do Campus Universitário da UFCG/CCTA.

- a) Cascas de Coco: Após serem coletadas, estas foram expostas ao sol por 48h, e logo após, trituradas em forrageira, passando por três processos de trituração utilizando peneiras de furos 6 mm, 4 mm e 3 mm para reduzir a granulometria, e facilitar a compactação dessa biomassa fibrosa.
- b) Cascas de sementes e vagem da Moringa: Após serem coletadas, foram trituradas e secas ao sol por 24 h. A trituração foi realizada em um Triturador Orgânico da marca Trapp (TR 200).

Produção dos Briquetes

A produção dos briquetes tanto na forma *in natura* como carbonizado foram administradas a partir das seguintes proporções de biomassa, conforme ilustrada na Tabela 1. As misturas respeitaram cada proporção em massa das formulações e se adicionou 20% (p/m) do aglutinante (solução de amido de mandioca). Para todos os tratamentos se fez três repetições, totalizando 24 briquetes, sendo 12 do tipo *in natura* e 12 carbonizados. E, cada briquete foi obtido com peso de 100 g.

Tabela 1. Composição em massa das matérias primas para produção dos briquetes *in natura* e carbonizado, ambos com adição de aglutinante.

FORMULAÇÕES	COMPOSIÇÃO DOS BRIQUETES (<i>in natura</i> e carbonizado)	
	C	M
1	100%	-
2	80%	20%
3	50%	50%
4	-	100%

Legenda: C: casca de coco; M: Casca e Vagem de Moringa.

Método para briquete *in natura*

A fabricação ocorreu em escala de bancada, utilizando uma prensa hidráulica da marca MARCON com capacidade para 100 ton./kg.força, com uma matriz confeccionada em aço carbono com espessura de 4 mm, comprimento 25 cm, diâmetro 5 cm e um socador. Foi padronizada a quantidade de massa para a produção de cada briquete, e este foi compactado a 20 ton/kg.força, permanecendo em repouso na prensa por 10 min. E, logo após, retirou-se o briquete *in natura* densificado da prensa. Todos os briquetes produzidos *in natura* foram armazenados e, seguidos para serem caracterizados.

Método para briquete carbonizado

As matérias primas após serem preparadas anteriormente, foram submetidas à carbonização em forno tipo mufla a 200 °C por 1h, separadamente. Os pós de carvão das biomassas carbonizadas também foram padronizados a quantidade de massa para a produção de cada briquete, segundo a Tabela 1, sendo adicionado a cada mistura aglutinante (solução de amido de mandioca).

Em seguida, cada composição foi compactada em prensa hidráulica da marca MARCON a 20 ton./kg.força, permanecendo em repouso na prensa por 10 min. E, logo após, a densificação de cada briquete carbonizado, estes foram armazenados para devidas caracterizações.

Técnicas de Caracterização

As análises de caracterização físicas e químicas foram realizadas no Laboratório de Resíduos Sólidos (LABRES)/CCTA/UFCG, com exceção do poder calorífico inferior que foi submetido para ser analisado em laboratório parceiro na UFPB (E, que até o presente momento da escrita deste relatório não foi possível a obter o resultado desta análise, em virtude da Pandemia COVID 19). Todos os parâmetros e métodos foram seguidos, conforme exposto na Tabela 2:

Tabela 2. Análises com os respectivos métodos

Análises	Métodos
Umidade (U%)	NBR 8293 da ABNT
Materiais Voláteis (MV%)	NBR 8112 da ABNT
Cinzas (CZ%)	
Carbono Fixo (CF%)	
Densidade aparente (g/cm ³)	Método Estereométrico
Densidade energética (Gcal m ⁻³)	PROTÁSIO et al., (2012)
Poder calorífico Inferior (PCS, em J/kg)	NBR 8633/84 da ABNT

Análises Estatísticas

As análises Imediatas referentes aos briquetes foram submetidas à análise estatística descritiva.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os briquetes na forma *in natura* e carbonizados podem ser visualizados na Figura 1. Em uma visão macroscópica, pode ser relatado que todos os briquetes *in natura* (Figura 1A) apresentaram melhor compactação com aspecto mais resistente do que os briquetes que foram carbonizados. Estes, conforme ilustrado na Figura 1B

exibiram presença de fissuras e corpos com aspectos frágeis, o que pode a ser explicado devido a perda de seus atributos coesivos quando carbonizados.

Figura 1. Imagens dos Briquetes **(A)** *in natura* e **(B)** carbonizados.



Legenda: Briquetes *in natura*: **100C** – 100% casca de coco; **80C20M** – 80% casca de coco e 20% casca e vagem de Moringa; **50CM** – 50% casca de coco, casca e vagem de Moringa; **100M** – 100% de casca e vagem de Moringa; Briquetes Carbonizados: **100Cc** – 100% casca de coco carbonizada; **80C20Mc** – 80% casca de coco e 20% casca e vagem de Moringa carbonizada; **50CMc** – 50% casca de coco, casca e vagem de Moringa carbonizada; **100Mc** – 100% de casca e vagem de Moringa carbonizada.

De Jesus Fonseca de Apresentação (2021) e Pimenta et al. (2015) ambos argumentaram que o processo de densificação são influenciados por fatores como teor de umidade, temperatura de prensagem, tamanho e formato das partículas, espaços vazios, tipos de agentes de ligação e ponto de fusão dos compostos em biomassa. Logo, pode ser pontuado que no desenvolvimento do processo de fabricação dos briquetes carbonizados, neste estudo, não se utilizou temperatura de

prensagem durante a compactação, mas sim apenas a biomassa antes carbonizada a 200 °C, obtendo em partículas menores, e ao serem misturadas com o aglutinante (amido de mandioca) quando prensado, resultaram em espaços vazios, fragmentado.

Para Protásio (2012) o processo de carbonização traz como importante vantagem a sua alta concentração de carbono no combustível como agente de outras finalidades como uma redução do minério de ferro além do fornecimento de energia para forno com altas temperaturas por uma maior faixa de tempo e segundo Araújo (2017) A depender da sua aplicação/utilização, não há tanta necessidade que apresentem um teor elevado de resistência mecânica desde que possua valores compensativos de densidade energética.

Quanto à relação em massa do material para produzir o briquete, houve em média um aproveitamento de 49,3% e 45,3%, respectivamente casca de moringa e casca de coco. Em outras palavras, foram necessários cerca 202,8 g do pó da casca de moringa e 220,7 g de pó de casca de coco para obter a quantidade de 100 g necessárias para a produção de cada briquete.

Perfil Físico-químico dos Briquetes

Na Tabela 3 seguem apresentadas as médias dos valores obtidos para as características físico-químicas dos briquetes produzidos.

Tabela 3. Médias dos valores das repetições obtidos nas análises imediata correspondentes aos briquetes produzidos in natura e carbonizados

BRIQUETE (COMPOSIÇÃO)	PARÂMETROS FÍSICO QUÍMICOS				
	U%	CZ%	MV%	CF%	Densidade (g/cm ³)
100C	13,856	2,802	74,112	23,084	0,656
80C20M	12,846	3,433	73,883	22,683	0,628
50CM	12,461	3,828	74,853	21,318	0,563
100M	12,238	8,197	71,589	20,214	0,842
100Cc	7,943	4,336	53,067	42,596	0,514
80C20Mc	9,869	5,433	51,247	43,319	0,539
50CMc	8,603	7,385	49,522	43,093	0,575
100Mc	8,483	10,232	46,422	43,346	0,634

Legenda: Briquetes *in natura*: **100C** – 100% casca de coco; **80C20M** – 80% casca de coco e 20% casca e vagem de Moringa; **50CM** – 50% casca de coco, casca e vagem de Moringa; **100M** – 100% de casca e vagem de Moringa; Briquetes Carbonizados: **100Cc** – 100% casca de coco carbonizada; **80C20Mc** – 80% casca de coco e 20% casca e vagem de Moringa carbonizada; **50CMc** – 50% casca de coco, casca e vagem de Moringa carbonizada; **100Mc** – 100% de casca e vagem de Moringa carbonizada.

Umidade

Os teores de umidade dos tratamentos variaram de 7,9 a 13,9%, conforme apresentado na Tabela 3. Sendo que a forma *in natura* apresentou maior percentual de umidade em relação à carbonizada, o que já era esperado para o estudo visto que o produto carbonizado ao ser submetido ao tratamento térmico perde água de constituição. Quanto à formulação, pode ser constatado mesmo com a presença do aglutinante, à medida que adiciona casca de Moringa e reduz a casca de coco na composição do bioproduto, a umidade tende a reduzir.

De acordo com alguns autores na literatura, a exemplo de Oshiro (2016), Quirino (1991) e Lucena, Medeiros e Fonseca (2008), o intervalo obtido de umidade está conforme o recomendado, de 8 a 15% de umidade. SACCOL et al (2020) relata que quanto maior o teor de umidade, menor será sua eficiência, pois acarretará num maior consumo energético para a evaporação da água presente na biomassa nos processos de conversão energética, corroborando com os resultados obtidos de umidade na Tabela 3.

No que competem às formulações carbonizadas e *in natura* as formulações carbonizadas apresentaram um teor mais positivo resultando de aproximadamente 4% a menos de umidade, diferença já esperada visto que parte da umidade natural da matéria formuladora do briquete se perde no processo de carbonização.

Cinzas

Segundo Brugnera (2016) e Protásio (2012), o teor de cinza representa a fração inerte da amostra, ou seja, incombustível (parte inorgânica, contendo minerais). Além de apresentar parte da massa total que não irá contribuir no tempo ou poder de queima, acumulando-se após o seu uso. Diante deste contexto, pode ser verificado que os briquetes carbonizados tendenciaram a variação entre 4,3 a 10,2 %, sendo superior ao resultado obtido na formulação *in natura* (entre 2,8 a 8,1%), como consequência do processo de pirólise que ocasiona maior presença de particulados inorgânicos na biomassa submetida ao tratamento supracitado.

Quanto à composição do briquete, pode ser visto que quanto maior for à proporção de casca de moringa na composição do briquete, em ambos os tratamentos - carbonizado e *in natura*, esta biomassa agrega maior quantidade de substâncias inorgânica ao produto obtido.

Materiais Voláteis

Os materiais voláteis ou extrativos voláteis representam a proporção atuante na queima direta do composto, pois se degradam mais rapidamente e contribuem na pirólise mantendo a chama em combustão. (SACCOL et al, 2020). Segundo Pohlmann (2014) materiais com alto teor de voláteis, apresentam maior combustibilidade podendo ser melhor aproveitado para altas taxas de injeção, pois tem maior poder de queima, mas pouca resistência mantendo esse poder por um intervalo curto de tempo.

Apartir do exposto é possível argumentar que os briquetes submetidos à carbonização prévia obtiveram variação de 20% a menos quando comparados ao *in natura*, em virtude de já ter sido submetido ao processo de pirólise. Contudo, ainda assim os briquetes carbonizados seguem dentro da faixa de concentração aceitável, o que também pode favorecer uma combustão mais rápida ao biocombustível sólido, corroborando com estudo similar obtido por Nazari, San; Atan, (2019).

Carbono fixo

Os valores médios para o parâmetro de carbono fixo variaram para o *in natura* entre 20,2 a 23,0% enquanto para o tratamento de briquete na forma carbonizado foram entre 42,5 a 43,3%. Logo, interpreta-se que o tratamento na forma *in natura* prolonga ao biocombustível sólido maior tempo de aquecimento, devido à baixa liberação de calor, e conseqüentemente, maior poder de queima em relação aos briquetes produzidos na forma carbonizado (carvão vegetal), em virtude deste já ter sido submetido ao tratamento térmico. (NAZARI, SAN; ATAN, 2019).

Em contrapartida, acredita-se que o processo de pirólise tenha promovido melhor armazenamento de energia conservada no tratamento carbonizado do que no *in natura* (tal comprovação poderia ter sido corroborada na análise de poder calorífico superior PCS, em andamento em laboratório parceiro até o presente momento do fechamento deste relatório final de PIBIC, devido à situação do quadro de Pandemia da COVID -19).

Outro ponto a argumentar sobre essa diferença de valores entre ambos os tratamentos submetidos à produção de briquete neste trabalho, remete ao fato que enquanto os materiais voláteis contidos na biomassa se degradam no processo de carbonização, a temperatura e tempo de queima não são suficientes para interferir

significativamente no percentual de carbono presente no briquete. Pois, para briquetar o material já carbonizado, o fator de carbono fixo foi acumulado em virtude de se manter a padronização da quantidade de biomassa utilizada na confecção do briquete. Ou seja, para produzir na forma *in natura* foram necessários 100 g de biomassa em quanto que a forma carbonizada foi o dobro em massa.

Densidade Aparente

As densidades aparentes aferidas foram entre 0,563 a 0,842 g/cm³ forma *in natura* e 0,514 a 0,634 g/cm³ para os carbonizados. Pode ser discutido que briquetes na forma *in natura* apresentaram melhor desempenho no ato da compactação e aderência das partículas, ou seja, obtiveram em relação aos carbonizados maior firmeza e resistência ao ser manuseado, transportado e armazenando, corroborando com estudos de Jesus Fonseca de Apresentação (2021) e Kaliyan e Morey (2009). E, em contrapartida os carbonizados apesar de terem sido densificados com partículas bem menores, pirolisadas e com a presença de aglutinante, demonstraram fragilidade na compactação apresentando má aderência entre as partículas e promovendo fissuras.

CONCLUSÃO

Os resultados expostos nos levam a afirmar que os briquetes foram produzidos em nível de bancada de laboratório, e entre os tratamentos propostos *in natura* e carbonizado, todos apresentaram boa briquetagem com exceção dos carbonizados que assumiram presença de fissuras e baixa resistência. E, portanto, justifica-se a adição do aglutinante (amido de mandioca) para melhorar a agregação das partículas quando densificado a biomassa carbonizada.

Os briquetes *in natura* e carbonizados foram caracterizados por parâmetros físico-químicos, exceto o energético que foi submetido a análise em laboratório parceiro em outra instituição, no entanto não foi possível obter seus resultados por motivos da Pandemia da COVID 19, com isso a análise dos dados expostos nos proporcionou uma análise satisfatória revelando para ambos os tratamentos *in natura* e carbonizado, concentrações baixas de umidade, cinzas, e divergências esperadas para as análises de carbonos fixos e materiais voláteis, todos os índices

dentro do limite aceitável, e cumprindo com a premissa de mostrar a diversidade de uso dessa tecnologia.

Para os parâmetros analisados pode ser constatado que as composições com maior quantidade de biomassa de coco obteve parâmetros mais positivos, não inviabilizando a utilização da moringa que também mostrou potencial, afirmando que há a possibilidade de se produzir briquetes com diversos tipos de matérias.

Aconselha se ainda a continuação dessa pesquisa com o complemento das análises que não foram realizadas por motivos de força maior e com implantação de outros tipos de ligantes, biomassa e metodologias de briquetagem diferentes.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PIBIC/CNPq-UFCG- Brasil

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P.H. de M. **Utilização de resíduos de milho e sorgo como aglutinantes na produção de briquetes de resíduos de coco**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal), Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2017. 30p.
- BONASSA, G.; SCHNEIDER, L.T.; CANEVER, V.B.; CREMONEZ, P.A.; FRIGO, E.P.; DIETER, J.; TELEKEN, J. G. Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2365–2378, 2018.
- BRÁS, A.M; MIRANDA, F. HIPÓLITO, L; DIAS, L.S. **Biomassa e Produção de Energia**. 2008. Disponível em: <http://portal.ipvc.pt/images/ipvc/esa/pdf/biomassa.pdf>.
- BRUGNERA, A B. **Estudo da produção de briquetes com resíduos da indústria de carvão com aglutinantes**. Dissertação (Mestrado em Bioenergia), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR. 2016. 60p.
- DE JESUS FONSECA DE APRESENTAÇÃO, M. **Energia de Biomassa como uma Perspectiva para o Problema Energético e Ambiental de São Tomé e Príncipe**. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP. 2021. 78p.
- KALIYAN, N.; MOREY, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009.
- KONGPRASERT, N; WANGPHANICH, P; JUTILARPTAVORN, A. Charcoal Briquetes from Madan Wood Waste as na Alternative Energy in Thailand. **Procedia Manufacturing**, v. 30, p. 128-135, 2019.
- LUCENA, D.A; MEDEIROS, R.D de; FONSECA, U.T. Aglomeração de moinha de carvão vegetal e sua possível aplicação em alto-forno e geração de energia. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, v.4, n.4, p.1-6, 2008.
- MAO, G.; HUANG, N.; CHEN, L.; WANG, H. Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1081–1090, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.173>.
- NAZARI, M. M.; SAN, C. P.; ATAN, N. A. Combustion performance of biomass composite briquette from rice husk and banana residue. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, v. 9, n. 2, p. 455–460, 2019.
- OSHIRO, T.L. **Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos lignocelulósicos**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Londrina, PR. 2016, 78f.
- PAULA, L.E.deR. **Produção e avaliação de briquete de resíduos lignocelulósicos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira), Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras - MG. 2010. 72p.

PAULA, L.E.deR.; TUGILHO, P.F.; REZENDE, R.N.; ASSIS, C.O.de; BALIZA, A.E.R. Produção e Avaliação de Briquetes Lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p.103-112, abr./jun. 2011.

PIMENTA, A.S.; SANTOS, R.C dos; CARNEIRO, A.C. de O.; CASTRO, R.V.O. Utilização de resíduos de coco (Cocos nucifera) carbonizado para a produção de briquetes. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 137-144, 2015.

POHLMANN, J.G. **Avaliação da combustibilidade e reatividade de biomassas termicamente tratadas e carvões com vistas à injeção em altos fornos**. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2014. 154f.

PROTÁSIO, T.deP.; BUFALINO, L.; MENDES, R.F.; RIBEIRO, M.X.; TRUGILHO, P.F.; LEITE, E.R.daS.N. Torrefação e carbonização de briquetes e resíduos do processamento dos grão de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n. 11, p. 1252-1258. Campina Grande – PB, 2012.

QUIRINO, W.F. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: LPF/IBAMA, 1991. (série técnica, 13). Disponível em: < www.mundoflorestal.com.br/arquivos/indice.pdf>. Acesso em: 17/03/2021

SACCOL, A.F.O.; WELTER, C.A.; ROSA, R.C. da; COLDEBELLA, R.; LONGHI, S.J; FARIAS, J.A.de; PEDRAZZI, C. Aproveitamento da biomassa florestal na fabricação de briquetes. **Revista Matéria**, v. 25, n.2. Rio de Janeiro, 2020.

SILVA, C.M.S da; CARNEIRO, A.C.O; VITAL, B.R.; FIGUEIRÓ, C.G.; FIALHO, L.F; MAGALHÃES, M.Ade; CARVALHO, A.G; CÂNDIDO, W.L. Biomass torrefaction for energy purposes – Definitions and an overview of challenges and opportunities in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2426–2432, 2018.

WIDJAYA, E.R.; CHEN, G.; BOWTELL, L.; HILLS, C. Gasification of non-woody biomass: A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 89, p. 184193, 2018.

ZANELLA, K. **Produção de briquetes de carvão vegetal por meio do beneficiamento do bagaço da laranja (Citrus Sinensis)**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP. 2018. 134p.

ZHANG, G.; SUN, Y.; XU, Y. Review of briquette binders and briquetting mechanism. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 477–487, 2018.