

Artigo

A Influência da Umidade em Propriedades Mecânicas de Briquetes Produzidos com Resíduos de Madeira (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.)

Silva, D. A.; Da Róz, A. L.; Pires, A. A. F.; Carvalho, A. M.; Nakashima, G. T.; Pádua, F. A.; Yamaji, F. M.*

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (3), no prelo. Data de publicação na Web: 4 de maio de 2017

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

The Influence of Moisture on the Mechanical Properties of Briquettes Made Out of Wood Residues (*Eucalyptus* sp. and *Pinus* sp.)

Abstract: The aim of this study was to assess differences in the expansion behavior and strain at maximum strength absorbed by *Eucalyptus* sp. and *Pinus* sp. briquettes prepared with 10, 12 and 15% of moisture content. Ten (10) samples weighing 20 g each were used in the treatments. The *Eucalyptus* sp. briquettes were within the range described in the literature, and the 10% moisture content expanded less than the 12% one; however with regard to voltage, the highest result was the opposite, 1.06 MPa to 10% moisture and 1.11 MPa for the 12% moisture content. The best results shown by the *Pinus* sp. briquettes were recorded under 12% moisture content. The current study highlights the technical contribution from the moisture content monitoring in the briquetting process using agricultural residues.

Keywords: Residue; Biomass; Energy; Briquette; Compression.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi verificar diferenças no comportamento de expansão e tensão na força máxima suportada pelos briquetes de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. preparados com 10, 12 e 15% de umidade. Para cada tratamento foram utilizadas 10 amostras, cada uma com 20 g. Os briquetes de *Eucalyptus* sp. apresentaram resultados mecânicos dentro da faixa descrita pela literatura, sendo que os produzidos com 10% de umidade se expandiram menos que os preparados com 12 % de umidade; entretanto, em relação à tensão, o maior resultado foi inverso, sendo 1,06 MPa para os briquetes produzidos com 10% de umidade e 1,11 MPa para os confeccionados com 12% de umidade. Para os briquetes de *Pinus* sp., os melhores resultados foram dos briquetes produzidos com 12% de umidade. O trabalho ressalta a contribuição técnica de monitoramento do teor de umidade no processo de briquetagem de resíduos agrícolas.

Palavras-chave: Resíduo; Biomassa; Energia; Briquete; Compressão.

* Universidade Federal de São Carlos, Grupo de Pesquisa Biomassa e Bioenergia, Departamentos de Ciências Ambientais, Campus de Sorocaba, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

✉ fmyamaji@ufscar.br

DOI:

A Influência da Umidade em Propriedades Mecânicas de Briquetes Produzidos com Resíduos de Madeira (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.)

Diego A. da Silva,^a Alessandra L. da Róz,^a Ariane A. F. Pires,^a Alexandre M. de Carvalho,^b Gabriela T. Nakashima,^a Franciane A. de Pádua,^a Fabio M. Yamaji^a

^a Universidade Federal de São Carlos, Grupo de Pesquisa Biomassa e Bioenergia, Departamentos de Ciências Ambientais, Campus de Sorocaba, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

^b Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Florestal, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil.

* fmyamaji@ufscar.br

Recebido em 14 de dezembro de 2016. Aceito para publicação em 2 de maio de 2017

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

- 2.1. Coleta e condicionamento das amostras
- 2.2. Tratamentos das amostras
- 2.3. Produção dos briquetes
- 2.4. Avaliação de propriedades dos briquetes
- 2.5. Avaliação estatística dos resultados

3. Resultados e Discussão

- 3.1. Formação dos briquetes
- 3.2. Avaliação da expansão e resistência dos briquetes produzidos

4. Conclusão

1. Introdução

Atualmente, o Brasil possui cerca de 7,2 milhões de hectares de plantios florestais para fins industriais, sendo ocupados principalmente por eucaliptos (*Eucalyptus* sp.) e pinus (*Pinus* sp.)¹. Desta produção agrícola e sua manufatura é comum a

geração de grande quantidade de resíduos. Estes resíduos, por sua vez, podem ser aproveitados na produção de energia convertendo-os em briquetes (briquetagem), agregando valor à cadeia produtiva num processo mais limpo (Produção+Limpa ou P+L).

A briquetagem é um processo eficiente para a compactação de biomassa sólida por

concentrar uma grande quantidade de energia oriunda da matéria-prima vegetal (resíduos agroflorestais) em uma pequena unidade de volume, a denominada densificação energética, com a formação dos briquetes.^{2,3} Este processo produtivo resulta na redução de custos com transporte e armazenamento pela diminuição do volume inicial da biomassa devido a sua baixa densidade e, conseqüentemente, grande volume.⁴

A produção de briquetes necessita de algumas características específicas para o aproveitamento desta biomassa, como: baixos teores de umidade e de cinzas e alta disponibilidade residual. Os briquetes podem ser densificados (compactação) por processos de pressão por pistão ou por extrusora. Em geral, a granulometria da matéria-prima apresenta em sua composição partículas de tamanhos diversificados, as maiores entre 6 a 8 mm e as menores abaixo de 4,76 mm.⁵

A umidade é outro fator que pode refletir nas propriedades mecânicas e energéticas do produto final.⁶ O teor de umidade atua como um agente ligante entre as partículas e como lubrificante no processo,⁷ podendo diminuir o consumo de energia específica na sua produção.⁸ Entretanto, a quantidade de água é um ponto limitante na formação e durabilidade de briquetes.⁷ O alto teor de umidade interfere na menor resistência mecânica,^{6,9} e reduz o poder calorífico dos materiais densificados, devido a evaporação da água no início da combustão.¹⁰

A biomassa é higroscópica,¹¹ assim um dos parâmetros que deve ser considerado de controle mais rigoroso na preparação dos briquetes é o seu teor de umidade,¹²⁻¹⁵ que deve estar entre 10 e 15%,⁵ para uma boa briquetagem. Chrisostomo¹⁵ analisou quatro condições de teor de umidade (0, 10, 20 e 30%) para o processo de briquetagem a frio de serragem de *Eucalyptus* sp. As amostras produzidas com 10% de umidade apresentaram melhores características de resistência mecânica.

O objetivo deste trabalho foi verificar a

influência do teor de umidade na produção de briquetes usando biomassas sólidas residuais de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., através da análise de algumas características mecânicas destes produtos (expansão longitudinal e resistência à tensão mecânica de compressão por tração diametral).

2. Materiais e Métodos

O trabalho foi realizado no laboratório de Bioenergia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – Campus Sorocaba.

2.1. Coleta e condicionamento das amostras

Coleta - Os materiais utilizados na produção dos briquetes foram resíduos de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. (serragem) coletados em uma serraria na região de Itapetininga – SP.

Moagem – Os resíduos coletados foram triturados utilizando-se um moinho tipo Willey (modelo MA340).

Classificação granulométrica - Foram utilizados 100 g de cada biomassa residual dos materiais investigados por ensaio de peneiração (separação granulométrica). Em seguida, cada porção da biomassa residual foi submetida ao agitador de peneiras com batidas intermitentes (marca Marconi, modelo MA 750), durante 6 minutos para separação das frações granulométricas da matéria-prima empregada. Na montagem do sistema granulométrico foram utilizadas as peneiras de 10, 20 e 35 mesh e o coletor das partículas mais finas. As frações retidas nas peneiras de 20 e 35 mesh, que apresentaram maior rendimento, foram reunidas numa amostra composta e utilizadas na produção dos briquetes.

2.2. Tratamento das amostras

As amostras compostas de cada espécie investigada (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.) obtidas na etapa anterior (materiais moídos) foram secos em estufa a 105 °C até massa

constante (técnica analítica gravimétrica) para estabilização do teor de umidade desejado para a realização das variações nos ensaios. As amostras usadas para a produção dos briquetes tiveram seus teores de umidade corrigidos, para compor os seis tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de umidade testados na produção de briquetes

Tratamentos	Teor de umidade nas amostras dos ensaios (%)	Biomassa empregada para produção dos briquetes
ABE10	10	<i>Eucalyptus</i> sp.
ABE12	12	<i>Eucalyptus</i> sp.
ABE15	15	<i>Eucalyptus</i> sp.
ABP10	10	<i>Pinus</i> sp.
ABP12	12	<i>Pinus</i> sp.
ABP15	15	<i>Pinus</i> sp.

ABE – amostras preparadas com biomassa residual de *Eucalyptus* sp.;

ABP – amostras preparadas com biomassa residual de *Pinus* sp.

2.3. Produção dos briquetes

Para a produção dos briquetes utilizou-se uma prensa hidráulica de capacidade de 30 toneladas (marca Marconi, modelo MA 098/CP) e molde cilíndrico metálico de aço inox (diâmetro de 3,5 cm e altura de 16 cm). Cada briquete foi produzido utilizando-se 20 g das amostras compostas (Tabela 1), submetidas a uma pressão de 1.200 kg.cm⁻² durante 30 segundos e sem aquecimento, num total de 10 unidades por espécie investigada (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.). Os briquetes foram mantidos em sacos plásticos

lacrados para não permitir que a umidade atmosférica interferisse nos resultados.

2.4. Avaliação de propriedades dos briquetes

Expansão longitudinal - Com o auxílio de um paquímetro digital foram medidas as alturas (em cm) dos briquetes obtidos de cada amostra condicionada em teor de umidade (Tabela 1) logo após sua compactação e depois de decorridas 48 horas para calcular suas expansões (Eq. 01).

$$\text{Expansão longitudinal} = \left(\frac{\text{altura final} - \text{altura inicial}}{\text{altura inicial}} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 01}$$

Resistência mecânica - Os briquetes produzidos conforme mostra a Tabela 1 foram submetidos a ensaios de tração por compressão diametral em uma máquina universal de ensaios (Emic DL 30000 N) utilizando-se uma célula de carga de 2000 kgf e velocidade de ensaio de 3 mm.min⁻¹. Este ensaio foi realizado segundo a metodologia

utilizada por Nakashima e colaboradores.¹⁶

2.5. Avaliação estatística dos resultados

O delineamento experimental para cada espécie de biomassa empregada (Tabela 1)

foi considerado como inteiramente casualizado, com três condições de umidade (10, 12 e 15%) e dez repetições cada. As médias foram submetidas à análise de variância, sendo os efeitos das amostras avaliados pelo teste F e, quando significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, calculados com o software Tinn-R®, versão 2.14.2.

inicial, totalmente desagregado e particulado (biomassa moída). A briquetagem também pode ocorrer sem a necessidade da utilização de aquecimento no processo, assim como foi evidenciado.^{4,15}

3.2. Avaliação da expansão e resistência dos briquetes produzidos

3. Resultados e Discussão

3.1. Formação dos briquetes

Visualmente todos os briquetes produzidos com os teores de umidade investigados (Tabela 1) foram bem sucedidos com a formação de um produto prismático e sólido compacto sem desprendimento de material (Figura 1), comparado ao material

Expansão longitudinal - A avaliação da expansão dos briquetes de biomassa de *Eucalyptus* sp. com valores de umidade ajustada para 10% ou 12% não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Nestas umidades, os briquetes obtiveram um menor valor de expansão em relação a ABE15, a qual obteve diferença estatística significativa das demais umidades (Tabela 2). Os briquetes de biomassa de *Pinus* sp., (ABP10, ABP12 e ABP15) não apresentaram diferenças estatísticas significativas (Tabela 2).



Figura 1. Briquete de biomassa de *Eucalyptus* sp. (à esquerda), biomassa moída de *Pinus* sp. (ao centro) e briquete de biomassa de *Pinus* sp. (à direita)

Tabela 2. Valores da expansão (%) dos briquetes produzidos com 10, 12 e 15 % de umidade

Medida descritiva	Expansão longitudinal (%)					
	Briquetes de <i>Eucalyptus</i> sp.			Briquetes de <i>Pinus</i> sp.		
	ABE10	ABE12	ABE15	ABP10	ABP12	ABP15
Média	6,87a*	7,80a	8,90b	9,21a*	9,69a	10,63a
Máximo	7,45	9,52	10,71	10,47	13,61	13,32
Mínimo	5,73	5,55	7,37	7,97	7,83	7,37
Desvpad	0,56	1,20	0,96	0,78	1,66	1,68
CV (%)	8,13	15,37	10,78	8,47	17,17	15,83

Desvpad = Desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

* Considerando apenas um tipo de biomassa, *Eucalyptus* sp. ou *Pinus* sp., temos que médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si (Teste de Tukey a 5%).

Foi observada uma correlação positiva para expansão e a umidade utilizada em todas as amostras (Tabela 2). Dado a qualidade hidrofílica da madeira, Christensen e colaboradores¹⁷ estudaram a higroscopicidade na madeira de *Eucalyptus regnas* e concluíram que a água mantida nas partículas moídas (47, 27 e 16 %) era devido à sua absorção pelas estruturas químicas da celulose, hemicelulose e lignina. Esta absorção é devida à presença de grupos hidroxilas livres (OH) presentes nas regiões amorfas da parede celular vegetal, denotando o poder higroscópico dessa região para a formação de ligações de hidrogênio.¹⁸ Como resultado da entrada de água, as paredes celulares das microfibrilas sofrem um afastamento, com conseqüente expansão do material. Contrariamente, durante a secagem, há uma aproximação das cadeias devido à perda de água, com conseqüente retração.¹⁹

Apesar deste fenômeno ser relatado para a madeira maciça, observa-se o mesmo comportamento para a fração moída, evidenciado pela expansão dos briquetes. Silva¹⁸ sugere que a disponibilidade dos grupos hidroxilas cria regiões onde água pode se adsorver, levando a formação de uma camada com várias moléculas de água,

dispostas de forma unitária, ao redor da superfície de cada partícula de biomassa (adsorção monomolecular de água). Este processo continua em camadas polimoleculares de água, as quais acabam distanciando as cadeias amorfas. Porém, já foi verificado que existe um ponto ótimo de umidade,⁷ já que a partir de 12% há um aumento da expansão.

Resistência mecânica dos briquetes - A avaliação da tensão máxima (indicação da resistência do material) suportada pelos briquetes de *Eucalyptus* sp. revelou que ABE10 e ABE12 não apresentaram diferenças estatísticas entre si, no entanto, resultaram em um maior valor de tensão em relação a ABE15, sendo possível observar que há diferença estatística (Tabela 3). Assim, a classificação das tensões de ruptura dos briquetes quanto à umidade foi: ABE12 = ABE10 > ABE15. Esses resultados de resistência estão vinculados com os de expansão dos briquetes (Tabela 2). Como reportado por Gonçalves e colaboradores,¹⁹ a resistência mecânica dos briquetes está associada a diferentes parâmetros da produção dos mesmos, entre eles a expansão. Quanto maior a expansão, maior a distância intermolecular, o que leva a diminuição da resistência do briquete.

Tabela 3. Valores das tensões (MPa) para ruptura dos briquetes produzidos

Medida descritiva	Tensão para ruptura (MPa)					
	Briquetes de <i>Eucalyptus</i> sp.			Briquetes de <i>Pinus</i> sp.		
	ABE10	ABE12	ABE15	ABP10	ABP12	ABP15
Média	1,06a*	1,12a	0,91b	0,39c*	0,57a	0,50b
Máximo	1,21	1,20	1,01	0,42	0,63	0,54
Mínimo	0,89	1,03	0,83	0,36	0,51	0,46
Desvpad	0,09	0,05	0,07	0,02	0,04	0,03
CV (%)	8,50	4,66	7,16	4,65	7,39	5,30

Desvpad = Desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

* Considerando apenas um tipo de biomassa, *Eucalyptus* sp. ou *Pinus* sp., temos que médias seguidas da mesma letra minúscula na linha não diferem entre si (Teste de Tukey a 5%).

MPa - Megapascal

Os valores de expansão dos briquetes de *Pinus* sp. (ABP10, ABP12 e ABP15) não foram estatisticamente significativos (Tabela 2), mas quanto à resistência mecânica (Tabela 3) foram bem distintos pela avaliação estatística dos resultados. A amostra ABP12 apresentou o melhor resultado, e a classificação das resistências quanto aos teores de umidade ensaiados foi: ABP12 > ABP15 > ABP10. A não congruência entre resultados de expansão e resistência mecânica pode ser explicada pelas outras características da biomassa, como morfologia, propriedades químicas e outros parâmetros de produção dos briquetes.¹⁹

Neste estudo, as maiores resistências mecânicas obtidas foram aquelas conseguidas com o uso da biomassa residual do eucalipto para briquetes com 10% (1,06 MPa) e 12% de umidade (1,12 MPa) e, para os briquetes de pinus, com 12% de umidade (0,57 MPa). Os valores encontrados nesse estudo estão próximos dos obtidos por

Chrisostomo¹¹ e confirmam que o teor de umidade da serragem influencia significativamente na formação dos briquetes.

A Figura 2 apresenta uma comparação das propriedades mecânicas avaliadas para os briquetes de biomassa de *Eucalyptus* sp. (ABE10, ABE12 e ABE15) e de *Pinus* sp. (ABP10, ABP12 e ABP15). Observa-se que os briquetes de biomassa de eucalipto possuem melhores resultados de tensão e expansão, maior tensão e menor expansão, em relação aos briquetes de pinus. Esta diferença pode ser explicada pela diversidade da anatomia das espécies de eucalipto ou de pinus, por possuírem estruturas celulares diferentes em função dos seus históricos evolutivos. Ambas são representantes de dois grupos filogenéticos arbóreos distintos: as angiospermas (inclui o gênero *Eucalyptus*) e as gimnospermas (inclui o gênero *Pinus*).^{20,21}

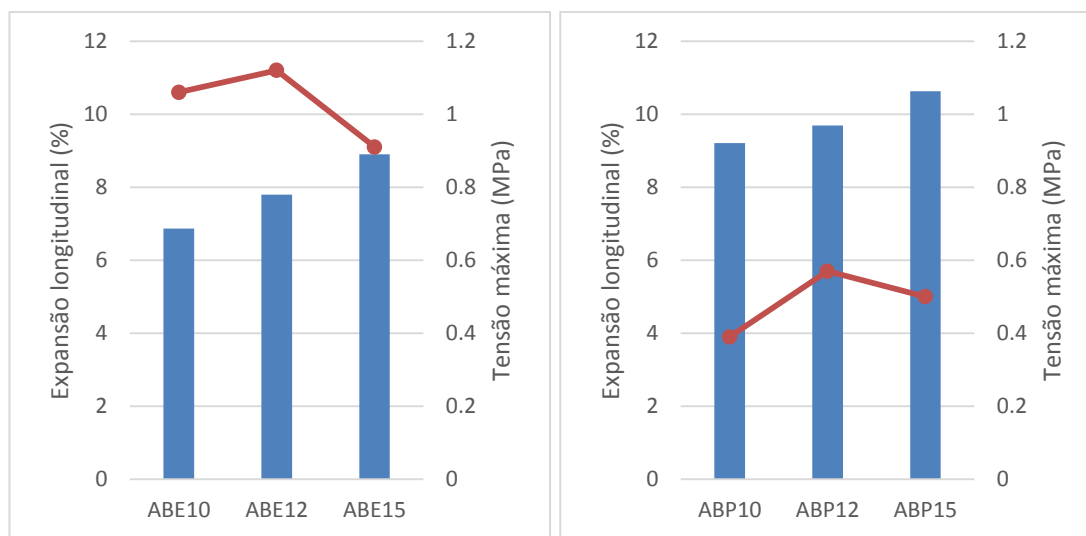


Figura 2. Variáveis mecânicas (tensão máxima x expansão longitudinal) dos briquetes de biomassa de *Eucalyptus* sp. (ABE) e *Pinus* sp. (ABP)

Os traqueídeos formam a unidade celular característica das gimnospermas (gênero *Pinus*), diferentemente das fibras, que são os elementos característicos das angiospermas (gênero *Eucalyptus*). Os traqueídeos são células mais longas e estreitas e apresentam paredes secundárias mais espessadas do que as fibras,²² o que reflete numa maior

resistência mecânica. Possivelmente, após o processo de compactação, e conseqüente liberação da força aplicada no processo de prensagem, os briquetes formados por *Pinus* sp. apresentaram maiores expansões devido às suas paredes celulares mais espessas que tenderiam a permanecer como antes da compactação, o que resultaria numa maior

expansão se comparada às fibras do *Eucalyptus* sp.

Este fato é corroborado ao analisar a composição química das madeiras. As angiospermas e gimnospermas, em média, apresentam $45\pm 2\%$ e $42\pm 2\%$ de celulose e $20\pm 4\%$ e $28\pm 2\%$ de lignina, respectivamente.¹¹ Portanto, a maior presença de lignina nos briquetes de *Pinus* sp. (gimnosperma) pode ter influenciado na maior expansão do material em relação aos briquetes de *Eucalyptus* sp., uma vez que esta macromolécula confere resistência à parede celular, aumentando a resistência mecânica da madeira ao esmagamento.²³

Observou-se que o teor de umidade de 12% foi o mais favorável neste estudo para a preparação de briquetes com maior resistência à tensão (Figura 2), a qual é transferida para o biocombustível sólido e, conseqüentemente, numa maior quantidade quanto à dimensão e empilhamento destes produtos armazenados por unidade de área. Pereira e colaboradores²⁴ reportaram que a resistência mecânica dos briquetes interfere diretamente em operações de manuseio, transporte e estocagem. Assim, os resultados encontrados neste trabalho mostram que os briquetes de eucalipto possuem maior resistência e menor expansão que os de pinus, particularmente os confeccionados com 12% de umidade.

Assim, para os briquetes de eucalipto (*Eucalyptus* sp.), o ponto de briquetagem mais favorável tanto para expansão como para resistência mecânica situa-se entre ABE10 e ABE12, conforme revelou os resultados experimentais validados pela análise estatística. Para os briquetes de pinus, o ponto de briquetagem mais favorável para a menor expansão se mostrou igual em todas as amostras preparadas com biomassa de *Pinus* sp., mas para a melhor resistência mecânica, o resultado foi ABP12, conforme revelou os resultados experimentais validados pela análise estatística. Porém, como ABP15 apresentou uma melhor resistência mecânica que ABP10 com diferenças significativas, isto sugere que

a umidade mais favorável para a biomassa de *Pinus* sp. para a produção de briquetes situa-se entre ABP12 e ABP15, na faixa entre 12 e 15%.

4. Conclusão

A importância do controle do teor de umidade nas propriedades mecânicas e na expansão dos briquetes em função do material utilizado na briquetagem é fundamental, uma vez que interferem nestas propriedades e conseqüente características dos produtos finais. Os resultados mostraram a formação de briquetes íntegros empregando-se biomassas residuais de eucalipto e pinho em todas as umidades testadas para a briquetagem (10%, 12% e 15%). Para uma viável formação e conseqüente produção de briquetes com melhores propriedades mecânicas, constatou-se experimentalmente umidades favoráveis entre 10 e 12% (para biomassa de *Eucalyptus* sp.) e entre 12 e 15% (para biomassa de *Pinus* sp.).

Agradecimentos

A CAPES (117/2012 e PNPd 02880/09-1) e CNPq (407044/2013-2) pelas bolsas e financiamentos concedidos.

Referências Bibliográficas

- ¹ IBÁ. Indústria brasileira de árvores: Brazilian tree industry. *IBÁ* **2015**, *1*, 80. [Link]
- ² Flores, W.P.; Yamaji, F. M.; Vendrasco, L., Costa, D.R. Redução do volume de biomassa no processo de briquetagem. *Revista da Madeira* **2009**, *121*, 32. [Link]
- ³ Costa, D. R.; Yamaji, F. M.; Vendrasco, L.; Flores, W. P. Análise de Briquetes de *Eucalyptus*. *Revista da Madeira* **2010**, *123*, 46. [Link]

- ⁴ Gonçalves, B.F.; Yamaji, F. M.; Fernandez, B. O.; Roz, A. L.; Floriano F. S. Caracterização e comparação entre diferentes granulometrias de serragem de *Eucalyptus grandis* para confecção de briquetes. *Revista do Instituto Florestal* **2013**, *25*, 205. [Link]
- ⁵ Grover, P. D.; Mishra, S. K. *Biomass briquetting: technology and practices*, 46, FAO Regional Wood Energy Development Programme in Asia: Bangkok, 1996. [Link]
- ⁶ 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]
- ⁷ Kaliyan, N.; Morey, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy* **2009**, *33*, 337. [CrossRef]
- ⁸ Guo, L.; Tabil, L. P.; Wang, D.; Wang, G. Influence of moisture content and hammer mill screen size on the physical quality of barley, oat, canola and wheat straw briquettes. *Biomass and Bioenergy* **2016**, *94*, 201. [CrossRef]
- ⁹ Colley, Z.; Fasina, O. O.; Bransby, D.; Lee, Y. Y. Moisture effect on the physical characteristics of switchgrass pellets. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* **2006**, *49*, 1845. [CrossRef]
- ¹⁰ Posom, J.; Shrestha, A.; Saechua, W.; Sirisomboon, P. Rapid non-destructive evaluation of moisture content and higher heating value of *Leucaena leucocephala* pellets using near infrared spectroscopy. *Energy* **2016**, *107*, 464. [CrossRef]
- ¹¹ Fengel, D.; Wegner, G. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. 1a. ed, Walter de Gruyter Incorporated: New York, 1989.
- ¹² Quirino, W.F. Briquetagem de Resíduos Ligno-Celulósicos. *Circular Técnica Do LPF* **1991**, *1*, 69. [Link]
- ¹³ Reis, B. O.; Silva, I. T.; Silva, I. M. O.; Rocha, B. R. P.; *Resumos do 4º Encontro de Energia no Meio Rural*, Campinas, Brasil, 2002.
- ¹⁴ Lucena, D. A.; Medeiros, R. D.; Fonseca, U. T.; Assis, O. S. Aglomeração de moinha de carvão em alto-forno e geração de energia. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais* **2008**, *4*, 1. [CrossRef]
- ¹⁵ Chrisostomo, W.; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 2011. [Link]
- ¹⁶ 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]
- ¹⁷ Christensen, G. N.; Kelsey, K. E. Em *The sorption of water vapour by the constituents of wood in HolzalsRoh und Werkstoff*; Christensen, G. N.; Kelsey, K. E., eds.; Germany, 1959, cap. 17.
- ¹⁸ Silva, E. M. C. M.; *Apontamentos de tecnologia dos produtos florestais: Higroscopicidade da madeira*. Vila Real: UTAD 2010, *1*, 26. [Link]
- ¹⁹ Cerchiari, A. M. F.; Gava, M.; Garcia, J. N. Avaliação de produtos para impermeabilização da madeira. *Cerne* **2010**, *16*, 1. [Link]
- ²⁰ APG III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* **2009**, *161*, 105. [CrossRef]
- ²¹ Christenhusz, M. J. M.; Reveal, J. L.; Ferjon, A.; Gardner, M. F.; Mill. R. R.; Chase, M. W. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa* **2011**, *19*, 55. [CrossRef]
- ²² Raven, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S. E. *Biologia Vegetal*, 5a. ed., Guanabara Koogan; Brasil, 1996.
- ²³ Zobel, B. J.; Van buijtenen, J. P. *Wood variation: its causes and control*. 1a. ed., Springer-Verlag; USA, 1989.
- ²⁴ Pereira, F. A.; Carneiro, A. C. O.; Vital, B. R.; Lúcia, R. M. D.; Patrício Júnior, W.; Bianche, J. Propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio. *Floresta e Ambiente* **2009**, *16*, 23. [Link]