Caracterização e Densificação Energética de Blendas de Resíduos Agroindustriais

Characterization and Energy Densification of Agroindustrial Residues Blends

Nicole C. Silva,^{a,*} Claudio De Conti,^a Elias Ricardo D. Padilla,^b Andrea C. De Conti^a

^a Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Departamento de Engenharia de Energia, Campus de Rosana, Av. Dos Barrageiros 1881, Primavera, CEP 19273-000, Rosana-SP, Brasil.

^b Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Departamento de Engenharia Mecânica, Campus de Guaratinguetá, Av. Ariberto Pereira da Cunha 333, CEP 12516-410, Guaratinguetá-SP, Brasil.

*E-mail: nicole.costa@unesp.br

Recebido em: 19 de Junho de 2020

Aceito em: 15 de Abril de 2021

Publicado online: 22 de Outubro de 2021

The production of briquettes with different proportions of biomass presents an alternative for energy purposes, making the logistics of the process and increasing its efficiency viable. In this sense, the present work aimed at the energetic characterization of raw cassava rhizome (CM), bagasse (BC), and sugar cane straw (PC) blends. Four blends with different proportions of biomass were determined, based on 270 g of total residues, as follows: blend I (66.66% CM, 16.67% BC and 16.67% PC), blend II (16.67% CM, 16.67% BC and 66.66% PC), blend III (33.33% CM, 33.34% BC and 33.33% PC) and blend IV (16.67% CM, 66.66% BC and 16.67% PC). We did the material's chemical characterization through the immediate analysis, following the norms ASTM-D3174 and ASTM-D3175. Twelve briquettes were produced for each blend, with 42 mesh granulometry, through energy densification. We used a manual hydraulic press exerting a 10 tons-force and pressing time of 60s. For 72 hours, we did the volumetric expansion. Blend I presented better performance among all the blends, showing 13.13% for fixed carbon, 5,841.69 kcal.kg⁻¹ for PCS, 5,544.93 Mcal/m³ for energy density, 1.251 MPa for mechanical resistance, respectively. All the blends presented optimal stacking conditions. The smallest volumetric expansion occurred in the blend I briquettes produced, showing a result of 7.06%. We found that adding cassava strain to the briquettes caused the briquettes to have a lower friability index. Therefore, it follows that the cassava starch in the raw cassava rhizome acted as the natural binder of the residue.

Keywords: Biomass; energy density; mechanical strength; strain in cassava.

1. Introdução

O crescimento acelerado da população e o aumento da produção dos mais diversos produtos do mercado demandam uma grande quantidade de energia, onde há uma enorme preocupação em relação à utilização de energia oriunda de fontes fósseis.² Diversos países procuram um desenvolvimento contínuo, buscando a utilização de fontes de energias renováveis, colaborando para um menor impacto ambiental e melhora na qualidade de vida.² A utilização da biomassa para a geração de energia apresenta inúmeros benefícios inerentes a qualidade de energia, impactos na saúde humana e no meio ambiente.³

O aproveitamento energético da biomassa vegetal é uma forma relativamente barata e tecnologicamente viável para a produção de energia,⁴ como na produção de resíduos de bagaço de cana-de-açúcar, palha de cana-de-açúcar e cepa de mandioca. Segundo Lima *et al.*,² espera-se um aproveitamento exponencial desses resíduos como combustíveis sólidos para a produção de energia.

Diante desse cenário, uma forma de realizar esse aproveitamento é através da compactação dos resíduos, como pellets e briquetes, para a obtenção de combustíveis sólidos.⁵

A briquetagem é o nome dado ao processo de compactação de resíduos sólidos, sendo uma excelente alternativa para aproveitamento da biomassa, visto que o espaço ocupado pelos briquetes tem uma redução de 4 a 6 vezes em comparação à biomassa não compactada.⁶ Essa variação de volume facilita a logística englobada no processo, obtendo um combustível homogêneo, e de maior densidade energética, resultando assim em uma maior eficiência na transformação de energia.⁷

Para a utilização da biomassa de forma energética é recomendado realizar uma caracterização química do material e também fazer a caracterização física do briquete produzido com esse material.⁸ A caracterização química é realizada através do estudo dos materiais voláteis, teor de carbono fixo, cinzas e umidade da biomassa.⁹ Os voláteis representam a facilidade da queima da biomassa, determinando a fração mássica que se volatiliza durante o aquecimento, enquanto o carbono fixo representa a quantidade de carbono presente na biomassa após a perda

de seu conteúdo volátil.¹⁰ A determinação do teor de cinzas fornece informações aproximadas da combustibilidade dos resíduos.¹¹

A caracterização física do briquete é realizada através da friabilidade, que é um parâmetro de qualidade definido pela capacidade de materiais compactados se fragmentarem em pequenos pedaços de acordo com seu manuseio.¹²

Esse índice de friabilidade é calculado experimentalmente através da perda de massa do briquete quando exposto a eventos como transporte e armazenamento, pois os briquetes possuem maior tendência a sofrer quebras, se comparado aos pellets.¹³

Esse trabalho tem como objetivo analisar blendas formadas por resíduos de bagaço de cana-de-açúcar, palha de cana-de-açúcar e cepa de mandioca, a fim de avaliar se as blendas em estudo possuem bons resultados para utilização no aproveitamento energético e também caracterizar fisicamente os briquetes confeccionados para inferir qual deles produzirá um melhor briquete para a aplicação como combustível sólido.

2. Materiais e Métodos

2.1. Preparação e caracterização dos materiais

Inicialmente foi realizada a coleta dos materiais, sendo a cepa de mandioca proveniente do assentamento Porto Maria, em Rosana-SP, e o bagaço e a Palha de uma empresa sulco-alcooleira localizada na região de Teodoro Sampaio-SP. Após a coleta, houve uma pré-secagem ao ar livre por 24 horas e posteriormente, secagem em estufa com circulação de ar, marca MARCONI, modelo MA 035/100 de todos os materiais, até chegarem à umidade de 12%. A umidade foi medida utilizando-se uma balança determinadora de umidade OHAUS MB25. Os materiais foram, então, moídos em moinho de facas, marca MARCONI, modelo MA1680 e peneirados em um agitador de peneira de batida intermitente, marca MARCONI, modelo MA750. Seguindo a norma CEN/TS 15149-2:2006³¹ fez-se a separação granulométrica utilizando peneiras de 18 mesh, 20 mesh, 42 mesh e 60 mesh. Padronizou-se o tamanho das partículas em todos os materiais, de forma que se caracterizou partículas de 42 mesh (0,441mm), ou seja, aquelas que passaram pela peneira de 20 mesh e ficaram retidas na peneira de 42 mesh.

Foi estabelecida a preparação de quatro blendas, contendo proporções distintas de material para cada uma delas, onde utilizou-se como base total 270 g de material em cada blenda confeccionada. Essa quantidade de material, para cada blenda, foi calculada para a confecção de 12 briquetes de 20 gramas cada. As proporções foram feitas de modo que cada blenda apresentasse uma proporção maior de um componente específico, a fim de verificar se a presença desse elemento geraria um melhor desempenho energético. A blenda III foi confeccionada com todas as

biomassas em proporções iguais, para inferir se acarretaria num melhor briquete ao comparado as outras blendas. As proporções propostas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição percentual das blendas de Bagaço de cana-de-açúcar, Cepa de Mandioca e Palha de cana-de-açúcar

Blendas	Composição (%)		
	Bagaço	Cepa de Mandioca	Palha
I	16,67	66,66	16,67
II	16,67	16,67	66,66
III	33,33	33,34	33,33
IV	66,66	16,67	16,67

Após a caracterização das blendas, foi determinado à densidade a granel, utilizando uma balança semi-analítica (marle AD500) e uma proveta de 200 ml. O cálculo da densidade foi realizado a partir da relação entre a massa do material e seu volume correspondente, descrito na Equação 1.

$$D_g = \frac{m_i}{V_i} \quad (1)$$

onde: D_g é a densidade a granel (g/cm^3); m_i é a massa inicial da amostra (g); V_i é o volume inicial da amostra contido na proveta (cm^3).

2.2. Análise imediata e poder calorífico superior (PCS)

A análise imediata dos materiais determina o percentual de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo. A análise imediata foi inferida com base nas normas: ASTM D3175³⁰ (Teor de Voláteis), ASTM D-3174³² (Teor de cinzas). Todas as análises foram realizadas em triplicata. A umidade dos materiais foi determinada através de um analisador de umidade OHAUS MB25.

O processo para determinação do teor de voláteis foi realizado utilizando aproximadamente 1g de cada blenda, adicionado em cadinho de porcelana. Posteriormente os cadinhos foram dispostos em uma mufla (SPLABOR SP-1200DRP7/G) previamente aquecida a $900 \pm 10^\circ\text{C}$ durante um período de 7 minutos. Após o tempo necessário, os cadinhos foram retirados e enviados a um dessecador com sílica para resfriamento. Logo após foi determinado o teor de voláteis conforme a Equação 2.

$$\text{Teor de Voláteis (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_a} \times 100 \quad (2)$$

onde: m_i é a massa inicial do cadinho (g); m_f é a massa final do cadinho (g); m_a é a massa da amostra em (g).

Para determinação do teor de cinzas os cadinhos foram inseridos em uma mufla aquecida a $700 \pm 10^\circ\text{C}$, permanecendo por um período de 6 horas. Posteriormente,

retirou-se os cadinhos da mufla que foram dispostos no dessecador para resfriamento. Logo após foi determinado o teor de cinzas conforme a Equação 3.

$$\text{Teor de Cinzas (\%)} = \frac{mf - mi}{ma} \times 100 \quad (3)$$

onde: mi é a massa inicial do cadinho (g); mf é a massa final do cadinho (g); ma é a massa da amostra (g). O teor de carbono fixo foi determinado subtraindo 100% a soma dos teores de voláteis e cinzas, calculadas anteriormente.

2.3. Confecção e teste dos briquetes

Para confecção dos briquetes, utilizou-se uma balança analítica, estimando a massa correspondente a 20 g para cada briquete. Foram produzidos 12 briquetes para cada uma das blendas, utilizando-se uma força de 10 toneladas e tempo de prensagem de 60s.¹⁷ No processo de densificação do material não foram utilizados agentes aglutinantes e nem temperatura.

Após a densificação, foi mensurada a massa correspondente de cada briquete, a fim de estabelecer a diferença da massa antes e depois do processo. A expansão volumétrica, consiste em medir a altura e largura do briquetes, utilizando-se um paquímetro digital, durante o período de 1 h, 3 h, 5 h, 7 h, 24 h, 48 h e 72 h após a sua confecção. Com as medidas de altura e largura, faz-se o cálculo do volume, considerando que o briquete é cilíndrico.

2.4. Caracterização físico-mecânica dos briquetes

Resistência à tração por compressão diametral - O teste foi realizado conforme a norma NBR 7222:1983³³. No ensaio foram verificados os valores de deformação máxima e força máxima, onde a resistência foi obtida conforme a Equação 4.

$$f_{t,D} = \frac{2 * F}{\pi * \varnothing * l} \quad (4)$$

onde: $f_{t,D}$ é a resistência à tração por compressão diametral (Mpa); 2 é a constante adimensional; F é a força da carga aplicada (kN); $\varnothing$ é o diâmetro do briquete (mm); l é o comprimento ou altura do briquete, em mm.

Friabilidade - a friabilidade do material foi mensurada através da norma NBR8740³⁴. No teste de friabilidade, os briquetes foram submetidos a um teste em tambor rotativo a fim de avaliar a diferença entre a massa inicial e final dos briquetes. O tambor rotativo foi calibrado para 26 rpm em um período de 20 minutos, onde a friabilidade foi obtida através da Equação 5.

$$\text{Friabilidade (\%)} = \frac{mi - mf}{mi} \times 100 \quad (5)$$

onde: mi é a massa inicial dos briquetes e mf é a massa final dos briquetes.

2.5. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa Statgraphics versão 15.2.05 e Excel 2013. Aplicou-se previamente o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade dos dados e utilizou-se a ANOVA para tratamento estatístico das médias dos ensaios. Empregou-se o teste Tukey de comparação de médias. Todas as análises foram realizadas a 95% de nível de confiança ($\alpha = 0,05$).

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise imediata

Os resultados da análise imediata são apresentados conforme a Tabela 2. Observa-se que o teor de voláteis encontrado para a blenda IV (66,66% Bagaço de cana-de-açúcar) foi o mais alto dentre todas as blendas. Na literatura é apresentado que o material composto por 100% bagaço de cana-de-açúcar apresenta 87,7% de teor de voláteis,¹⁴ dessa forma verifica-se que a cepa de mandioca e a palha de cana-de-açúcar contribuíram para o aumento do teor de voláteis na blenda IV. Segundo Brand¹⁰ o teor de voláteis e carbono fixo são inversamente proporcionais.

Tabela 2. Análise imediata

Blendas	TV (%)	TC (%)	TCF (%)	PCS (kcal kg ⁻¹)
I	81,48 a	5,39 a	13,13 a	5841,69
II	90,79 a	5,26 a	3,94 ab	4077,58
III	88,46 a	7,92 a	3,63 ab	4166,67
IV	93,51 a	6,07 a	0,42 b	4341,26

*Médias seguidas por letras distintas indica diferença estatística no Teste deTukey a um nível de 5% de significância

A blenda I (66,66% cepa de mandioca) apresentou o teor de carbono fixo superior às demais blendas. Conforme Brugnera,¹⁵ quanto maior o teor de carbono fixo e, por conseguinte, menor o teor de voláteis, maior será o conteúdo energético do combustível. O alto teor de cinzas composto da blenda III, pode ser resultante da contaminação e armazenamento dos resíduos. Segundo Santos e colaboradores¹⁶ os resíduos de cana-de-açúcar são estocados em grandes pátios de usinas sem nenhuma técnica ou planejamento, resultando na deteriorização, envelhecimento e decomposição do resíduo. A blenda II (66,66% Palha de cana-de-açúcar) apresentou PCS de 4077,58 kcal.kg⁻¹.

Resultados obtidos para briquetes produzidos com palha de cana-de-açúcar apresentaram valores no intervalo entre 3733 kcal kg⁻¹ e 4177 kcal kg⁻¹.¹⁷ A blenda IV apresentou

PCS de 4341,26 kcal kg⁻¹, sendo superior ao encontrado por Christossomo¹⁸ (4134,22 kcal kg⁻¹) para briquetes produzidos com bagaço de cana-de-açúcar, mostrando que a inclusão da cepa de mandioca e palha de cana-de-açúcar, colaborou para o aumento do PCS.

A blenda I destaca-se pelo seu elevado PCS e o alto índice de carbono fixo, que são características qualitativas para a determinação da viabilidade energética de briquetes. Conforme Brand¹⁰ o poder calorífico pode ser influenciado pelo tipo de biomassa, sua composição química, umidade e cinzas.

Pode-se observar que a blenda I e IV obtiveram diferença estatística significativa para teor de carbono fixo. Isso se deve ao fato de que a maior concentração de cepa de mandioca existente na blenda I influenciou na melhora das propriedades da blenda ao ser inserida em quantidade superior aos demais materiais constituintes.

3.2. Expansão volumétrica e resistência mecânica

Os resultados para a expansão volumétrica das blendas e resistência mecânica dos briquetes estão dispostos na Tabela 3. Verifica-se que a maior expansão volumétrica ocorreu para os briquetes produzido na blenda IV (66,66% Bagaço de cana-de-açúcar), enquanto a menor expansão aconteceu para os briquetes produzidos na blenda I (66,66% Cepa de mandioca).

Tabela 3. Expansão volumétrica e resistência mecânica dos briquetes

Blendas	Expansão Volumétrica (%)	Resistência Mecânica (MPa)*
I	7,06 b	1,251a
II	9,67 b	0,507b
III	11,20 b	0,695c
IV	12,03 a	0,498c

*Médias seguidas por letras distintas indica diferença estatística no Teste de Tukey a um nível de 5% de significância

A maior expansão dos briquetes produzidos através da blenda IV indica que não ocorreu uma boa compactação entre as partículas, influenciando diretamente em uma menor resistência mecânica.¹⁸ A blenda IV apresentou um percentual de expansão de 12,03%, onde Brasil e colaboradores,¹⁹ obtiveram valores de expansão de 23% para briquetes de bagaço de cana-de-açúcar.

A menor expansão volumétrica composta por briquetes com maior percentual de cepa de mandioca indica uma propensão na utilização desse resíduo para a briquetagem, onde a mesma apresenta índices significativos de amido, aglutinante natural do resíduo,²⁰ resultando numa melhor compactação das partículas e menor expansão dos briquetes.

Para a blenda II (66,66% Palha de cana-de-açúcar) obteve-se percentual 9,67%, onde Silva e colaboradores encontraram resultados de (3,85%).²¹ Essa diferença esta relacionada ao percentual distinto de resíduos contidos na blenda.

Segundo Cavalcante e colaboradores,²² briquetes produzidos utilizando amido de mandioca como aglutinante apresentaram maior resistência mecânica dentre todos os tratamentos estudados, indicando um bom desempenho na utilização do resíduo de cepa de mandioca no processo de briquetagem.

A blenda IV apresentou menor resistência mecânica dentre as blendas em estudo (0,498 MPa), onde obteve maior performance à resultados encontrados por Silva,²¹ para briquetes produzidos com 100% Bagaço de cana-de-açúcar (0,270 MPa).

Observa-se que as blendas I e II apresentaram resultado de resistência mecânica distintos, verificando que cada resíduo apresenta um comportamento quando realizado a mistura de diferentes percentuais em cada blenda.

3.3. Friabilidade

Observa-se que a blenda IV (Tabela 4) apresentou o maior índice de friabilidade dentre os demais resultados. Observa-se que o maior valor de friabilidade é classificado como pouco friável conforme resultados de Benicio,²⁵ Masullo e colaboradores,²⁴ verificaram que ao adicionar bagaço de cana-de-açúcar na composição dos briquetes, influenciava na maior compactação das partículas, sendo o fato explicado pelas condições fibrilares do material que os tornam menos friáveis. De acordo com Chrisostomo,¹⁸ quanto menor a friabilidade, maior a resistência do briquete, sendo desejável que os briquetes apresentem menores valores nesse ensaio.

Conforme Benicio,²⁵ é possível diminuir a friabilidade de briquetes aumentando a sua pressão de compactação e umidade, onde esses fatores exercem interferências na estrutura dos resíduos. Os briquetes produzidos não sofreram alterações de pressão e nem diferença significativa de umidade, justificando sua homogeneidade das características de friabilidade.

Tabela 4. Índice de Friabilidade das Blendas

Blendas	Friabilidade (%)
I	3,68 a
II	13,15 a
III	8,32 a
IV	13,38 a

*Médias seguidas por letras distintas indica diferença estatística no Teste de Tukey a um nível de 5% de significância

3.4. Força Máxima e altura de empilhamento.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos das características de empilhamento das blendas. Para a blenda IV que obteve menor resistência mecânica (0,498 MPa), a altura máxima encontrada foi 37 m. A blenda I apresentou resistência mecânica de (1,251 MPa) e maior altura e quantidade de empilhamento dos briquetes, apresentando

uma diferença significativa dentre todas as blendas. Os resultados obtidos por Silva e colaboradores, para altura de empilhamento de briquetes de bagaço e palha de cana-de-açúcar foram 20m e 59m, respectivamente.²¹ Galpões de armazenamento e estocagem geralmente têm alturas entre 10 e 15 metros livres do piso até o teto,²⁶ portanto, pode-se considerar que todas as blendas apresentaram condições ótimas para empilhamento.

Tabela 5. Força máxima e altura de empilhamento

Blendas	(kgf)	(unid.)	(m)
I	144,40 a	2407 a	85 a
II	61,16 c	1019 c	36 c
III	84,54 b	1409 b	49 b
IV	63,51 c	1059 c	37 c

3.5. Densidade aparente e energética

Os resultados para densidade aparente e energética dos briquetes de cada blenda confeccionada são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Densidade energética dos briquetes

Blendas	Densidade Aparente (kg m ⁻³)	Densidade Energética (Mcal m ⁻³)
I	950 a	5.544,93 a
II	900 ab	3.673,51 b
III	940 a	3.900,57 b
IV	870 b	3.769,12 b

Após a briquetagem, observou-se que os resultados variaram de 870 kg.m⁻³ a 950 kg.m⁻³, onde estão dentro da faixa usual apresentada por Dias,¹² que afirma valores de densidade aparente para briquetes produzidos no Brasil entre 500 a 1.200 kg m⁻³.

Segundo Konishi,²⁷ a densidade aparente de briquetes é um parâmetro importante, pois define as condições de estocagem, armazenamento e transporte, além de influenciar diretamente na densidade energética dos briquetes. A blenda IV (66,66% Bagaço de cana-de-açúcar) apresentou resultado superior ao encontrado por Nakashima e colaboradores para briquetes produzidos com bagaço de palha de açúcar, com densidade aparente de 840,5 kg.m⁻³.²⁸

A blenda II (66,66% Palha de cana-de-açúcar) apresentou valor similar ao encontrado por Masullo e colaboradores de 890 kg m⁻³ para briquetes produzidos com palha de cana-de-açúcar.²⁴

De acordo com Petricoski,¹³ para a utilização dos briquetes como combustível é desejável alta densidade energética, ou seja, maior quantidade de energia por unidade de volume. Observa-se que a blenda I apresentou maior densidade energética ao comparado por Cavalcante e colaboradores,²² em estudo de briquetes produzidos utilizando amido de mandioca como aglutinante, obtendo

resultado de densidade energética de 2.797,07 Mcal/m⁻³. Os resultados de densidade energética apresentaram condições satisfatórias se comparados a estudo de briquetes produzidos por cavacos e lasca de madeira, onde encontraram valores de 3.899,20 Mcal/m⁻³ e 4644,70 Mcal/m⁻³, respectivamente.²⁹

4. Conclusões

Verificou-se que todas as blendas apresentaram resultados satisfatórios referente ao teor de voláteis e o teor de carbono fixo, porém apresentaram alto teores de cinzas. Infere-se que os materiais são estocados sem nenhuma técnica ou planejamento, resultando em altos índices de impurezas, afetando diretamente suas características. Recomenda-se em estudos futuros a implementação de técnicas como o peneiramento para a separação dos finos onde se encontram o maior percentual de cinzas.

Os briquetes produzidos com maior percentual de cepa de mandioca (blenda I) apresentaram melhor desempenho nos resultados de densidade energética, teor de carbono fixo, resistência mecânica e poder calorífico, que são parâmetros qualitativos para a determinação do potencial energético.

A utilização de um maior percentual de cepa de mandioca (blenda I), indica uma propensão para a confecção de briquetes, onde os resultados apresentaram baixa friabilidade, menor expansão volumétrica, maior força de ruptura e maior altura de empilhamento, indicando que a cepa de mandioca além de aprimorar as propriedades energéticas, comporta-se também como um aglutinante natural nos briquetes.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) #2018/14827-8.

Referências Bibliográficas

- Deves, R.; Francio N.; *A importância do aproveitamento dos resíduos de madeira como alternativa de energia renovável da empresa briquetes alto da glória*, 2007. [Link]
- Lima, R. A.; *A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: Uma análise no cenário da mudança de clima*. Revista Direito E-nergia **2012**. [Link]
- Cardoso, M. L.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012. [Link]
- Freitas, G. M.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016. [Link]
- Nones, D. L.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014. [Link]
- Barros, T. D.; *Produção de briquestes*, Agência Embrapa de informação e tecnologia. [Link]

7. Sítio do Instituto Brasileiro de pellets, biomassa e briquetes. Disponível em: <<https://abibbrasil.wixsite.com/institutobrpellets/briquete>>. Acesso em: 17 junho 2020. [Link]
8. Marafon, A. C.; Santiago, A. D.; Amaral, A. F. C.; Bierhals, A. N.; Paiva, H. L.; Guimarães, V. S.; Uso da biomassa para a geração de energia, Embrapa, 2016. [Link]
9. Oliveira, R. S.; *Tese de Doutorado*, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2017. [Link]
10. Brand, M. A.; *Energia de Biomassa Florestal*, Interciência: Rio de Janeiro, 2010. [Link]
11. Gonçalves J. E.; Sartori M. P. M.; Leão A. L.; Energia de Briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos de madeira *Eucalyptus grandis* **2010**, 13, 657. [Link]
12. Martins, P. M.; Benício, L. E.; Júnior, D. F. A.; Almeida, B. R.; Carvalho, M. A.; Yamaji, M. F.; Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e celulosa. *Revista da Árvore* **2016**, 40. [CrossRef]
13. Petricoski, S. M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2017. [Link]
14. Fernandez, B. O.; Da Róz, A. L.; Gonçalves, B. F.; Nakashima, G. T.; Yamaji, F. M. Qualidade de Briquetes de Cana-de-Açúcar Produzidos com Aglutinante Amido de Milho. *Revista Virtual de Química* **2018**, 10, 142. [CrossRef]
15. Brugnera, A. B.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2016. [Link]
16. Santos, M. L.; Lima, O. J.; Nassar, E. J.; Ciuffi, K. J.; Calefi, P. S.; Estudo das condições de Estocagem do bagaço de cana de açúcar por análise térmica. *Química Nova* **2011**, 3, 507. [CrossRef]
17. Padilla, E. R. D.; Pires, I. C. S. A.; Yamaji, F. M.; Fandiño, J. M. M.; Produção e Caracterização Físico-Mecânica de Briquetes de Fibra de Coco e Palha de Cana-de-Açúcar. *Revista Virtual de Química* **2016**, 8, 1334. [CrossRef]
18. Chrisostomo, W.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de São Carlos, 2011. [Link]
19. Brasil, D. S.; Martins, M. P.; Nakashima, G. T.; Yamaji, F. M.; Use of sugarcane and candeia waste for solid biofuels production. *Revista Floresta* **2014**, 45, 185. [CrossRef]
20. Embrapa, *Subprodutos da mandioca – composição dos resíduos sólidos*, 2005. [Link]
21. Silva, D. A.; Yamaji, F. M.; Barros, J. L.; Róz, A. L.; Nakashima, G. T.; Caracterização da biomassa para briquetagem. *Revista Floresta* **2015**, 45, 713. [CrossRef]
22. Cavalcante, A. K. L.; Vale, A.; Galvão, L. G. O.; Chaves, B. S.; *Resumo do 3º Congresso Brasileiro de Tecnologia e Ciência da Madeira*, Florianópolis, Brasil, 2017. [Link]
23. Pereira, F. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Viçosa, 2009. [Link]
24. Masullo, L. S.; Sant’Anna Alesi, L.; Quadros, T. M. C.; da Silva, D. A.; de Pádua, F. A.; Yamaji, F. M. Uso de Blendas Contendo Diferentes Proporções de Palha e Bagaço de Cana-de-Açúcar para Produção de Briquete. *Revista Virtual de Química* **2018**, 10, 641. [CrossRef]
25. Benício, E. Lemos.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011. [Link]
26. Sítio da Ramep Equipamento. Disponível em: <https://ramep.com.br/7-caracteristicas-de-um-galpao-ideal/>> Acesso em: 16 junho 2020. [Link]
27. Konishi, P. A.; Hansted, A. L. S.; Nakashima, G. T.; Padilla, E. R. D.; da Róz, A. L.; Sette Júnior, C. R.; Yamaji, F. M.; Influência de Diferentes Condições de Armazenamento nas Propriedades Físico-Mecânicas de Briquetes. *Revista Virtual de Química* **2017**, 9, 1095. [CrossRef]
28. Nakashima, G. T.; Adhmann, I. C. S.; Hansted, A. L. S.; Belini, G. B.; Waldman, W. R.; Yamaji, F. M. Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes. *Revista Virtual de Química* **2017**, 9, 150. [CrossRef]
29. Silva, B. P.; Ruoso, A. C.; Caetano, N. R. Análise do custo de fabricação de briquete de biomassa florestal nas indústrias de bebidas. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering* **2018**, 20, 1. [Link]
30. ASTM. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. [Link]
31. Standards. Solid biofuels - Methods for the determination of particle size distribution. [Link]
32. ASTM. Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. [Link]
33. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7222 Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. [Link]
34. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8740 Determinação do Índice de Quebra e Abrasão. [Link]