

Artigo

Características Mecânicas e Energéticas de Briquetes Produzidos a partir de Diferentes Tipos de Biomassa

Fernandez, B. O.; Gonçalves, B. F.; Pereira, A. C. C. ; Hansted, A. L. S.; Pádua, F. A.; Da Róz, A. L.; Yamaji, F. M.*

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (1), 29-38. Data de publicação na Web: 21 de novembro de 2016

<http://rvq.sbq.org.br>

Mechanical and Energetic Characteristics of Briquettes Produced from Different Types of Biomass

Abstract: With the increasing demand of resources for the production of sustainable energy, the use of solid biofuels becomes an important alternative since biomass is a clean and renewable source of energy. The aim of this study was to compare the characteristics of different types of biomass for the production of briquettes. The raw materials used were the residue of sugarcane, the pine sawdust and red angelim. All materials were used with a moisture content of 10% and particle size (granulometry) retained in the sieves of 20 and 35 mesh. The results show that red angelim briquettes had the greatest mechanical resistance (0,840 MPa) the highest High Heating Value (4,749 kcal/kg), the lower ash content (0.30%) and the lowest longitudinal expansion (5.03%), compared to other biofuels studied. The tests showed the formation of blends might be a viable alternative to the use of various types of raw materials that, alone, could not be used in the production of briquettes.

Keywords: Bioenergy; waste; biomass.

Resumo

Com a necessidade crescente de recursos para a produção de energia sustentável, a utilização de biocombustíveis sólidos torna-se uma alternativa importante uma vez que a biomassa é fonte de energia limpa e renovável. O objetivo deste trabalho foi comparar as características de diferentes tipos de biomassas para a produção de briquetes. As matérias-primas utilizadas foram o bagaço de cana-de-açúcar, as serragens de pinus e de angelim-vermelho. Todos os materiais foram utilizados com um teor de umidade de 10 % e tamanho das partículas (granulometria) retidas nas peneiras de 20 e 35 mesh. Os resultados mostram que os briquetes de angelim-vermelho apresentaram a maior resistência mecânica (0,840 MPa), o maior Poder Calorífico Superior (4.749 kcal/kg), o menor teor de cinzas (0,30 %) e a menor expansão longitudinal (5,03%), se comparado aos outros biocombustíveis estudados. Os ensaios mostraram que a formação de blendas pode ser uma alternativa para viabilizar o aproveitamento de diversos tipos de matérias-primas que, isoladamente, não poderia ser utilizado na produção de briquetes.

Palavras-chave: Bioenergia; resíduos; biomassa.

* Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Rodovia João Leme dos Santos, Km 110 - SP-264, Bairro do Itinga, Sorocaba-SP, Brasil.

✉ fmyamaji@ufscar.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20170005](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170005)

Características Mecânicas e Energéticas de Briquetes Produzidos a partir de Diferentes Tipos de Biomassa

Bianca O. Fernandez,^a Bruna F. Gonçalves,^a Ana C. C. Pereira,^b Ana L. S. Hansted,^a Franciane A. de Pádua,^a Alessandra L. Da Róz,^c Fábio M. Yamaji^{a,*}

^a Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Rodovia João Leme dos Santos, Km 110 - SP-264, Bairro do Itinga, Sorocaba-SP, Brasil.

^b Universidade Federal de Goiás, Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, CEP 74690-900, Goiânia-GO, Brasil.

^c Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo Campus Itapetininga, CEP 18202-000, Itapetininga -SP, Brasil.

* fmyamaji@ufscar.br

Recebido em 28 de outubro de 2016. Aceito para publicação em 16 de novembro de 2016

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

- 2.1. Materiais
- 2.2. Granulometria
- 2.3. Densidade à granel
- 2.4. Teor de Cinzas
- 2.5. Poder Calorífico Superior (PCS)
- 2.6. Confeção dos briquetes
- 2.7. Expansão
- 2.8. Densidade
- 2.9. Teste de tração por compressão diametral
- 2.10. Análise Estatística

3. Análise Estatística

4. Conclusão

1. Introdução

Segundo a IBÁ¹ – Indústria Brasileira de Árvores – em 2015 a área plantada, no Brasil, das espécies mais utilizadas pela indústria de

base florestal, eucalipto e o pinus, totalizaram 7,2 milhões ha. Os principais produtos derivados destas são a celulose e papel, painéis reconstituídos e compensados, madeira serrada e carvão vegetal. Além das espécies citadas, no setor de construção civil,

na indústria de móveis e painéis decorativos é comum o uso de espécies da Amazônia como o angelim-vermelho.² A indústria madeireira tem a característica de gerar grandes volumes de resíduos no processo de beneficiamento de madeira, produzindo serragens, maravalhas, costaneiras, aparas, pó de serra etc.³

Outro resíduo de destaque no cenário brasileiro é o bagaço de cana-de-açúcar. Segundo a CONAB⁴ – Companhia Nacional de Abastecimento - na safra 2015/16 a área plantada com cana-de-açúcar foi de 9,0 milhões de ha, o que gerou grande quantidade de resíduos.

Esses resíduos agroindustriais podem ser utilizados como fonte de energia e aproveitados na produção de biocombustíveis sólidos. A compactação dos resíduos é uma maneira eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa, pois adensa os resíduos da biomassa em uma forma definida, convertendo-a em um material de maior valor comercial denominado briquete.⁵ Os briquetes surgiram como alternativa ao uso da lenha, e podem ser utilizados para a alimentação de caldeiras em processos industriais, existem estudos que inclusive visam a inserção deste biocombustível em sistemas de aquecimento doméstico.⁶

O processo de compactação é recomendado pois aumenta a densidade, diminui o teor de umidade, minimiza a grande variedade de formas e granulometria dos resíduos lignocelulósicos, corrigindo os problemas inerentes aos resíduos antes de serem submetidos ao processo de briquetagem, como a baixa densidade, heterogeneidade, alto teor de umidade entre outros.⁷

Os fatores que influenciam na produção e na qualidade dos briquetes são a densidade,

a umidade e a dimensão dos resíduos.^{8,9} Quanto mais denso o briquete, maior a agregação das partículas e mais resistente o produto final, o que facilita sua estocagem e transporte.¹⁰ O teor de umidade influencia de maneira negativa na queima da biomassa vegetal, pois reduz a quantidade de energia global produzida durante a combustão.⁷ De acordo com os resultados reportados por Borgui,⁸ briquetes confeccionados a partir de biomassa com menor dimensão de partículas (menor granulometria) se mostraram mais resistentes que aqueles produzidos com partículas com maiores dimensões.

O objetivo deste trabalho foi estudar a produção de biocombustíveis sólidos de resíduos lignocelulósicos de pinus, bagaço de cana-de-açúcar, angelim-vermelho e blendas. Os objetivos específicos foram conhecer as propriedades físicas e mecânicas, além de qualificá-los quanto ao potencial para a aplicação como biocombustível sólido na forma de briquete.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

As biomassas utilizadas para a produção dos briquetes foram a serragem de pinus (*Pinus* sp.) coletados em uma serraria na região do município de Itapetininga-SP; o bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) coletado na usina Santa Rosa no município de Porto Feliz-SP e serragem de angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) coletado numa serraria da região de Goiânia-GO. Foram realizados 4 tratamentos para a produção dos briquetes como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Especificação do material em cada tratamento.

Tratamentos	Matéria-prima	Porcentagem de Matéria-prima (%)
T1	Pinus	100
T2	Bagaço de cana-de-açúcar	100
T3	Angelim-vermelho	100
T4	Blendas	33,3(pinus) + 33,3(bagaço) + 33,3(angelim)

2.2. Granulometria

A classificação granulométrica foi realizada com base na norma ASTM D293-96,¹¹ As amostras das serragens foram moídas em moinho de facas tipo Wiley MA340. Foi utilizado 100g de cada material. O equipamento utilizado foi o agitador orbital com batidas intermitentes. Foram utilizadas as peneiras com aberturas de 5, 9, 20, 35, 60, 100 mesh e fundo. A amostra foi inserida no equipamento e o tempo de agitação foi de 5 min. Foi feita a pesagem do material retido

nas peneiras.

2.3. Densidade a granel

As densidades dos resíduos foram obtidas empregando-se o método de pesagem com auxílio de um béquer de 1L e uma balança semi-analítica Shimadzu. A densidade a granel foi determinada para o material com 10% de umidade. A densidade a granel é dada pela equação (Equação 1).

$$Dg = \frac{Ms}{Vr} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

Dg: Densidade a granel (g.cm⁻³);

Ms: Massa seca da amostra (g);

Vr: volume do recipiente utilizado (cm³).

2.4. Teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas foi com base na norma ASTM D 1102-84.¹² Os

cadinhos foram calcinados, pesados e adicionados a cada um deles 1 g da matéria-prima seca. O cadinho foi levado à mufla onde permaneceu durante 6 horas à 700°C. Por fim, retirou-se o cadinho da mufla, esperou-se ocorrer seu resfriamento em dessecador e aferiu-se a massa. A massa do material final contido no cadinho, transformado em porcentagem (do material total) é o resultado do teor de cinzas. O teor de cinzas é dado pela Equação 2.

$$TC = \frac{Pf - Pc}{mi} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

TC= Teor de Cinzas (%);

Pf= Peso do cadinho + amostra final (g);

Pc= Peso do cadinho (g);

Mi= massa da amostra inicial (g).

2.5. Poder calorífico superior (PCS)

A análise de poder calorífico superior (PCS) dos materiais foi realizada no laboratório da Universidade Estadual Júlio de Mesquita – UNESP, campus Itapeva. O poder calorífico superior dos briquetes foi determinado com os materiais previamente secos em estufa (0% de umidade). A análise foi realizada obedecendo à norma ASTM D5865-98¹³ utilizando um calorímetro modelo C5000 e uma bomba calorimétrica ambos da marca IKA.

2.6. Confeção dos briquetes

A granulometria utilizada para a confecção dos briquetes foi a porção retida nas peneiras de 20 e 35 mesh. Esse tamanho de partículas foi escolhido por ser mais adequado à confecção de briquetes em moldes de 35mm de diâmetro. Inicialmente, os materiais foram secos em uma estufa a 100°C, até que atingissem massa constante. Então, com o auxílio de um borrifador de água, foi feito o ajuste para que os resíduos ficassem com 10% de umidade.¹⁴ Foram confeccionados 10 briquetes de cada tratamento. Foi utilizado uma massa de 20g de material para cada corpo-de-prova, utilizando-se um molde de metal cilíndrico de 3,5 cm de diâmetro e 16 cm de altura. A compactação foi em uma prensa hidráulica MA 098/CP da marca Marconi, com uma pressão de 1350 kfg.cm⁻² que foi mantida durante 30 segundos. A prensagem foi feita sem aquecimento e sem adição de aglutinantes.^{14,15}

2.7. Expansão

Logo após a compactação, aferiu-se com um paquímetro digital, a altura e diâmetro de cada briquete. As medições foram realizadas

a cada 24h até atingir a estabilidade. Aferiu-se novamente a altura e o diâmetro dos corpos-de-prova a fim de verificar a taxa de expansão na confecção dos briquetes dos diferentes tratamentos.

2.8. Densidade

A massa de cada briquete foi determinada em balança semi-analítica e o volume estimado, com base nas medidas mensuradas com auxílio de paquímetro digital no momento do ensaio de tração por compressão diametral. A densidade aparente foi determinada através do quociente entre massa e volume de cada briquete.

2.9. Teste de tração por compressão diametral

Realizou-se o teste de tração por compressão diametral, adaptando-se aos briquetes, a norma ABNT NBR 7222¹⁶ destinadas ao concreto. O equipamento utilizado foi a máquina universal de ensaios EMIC DL30000N, com célula de carga de 500 kgf, velocidade 3mm/min., com a carga aplicada no sentido perpendicular à força de compactação (comprimento do briquete). Os testes foram realizados 7 dias após a prensagem dos briquetes. Foram utilizados 10 corpos de prova para cada tratamento.

2.10. Análise estatística

Testes estatísticos, a um nível de significância de 5%, foram efetuados para verificar se há diferença entre as resistências dos tratamentos, empregando-se o software Tinn-R. Os testes aplicados foram: Shapiro-Wilk, para verificar a normalidade da distribuição das repetições; Bartlett, para averiguar a homogeneidade de variâncias entre os tratamentos; seguido da ANOVA e o teste de Tukey.

3. Análise Estatística

As maiores porções dos materiais ficaram retidas nas peneiras de 20 e 35 mesh, Tabela

2. Essas porções foram utilizadas para a produção dos briquetes, devido ao maior rendimento e à adequação do tamanho das partículas ao tamanho do molde utilizado.

Tabela 2. Distribuição granulométrica de cada tratamento.

Tamanho da partícula	Tratamentos			
	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)
5 mesh	3,40	0,00	26,30	9,90
9 mesh	13,70	0,00	29,40	14,37
20 mesh	51,10	92,70	27,80	57,20
35 mesh	19,90	2,30	6,90	9,70
60 mesh	7,50	2,80	4,30	4,87
100 mesh	2,60	1,20	2,90	2,23
Fundo	1,80	1,00	2,40	1,73

O teor de cinzas (Tabela 3) de pinus apresentou resultado maior que o encontrado na literatura, de 0,41%, como reportado por Balloni.¹⁷ Esta diferença pode ser explicada pela contaminação do material, provavelmente, provenientes do local de colheita, corte e armazenamento.¹⁸ O teor de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar se mostrou menor se comparado aos resultados de Chrisostomo,¹⁴ que reportou o teor de cinzas de 8,63 %; tal diferença, provavelmente é resultado do sistema de colheita, do tipo de solo e das condições de armazenamento.¹⁹ O valor de teor de cinzas para angelim-vermelho foi de 0,30 %. Esse valor pode ser considerado baixo, ainda que o valor encontrado na literatura foi de 0,05 % (angelim-vermelho) e entre 0,31 a 0,53 % (pinus).^{20,21} O resultado de cinzas encontrado para a blenda foi de 2,29 % indicando que o uso de blendas pode ser uma forma de viabilizar o aproveitamento de um material que, isoladamente, apresente um alto teor de cinzas (por exemplo o bagaço de cana-de-açúcar). O teor de cinzas é um dos

componentes mais importantes na avaliação de um material com potencial energético, as cinzas representam a porção que não faz parte da queima. Desta forma, quanto maior for o teor de cinzas, menor será o poder calorífico do material.²² Ainda, as cinzas podem iniciar um processo de corrosão dos equipamentos, diminuindo a vida útil e aumento os custos de manutenção.²³

Os resultados de densidade a granel dos materiais obtidos evidenciaram que o bagaço de cana-de-açúcar possui a menor densidade dentre todos os outros materiais, incluindo a blenda. Os valores encontrados estão de acordo com os citados na literatura,²⁴ para serragens de madeira, em geral, os resultados variam entre 0,10 a 0,30 g/cm³. Após a briquetagem, as densidades apresentaram-se na seguinte ordem: T3>T4>T1>T2. Foi possível verificar como a briquetagem foi eficiente para o aumento da densidade dos materiais, todos os briquetes apresentaram densidade aproximadamente cinco vezes maior do que a densidade a granel.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de Teor de cinzas, PCS e densidades a granel e dos briquetes dos quatro tratamentos

Tratamentos	Teor de cinzas (%)	Densidade a granel (g/cm ³)	Densidade dos briquetes (g/cm ³)	PCS (kcal/kg)
T1	1,00	0,17	0,86	4.366
T2	5,57	0,16	0,85	3.936
T3	0,30	0,23	0,98	4.749
T4	2,29	0,19	0,89	4.350

Segundo Quirino,⁷ o PCS é a quantidade de calor liberada na combustão completa de uma unidade de massa do combustível. Na Tabela 3 estão apresentados os valores de PCS para as matérias-primas estudadas. Os valores apresentados neste trabalho estão em acordo com os valores base de PCS para madeira e outros materiais lignocelulósicos, que apresentam valores no intervalo entre 3350 e 5263 kcal/kg. Na literatura, o PCS encontrado para o bagaço de cana-de-açúcar

foi 3700 kcal/kg e os maiores valores reportados foram entre 4978 e 5036 kcal/kg para costaneira de pinus.⁷ Ressalta-se que o angelim-vermelho mostrou ser a matéria-prima com o maior PCS e menor quantidade de cinzas, ou seja, com maior energia de combustão, sendo adequada à produção de biocombustível sólido.²²

A Figura 1 apresenta imagens dos briquetes dos diferentes materiais após expansão.

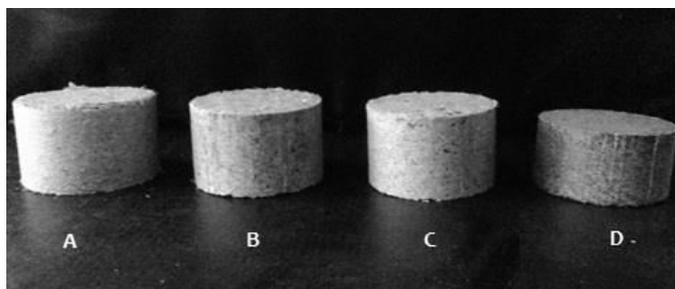


Figura 1. Foto dos briquetes produzidos, mostrando a diferença na expansão entre os 4 tratamentos: A (T2), B (T1), C (T4) e D (T3)

Observa-se na figura 1 que a maior expansão se deu nos briquetes do tratamento T2 (100 % de bagaço de cana-de-açúcar) enquanto a menor expansão ocorreu no briquete T3 (100 % angelim-vermelho), sendo os tratamentos ordenados quanto à sua expansão da seguinte maneira: T2>T1>T4>T3. A maior expansão dos briquetes de bagaço de cana-de-açúcar indica que não ocorreu uma boa adesão entre as partículas, o que influencia na menor resistência mecânica dos briquetes.^{14,25} A compactação dos resíduos e a expansão

longitudinal é influenciada pela granulometria utilizada para confecção dos briquetes. Observando a classificação granulométrica dos materiais na faixa de tamanho de partícula utilizada para a confecção dos briquetes (20 a 35 mesh) e comparando-a com os resultados de expansão longitudinal dos briquetes (Tabela 4), tem-se que o tratamento T2 apresentou a maior taxa de expansão (13,70 %) e mais de 90 % das partículas ficaram retidas na peneira de 20 mesh (partículas maiores). O tratamento T1 teve uma expansão de 13,26

% com 51 % das partículas retidas na peneira de 20 mesh. O tratamento T4 apresentou uma expansão de 11,01 % com 57 % retidas na peneira de 20 mesh. Os resultados demonstram que a expansão dos briquetes não é apenas influenciada pelo tamanho de partícula do material a ser compactado, mas

também há outros fatores que devem interferir no processo, como por exemplo, a característica das fibras (comprimento, espessura de parede) e os constituintes das fibras (celulose, hemicelulose e lignina).

Os resultados de expansão longitudinal foram compilados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados de expansão longitudinal e resistência mecânica dos tratamentos

Tratamentos	Expansão longitudinal (%)	Resistência (MPa)*
T1	13,26	0,219 ± 0.046 D
T2	13,70	0,472 ± 0.029 B
T3	5,02	0,840 ± 0.069 A
T4	11,01	0,397 ± 0.062 C

*Médias seguidas por diferentes letras, indica que houve diferença estatística no Teste de Tukey a um nível de 5 % de significância.

A Tabela 4 apresenta as médias dos resultados do teste de resistência de 10 repetições de cada uma das composições preparadas, onde é possível observar que há diferença estatística, a um nível de 5 % de significância, das resistências de todos os tratamentos. O briquete de angelim-vermelho foi o que apresentou a maior resistência dentre todos os tratamentos.

Segundo Netto e colaboradores²¹ em estudo de caracterização energética de espécies amazônicas, reportou que a espécie angelim-vermelho é uma biomassa que apresenta alta densidade, propriedade esta que influencia a resistência mecânica dos briquetes produzidos a partir desta biomassa. O tratamento que obteve o menor resultado para resistência mecânica foi T1 (bagaço de cana-de-açúcar) com um valor de 0,219 MPa, resultado que se encontra de acordo com Ramos e Paula e colaboradores,²⁶ cujos briquetes de bagaço de cana-de-açúcar apresentaram os menores valores de resistência mecânica quando comparando com várias outras matérias-primas. Já o resultado encontrado para T2 (serragem de pinus) está de acordo ao citado por

Chrisostomo¹⁴ com um valor de 0,45 MPa. Na ordem da maior para a menor resistência mecânica se encontram os tratamentos distribuídos da seguinte forma: T3>T2>T4>T1.

Assim, pode-se indicar a ordem de eficiência quanto à empregabilidade dos diferentes tratamentos na confecção de biocombustíveis sólidos e seu uso na geração de energia sustentável, a saber: T3 > T4> T1 > T2, levando-se em consideração o número de características consideráveis como boas para o uso da matéria-prima para a produção de briquetes, que são: alto PCS e resistência mecânica, além da baixa expansão longitudinal e baixo teor de cinzas.

4. Conclusão

Os resultados mostraram que o processo de briquetagem, quando empregada as matérias-primas pinus, angelim-vermelho e bagaço de cana-de-açúcar, é eficiente e promove boa compactação dos resíduos, proporcionando maior resistência mecânica,

mesmo sem a utilização de aquecimento ou aglutinantes para a produção dos briquetes. Dentre os resíduos lignocelulósicos analisados, o que apresentou melhores propriedades para a produção de briquetes foi o angelim-vermelho, pois resultou em maior resistência mecânica, maior PCS, menor teor de cinzas e menor expansão longitudinal se comparado às outras matérias-primas. Os ensaios mostraram que a formação de blendas pode ser uma alternativa para o aproveitamento de diversos tipos de matérias-primas (diferentes tipos de resíduos).

Referências Bibliográficas

- ¹ Indústria Brasileira de Árvores, IBÁ. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016 .pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016.pdf)>. Acesso em: 3 setembro 2016.
- ² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Angelim Vermelho Dinizia Excelsa. Espécies arbóreas da Amazônia. Belém, 2004, 6p.
- ³ Pereira Júnior, V. B. Alternativas para a co-geração de energia de uma indústria de chapas de fibra de madeira. *Energia na Agricultura* **2001**, *17*, 34. [[Link](#)]
- ⁴ Companhia Nacional do Abastecimento, CONAB. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_17_09_03_29_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 2 de agosto de 2016.
- ⁵ Quirino, W. F. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1991. [[Link](#)]
- ⁶ Stolarski, M. J.; Krzyzaniak, M.; Warminski, K.; Niksa, D. Energy consumption and costs of heating in comparison to other fuels. *Energy Conversion and Management* **2016**, *121*, 71. [[CrossRef](#)]
- ⁷ Quirino, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. Brasília: LPF/IBAMA, 2003. 14p. [[Link](#)]
- ⁸ Borgui, M. M. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Espírito Santo, 2012. [[Link](#)]
- ⁹ Brito, J. O.; Barrichelo, L. E. G. Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 1 densidade e teor de lignina na madeira de eucalipto. *IPEF* **1977**, *14*, 9. [[Link](#)]
- ¹⁰ Bhattacharya, S. C.; Sett, S.; Shrestha, R. M. State of the art for biomass densification. *Energy Sources* **1989**, *11*, 161. [[CrossRef](#)]
- ¹¹ ASTM D293-96(2010), Standard Test Method for Sieve Analysis of Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010. [[Link](#)]
- ¹² American Society For Testing And Materials – ASTM D1102-84 - Standard Test Method for Ash in Wood. West Conshohocken, PA, 2013. [[Link](#)]
- ¹³ American Society For Testing And Materials - D5865-13, Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. West Conshohocken, PA, 2013. [[Link](#)]
- ¹⁴ Chrisostomo, W. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011. [[Link](#)]
- ¹⁵ Costa, D. R.; Yamaji, F. M.; Vendrasco, L.; Flores, W. De. P.. Chirisostomo, W. Trabalho completo do 5º Congresso Internacional de Bioenergia. São Paulo, Brasil, 2010 [[Link](#)]
- ¹⁶ Associação Brasileira De Normas Técnicas. – ABNT. NBR 7222 – Argamassa e concretos: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. [[Link](#)]
- ¹⁷ Balloni, C. J. V. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista, 2009. [[Link](#)]
- ¹⁸ 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* **2016**, *184*, 180. [[CrossRef](#)]
- ¹⁹ Jenkins, B. M., Baxter, L. L.; Miles J. R., Miles, T. R. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology* **1998**, *54*, 17. [[CrossRef](#)]
- ²⁰ Brito, J. O.; Barrichelo, L. E. G. Características do eucalipto como

combustível: análise química imediata da madeira e da casca. *IPEF* **1978**, *16*, 63. [[Link](#)]

²¹ Netto, G. B. F.; Oliveira, A. G. P.; Coutinho, H. W. M.; Nogueira, M. F. M.; Rendeiro, G. Caracterização energética de biomassas amazônicas. *Agrener* **2006**, *1*, 1. [[Link](#)]

²² Protásio, T. P.; Bufalino, L.; Tonoli, G. H. D.; Couto, A. M.; Trujilho, P. F.; Guimarães Júnior, M. – Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira* **2011**, *31*, 113. [[CrossRef](#)]

²³ Garcia, R.; Pizarro, C.; Lavín, A. G.; Bueno, J. L. Spanish biofuels heating value estimation.

Part II: Proximate analysis data. *Fuel* **2014**, *117*, 1139. [[CrossRef](#)]

²⁴ Gentil, L. V. B. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 2008. [[Link](#)]

²⁵ Pires, A. A. F.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de São Carlos, 2013. [[Link](#)]

²⁶ Ramos e Paula, L. E.; Trujilho, P. F.; Rezende, R. N.; Assis, C. O.; Baliza, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. *Pesquisa Florestal Brasileira* **2011**, *31*, 103. [[Link](#)]