

## Artigo

## Efeito da Granulometria na Compactação da Biomassa de Capim Elefante

Silva, D. A.; Alesi, L. S.; Da Róz, A. L.; Santos, L. R. O.; Quadros, T. M. C.; Yamaji, F. M.\*

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (2), 323-333. Data de publicação na Web: 17 de abril de 2018

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

### Effect of the Particle Size on Compaction of Elephant Grass Biomass

**Abstract:** Due to its high productivity and easy adaptation to different ecosystems, forage grass *Pinnisetum purpureum*, popularly known as elephant grass, has a potential use for biomass production. The objective of work was to verify the influence of the increase of elephant grass biomass density on the briquetting process as a function of two grain sizes of the material. After grinding and sieve analysis, the material was divided into two groups: (i) a portion between 61 and 200 mesh, and (ii) a fraction between 21 and 60 mesh. The apparent density and diametral compression test of the briquettes were studied as a function of the granulometry of the material. The results showed the best condition for the production of elephant grass briquettes occurred with the granulometry between 61 and 200 mesh producing briquettes with higher density and mechanical resistance when compared to briquettes produced with a particle size between 21 and 60 mesh.

**Keywords:** Bulk density; strength; briquette.

### Resumo

Devido a sua alta produtividade e fácil adaptação aos diversos ecossistemas, a gramínea forrageira *Pinnisetum purpureum*, conhecida popularmente por capim elefante, possui potencial para a produção de biomassa. O objetivo do trabalho foi verificar a influência do aumento da densidade da biomassa do capim elefante no processo de briquetagem em função de duas granulometrias do material. Após moagem e análise granulométrica, o material foi dividido em dois grupos, a saber: (i) uma porção entre 61 e 200 mesh e (ii) uma fração entre 21 e 60 mesh. A densidade aparente e o ensaio de compressão diametral dos briquetes foram estudados em função da granulometria do material. Os resultados mostraram que a melhor condição para a produção de briquetes de capim elefante ocorreu empregando-se a granulometria entre 61 e 200 mesh, uma vez que produziram briquetes mais densos e com resistência mecânica maior se comparada aos briquetes produzidos com granulometria entre 21 e 60 mesh.

**Palavras-chave:** Densidade; resistência; briquete.

\* Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Laboratório de Bioenergia e Resíduos Lignocelulósicos, Campus Sorocaba, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

✉ [fmyamaji@ufscar.br](mailto:fmyamaji@ufscar.br)

DOI: [10.21577/1984-6835.20180025](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180025)

## Efeito da Granulometria na Compactação da Biomassa de Capim Elefante

Diego A. da Silva,<sup>a</sup> Leticia S. Alesi,<sup>a</sup> Alessandra Luzia Da Róz,<sup>b</sup> Luis Ricardo O. Santos,<sup>a</sup> Taruhim M. C. Quadros,<sup>a</sup> Fabio M. Yamaji<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciências Ambientais, Laboratório de Bioenergia e Resíduos Lignocelulósicos, Campus Sorocaba, CEP 18052-780, Sorocaba-SP, Brasil.

<sup>b</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Comissão de Pesquisa & Inovação, Campus Itapetininga, CEP 18202-000, Itapetininga-SP, Brasil.

\* [fmyamaji@ufscar.br](mailto:fmyamaji@ufscar.br)

*Recebido em 15 de março de 2018. Aceito para publicação em 15 de abril de 2018*

### 1. Introdução

### 2. Parte experimental

- 2.1. Determinação da Granulometria da Matéria-prima
- 2.2. Determinação da Umidade da Matéria-prima
- 2.3. Preparação dos Briquetes
- 2.4. Compactação dos Briquetes
- 2.5. Aferição da Expansão dos Briquetes
- 2.6. Ensaios de Compressão Diametral dos Briquetes

### 3. Resultados e discussão

- 3.1. Tratamento estatístico
- 3.2. Granulometria e Umidade
- 3.3. Briquetes Confeccionados
- 3.4. Expansão dos briquetes
- 3.5. Resistência dos Briquetes

### 4. Conclusão

#### 1. Introdução

---

Devido ao crescimento da população mundial e da industrialização, a demanda por energia tem aumentado no último século resultando numa crescente necessidade de extração de recursos naturais com

consequente degradação do meio ambiente. Um entrave na utilização dos recursos naturais de origem fóssil está no aumento das emissões de gases do efeito estufa.<sup>1-3</sup> Assim, a utilização de fontes de energia de caráter renovável vem se destacando na substituição do petróleo para fins energéticos.<sup>4-6</sup>

O Brasil se destaca como produtor de fonte alternativa de energia por possuir terras em quantidade suficiente para alcançar grande produtividade de biomassa, sendo que em 2015 a biomassa totalizou 8% na oferta interna de energia elétrica.<sup>7</sup>

Dentre os tipos de biomassa lignocelulósica produzidos, destaca-se o cultivo de herbáceas, muito utilizadas para alimentação do gado e forragem do solo.<sup>8,9</sup> Algumas características fisiológicas das espécies herbáceas perenes as tornam potencialmente adequadas à produção de biomassa como (i) a alta eficiência no processo de conversão da energia solar pela fotossíntese, devido ao ciclo fotossintético C4 que é aproximadamente 40% mais eficiente para a captação de carbono que o mecanismo C3 das gramíneas mais comuns de clima temperado, (ii) possuir sistema radicular extenso e profundo, o que propicia o uso econômico da água no solo, (iii) além de necessidade limitada de nutrientes graças à sua capacidade de retranslocação no final do ciclo vegetativo anual.<sup>10</sup>

Dentre as espécies utilizadas no Brasil, destaca-se o *Pennisetum purpureum* Schumach, conhecido popularmente como capim-elefante, planta originária da África subtropical, descoberta em 1905 pelo Coronel Napier.<sup>11,12</sup> A cultura se encontra hoje adaptada a todas as regiões do país com capacidade de produção média de 35 toneladas de matéria seca por hectare ao ano.<sup>13</sup> Por possuir alto teor de fibras e lignina, o capim elefante apresenta-se como matéria-prima com adequado potencial para a produção de energia.<sup>14,15</sup>

Contudo, o grande volume ocupado por biomassas como o capim-elefante *in natura* dificulta seu transporte e armazenagem. Uma maneira para melhorar o aproveitamento, transporte e armazenagem de biomassas é a densificação energética, em forma de briquete. Por meio da briquetagem é possível se obter uma maior quantidade de massa contida em menor volume, além de diminuir sua umidade em relação ao produto *in natura*.<sup>16-19</sup> Os briquetes possuem diversas finalidades, sendo mais comumente

utilizados na calefação de residências, de hotéis, de hospitais, de pizzarias e de padarias. Atualmente também é empregado na geração de calor para alimentar fornos e caldeiras na indústria ceramista.<sup>20</sup>

Para a produção de um briquete de boa qualidade, características como a umidade e a granulometria da matéria-prima devem ser controladas.<sup>17;21-24</sup> Uma mistura de partículas de vários tamanhos pode melhorar a qualidade dos briquetes, sendo uma granulometria entre 5 e 10 mm considerada a faixa máxima para a matéria-prima ter uma compactação eficiente; haja vista que dimensões inferiores são mais recomendadas para formação de briquetes mais densos.<sup>25</sup>

Apesar do estudo da produção e caracterização de briquetes virem ganhando destaque nas últimas décadas, o uso de capim elefante para esta finalidade não é reportado na literatura. Assim, o objetivo deste estudo foi verificar a influência que a variabilidade granulométrica da matéria-prima exerce sobre a propriedade mecânica e densidade dos briquetes de capim elefante.

## 2. Parte experimental

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Processos Industriais, da Universidade Federal de São Carlos - *campus* Sorocaba/SP (23° 34' 53''S e 47° 31' 28''O). Empregou-se a gramínea forrageira *Pennisetum purpureum* Schumach. (capim elefante) coletada no próprio campus da UFSCar em Sorocaba.

### 2.1. Determinação da Granulometria da Matéria-prima

Foram coletados cerca de 2,5 kg de capim elefante em março. Após a coleta, o mesmo foi seco em estufa a 105 °C ( $\pm 2$  °C) por 24 horas a fim de reduzir o seu alto teor de umidade inicial e, em seguida, armazenado em sacos de polietileno a temperatura

ambiente ( $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) até sua utilização.

A moagem do capim elefante foi realizada em um moinho de facas tipo Willey, Marconi - MA 340, utilizando velocidade fixa de 1750 rpm e peneira de 30 mesh. Para a separação das granulometrias do capim após moagem utilizou-se o Agitador Orbital de Peneiras com Batidas Intermitentes Marconi - MA 750, empregando-se 100g da biomassa por seis minutos. A classificação granulométrica do material foi determinada utilizando-se as peneiras de 20, 35, 60, 100, 200 mesh e o fundo.

## 2.2. Determinação da Umidade da Matéria-prima

Para a determinação do teor de umidade do material separou-se 1g de capim elefante previamente moído e peneirado com tamanho entre 21 e 60 mesh e entre 61 e 200 mesh. Empregou-se uma balança determinadora de umidade AND MX - 50.

## 2.3. Preparação dos briquetes

Após a padronização da umidade da matéria-prima com teor de água próximo de 11%, faixa considerada ideal para a fabricação de briquetes, foram preparados dois tratamentos com granulometrias distintas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Granulometria da matéria-prima utilizada para os dois tratamentos.

Tratamento	Fração (mesh)	
	Passou pela peneira	Retida na peneira
T1	20	60
T2	60	200

## 2.4. Compactação dos Briquetes

O processo de compactação do material em forma de briquete foi realizado empregando-se uma prensa hidráulica (Marconi - MA 098/CP) com moldes cilíndricos de aço inox com diâmetro de 3,5 cm e altura de 16 cm. Todos os briquetes foram preparados empregando-se massa de 20g, pressão de 12.000 Kg e tempo de prensagem de 30s, na ausência de agentes aglutinantes e temperatura.<sup>17</sup> Foram produzidos onze briquetes para cada um dos dois tratamentos preparados.

## 2.5. Aferição da Expansão dos Briquetes

A expansão do briquete foi calculada pela mensuração da altura dos corpos-de-prova na posição do sentido de aplicação da força

de prensagem. Foram realizadas as mensurações nos corpos-de-prova com paquímetro após a briquetagem e antes dos ensaios de compressão diametral.

## 2.6. Ensaio de Compressão Diametral dos Briquetes

Após acondicionamento das amostras em sacos de polietileno lacrados em temperatura de  $27^{\circ}\text{C}$  por 96 horas, a análise de compressão foi realizada empregando-se uma máquina universal de ensaios EMIC - DL30000, com célula de carga de 500 Kgf, a uma velocidade constante de 3 mm/min. O ensaio foi realizado a partir de uma adaptação da norma NBR 7222 para determinação da resistência a tração por compressão diametral em amostras

cilíndricas de argamassa.<sup>26</sup>

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Tratamento Estatístico

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, constituindo dois tratamentos, com onze repetições por tratamento. Os dados coletados foram submetidos ao Teste de Shapiro-Wilk, à análise de variância (ANOVA), ambos a 5% de probabilidade e calculados com o software Tinn-R®, versão 2.14.2.

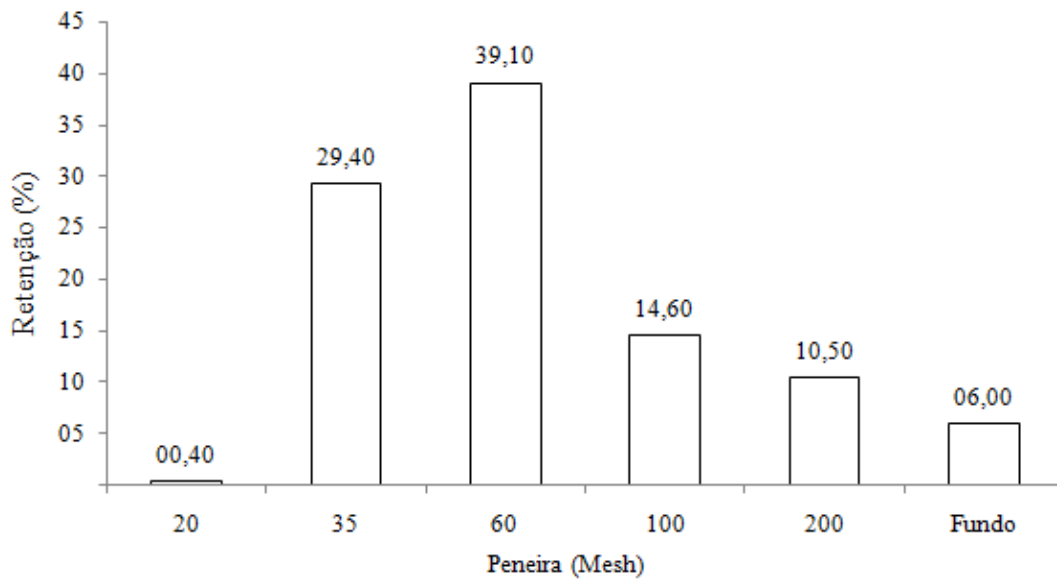
#### 3.2. Granulometria e Umidade

O capim elefante, após o processo de moagem, apresentou teor de água de 6,37% e 6,02%, para os tamanhos de partículas T1 e T2, respectivamente, o que mostra que a quantidade de água presente nas partículas não é significativamente afetada pelo processo de moagem.

Apesar de uma pequena diferença na quantidade de água presente na matéria-prima de ambos os tratamentos, consequência das diferentes granulometrias e maior área superficial, os valores médios de umidade de T1 e T2 foram condizentes com a literatura.<sup>27</sup> A presença de celulose e hemicelulose favorecem a formação de

ligações hidrogênio com as moléculas de água. O processo de moagem converte as fibras empregadas em fragmentos menores, o que resulta num aumento da área superficial das mesmas, incrementando, assim, a higroscopicidade da matéria-prima.<sup>28</sup>

A figura 1 apresenta a distribuição das partículas após análise granulométrica. Os resultados mostram que o processo de moagem ocorreu de maneira efetiva apesar da presença de 0,4 % de partículas com dimensões superior 20 mesh. Após a moagem e separação das partículas, a maior porcentagem de material ficou retida nas peneiras de 35 e 60 mesh, enquanto que a porção mais fina do peneiramento apresentou porcentagem de rendimento de apenas 26%. A quantidade retida na peneira do fundo, apesar de possuir a menor granulometria e, portanto, ser adequada ao T2, apresentou um rendimento de apenas 6% no processo de determinação da granulometria, como é mostrada na figura 1. Assim, tal porção não foi incluída como componente do T2. A fim de maximizar a quantidade de material para ambos os tratamentos no menor intervalo de tempo possível de peneiramento, foram somadas as porções retidas das duas peneiras de maior rendimento, levando-se em conta a proximidade de suas granulometrias, sendo desprezadas as granulometrias restantes. Tal fato justifica a criação da granulometria utilizada para T1 (21 a 60 mesh) e T2 (61 a 200 mesh), com quantidade de material correspondente a 68,5% para T1 e 25,1% para T2.

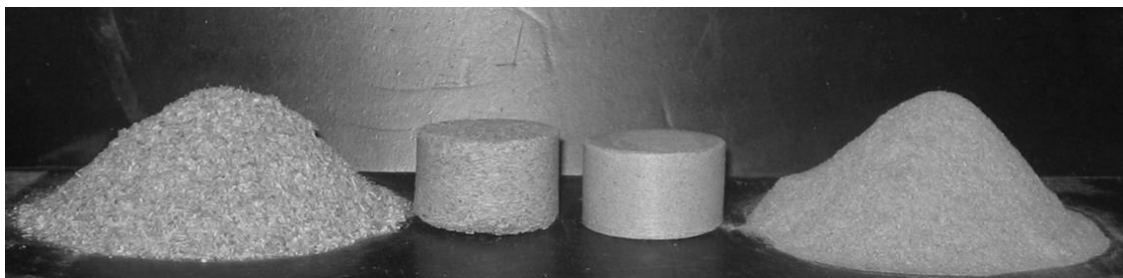


**Figura 1.** Distribuição das partículas da serragem de *P. purpureum* após moagem

### 3.3. Briquetes confeccionados

Na Figura 2 estão apresentadas imagens das frações separadas por faixa de tamanho de partículas e seus respectivos briquetes: à direita é apresentada a fração retida nas peneiras de 100 e 200 mesh e à esquerda a porção retida nas peneiras de 35 e 60 mesh. O uso do capim elefante como matéria-prima na produção de briquetes mostrou-se eficaz, com a formação de briquetes compactos sem desprendimento de material. A densidade aparente dos briquetes foi de  $797,22 \text{ kg.m}^{-3}$

para T1 e  $825,95 \text{ kg.m}^{-3}$  para T2, ambos com coeficiente de variação de 2,3% e 1,8%, respectivamente. A diferença entre os tratamentos foi significativa (nível de significância de 99,99%). Apesar do poder calorífico do material ser inerente à natureza química da biomassa, também o é em relação a quantidade em massa densificada no briquete. Assim, briquetes formados de materiais de menores granulometrias (T2) apresentam maior densificação energética, proporcionando uma melhor compactação do material, resultando em maior poder energético se comparado ao T1.

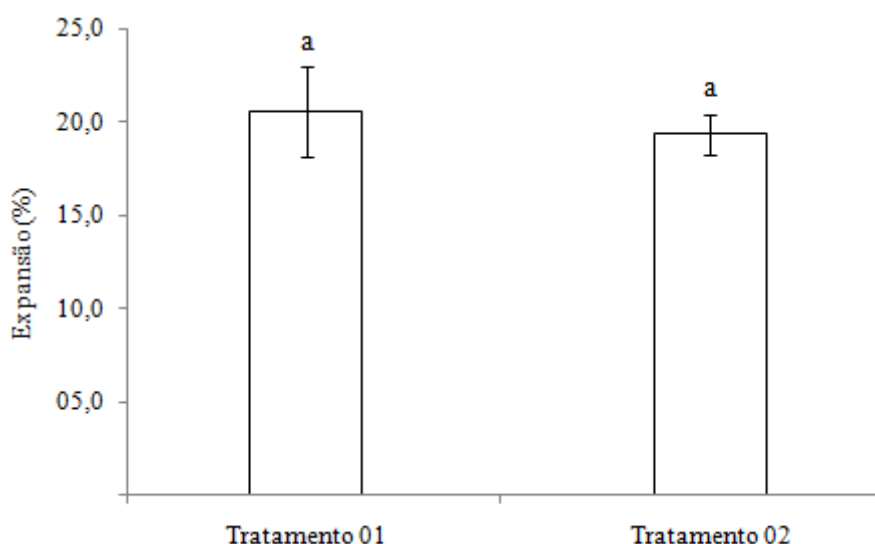


**Figura 2.** As porções granulométricas obtidas e seus respectivos briquetes: à direita é apresentada a fração do tratamento T2 e à esquerda a porção do tratamento T1

### 3.4. Expansão dos briquetes

Após a compactação da biomassa, as partículas aplicam uma força de reação frente a compactação do combustível sólido, o que leva a expansão do material compactado. Quando a expansão se estabiliza, essa reação se torna nula, sendo possível garantir a estabilidade dimensional das amostras.<sup>29</sup> Assim, a aferição da expansão de briquetes é relevante uma vez que influem nas qualidades mecânicas do produto, como a resistência mecânica para o empilhamento, o transporte e a friabilidade.

Na figura 3 é possível observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto à expansão dos briquetes. O tratamento T1 apresentou uma média de expansão de 20,60 % (com desvio padrão de  $\pm 2,45$  %), bem próxima ao valor encontrado em T2 de 19,39 % (com desvio padrão de  $\pm 1,07$  %). Pelo teste de Shapiro-Wilk obteve-se que os dados possuem homogeneidade de variância, ou seja, possuem distribuição normal. O coeficiente de variação encontrado para T1 foi de 11,87 % e para T2 o valor foi de 5,54 %.



**Figura 3.** Expansão média dos corpos-de-prova de T1 e T2 e desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pela ANOVA a 5% de probabilidade

### 3.5. Resistência dos Briquetes

A partir do conhecimento da resistência mecânica dos briquetes é possível calcular a tensão máxima que as amostras suportam, o que está estritamente relacionado à capacidade de empilhamento, manuseios no transporte e no estoque, fatores que influenciam em sua densidade energética.<sup>30</sup>

No ensaio para se aferir a resistência mecânica dos tratamentos, a ANOVA mostrou que houve diferença significativa entre os tratamentos. E pelo teste de

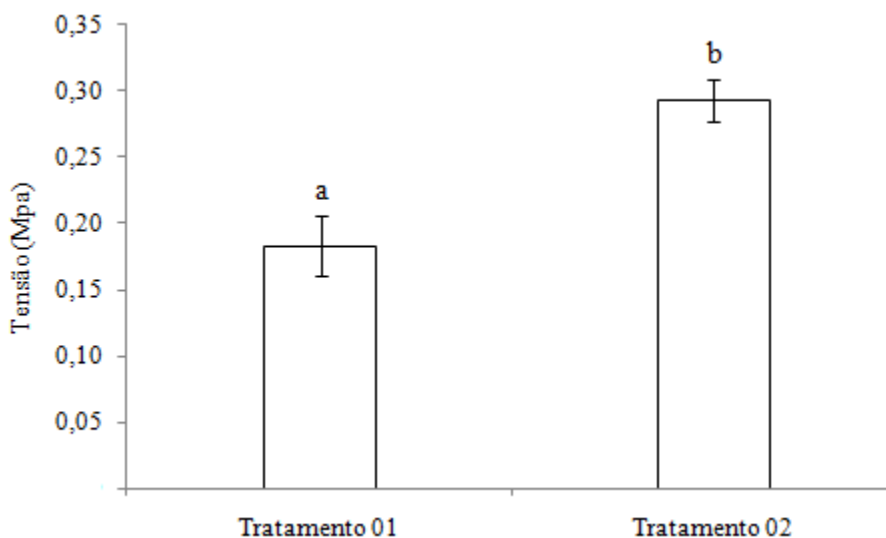
Shapiro-Wilk confirmou-se que os dados apresentaram veracidade estatística, pois os valores representaram uma distribuição normal.

A média da tensão de compressão diametral e o desvio padrão estão apresentados na figura 4. A tensão média suportada pelas amostras de T1 foi de 0,18 MPa e de T2 foi de 0,29 MPa, esta cerca de 61% mais resistente que a primeira, sendo o desvio padrão dos tratamentos de 0,023 MPa e 0,016 MPa, respectivamente. O coeficiente de variação encontrado em T1 foi de 12,61 %

e T2 apresentou coeficiente de variação de 5,46%.

A maior superfície de contato gerada pelo menor tamanho das partículas proporcionou

uma maior interação entre elas; assim, a água no processo acaba por atuar como um ligante, ao possibilitar ligações hidrogênio entre as partículas.<sup>28</sup>



**Figura 4.** Valores de tensão média na compressão diametral nos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pela ANOVA a 5% de probabilidade

As faixas de granulometria apresentadas neste trabalho representam um intervalo do diâmetro das partículas da matéria-prima. O efeito da granulometria na compactação do material é bastante comum no estudo de solos. Em trabalhos de análise do solo o material é separado em diferentes granulometrias e são denominadas faixas de argila, silte, areia e pedregulho.<sup>31-33</sup> Estas faixas podem exibir diferentes comportamentos de expansão e resistência em função do tamanho da granulometria, sendo que a menor granulometria tende a aumentar a resistência do solo. Da mesma forma, a menor granulometria resultou em briquetes com maior resistência.<sup>31</sup> Observou-se que, quanto à expansão, não houve diferença significativa entre T1 e T2, provavelmente pela proximidade das faixas granulométricas escolhidas para os tratamentos.

Os briquetes de capim elefante, preparados com a matéria-prima processada

em sua porção mais fina, apresentou o melhor resultado de tensão suportada pelos corpos-de-prova. Chegando a ser 61% mais resistente se comparada ao tratamento da porção mais grossa, possivelmente devido à maior interação entre as partículas. O resultado é inferido pela maior área superficial das partículas formadora dos briquetes. A resistência mecânica do briquete está associada a vários parâmetros de produção, dentre eles a granulometria da matéria-prima.<sup>25</sup> Estudos mostram que a influência da granulometria na preparação de briquetes de *Eucalyptus sp.* com uma granulometria superior a 16 mesh (partícula menor que 1 mm) obtiveram briquetes com uma maior resistência comparado aos briquetes preparados com partículas entre 2 e 10 mm. Resultados semelhantes já foram relatados para briquetes de finos de carvão vegetal, fato que reafirma que quanto menor a granulometria da matéria-prima maior a resistência mecânica dos briquetes.<sup>17;34</sup>



Pesquisadores estudaram o efeito da granulometria no processo de peletização. Eles trabalharam com a gramínea *Panicum virgatum* e concluíram que a diminuição do tamanho das partículas de 3,2 para 2,8 mm resultaram em peletes mais resistentes.<sup>35,36</sup>

#### 4. Conclusão

Os resultados mostraram que é possível a produção de briquetes empregando-se capim elefante como matéria-prima, uma vez que a briquetagem promove melhorias no transporte, estocagem e manuseio do material usado. Os resultados corroboraram para confirmar que a granulometria da matéria-prima é uma variável que deve ser analisada no processo de produção de briquetes pois interfere em sua formação, definindo a qualidade do produto final, posto que a interação entre a água e a holocelulose do material favorecem a formação de ligações hidrogênio. A resistência mecânica apresentou-se maior para os briquetes produzidos com partículas entre 61 e 200 mesh se comparado aos produzidos com partículas entre 21 e 60 mesh, o que confirma a influência da granulometria no processo de briquetagem, resultado do aumento da área superfície de contato. Assim, aplicações na produção de energia são viáveis na indústria ceramista.

#### Agradecimentos

Ao CNPq pelo financiamento do projeto e as bolsas concedidas, a CAPES (projeto PNPd 02880/09-1) e ao Grupo de Bioenergia e ao Laboratório de Bioenergia e Materiais Lignocelulósicos da Universidade Federal de São Carlos – campus Sorocaba-SP.

#### Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Guedes, C. L. B.; Adão, D. C.; Quessada, T. P.; Borsato, D.; Galão, O. F.; Di Mauro, E.; Pérez, J. M. M.; Rocha, J. D. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. *Química Nova* **2010**, *33*, 4. [[Link](#)]
- <sup>2</sup> Fernandes, D. M.; Suzuki, A. B. P.; Vieira, A. C.; Araújo, I. R. C.; Costanzi, R. N.; Faria, R. A. P.; Edwiges, T. Biomassa como fonte alternativa de energia. *Revista da Madeira* **2011**, 129. [[Link](#)]
- <sup>3</sup> Blank, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. *Revista Mercator* **2015**, *14*, 2. [[CrossRef](#)]
- <sup>4</sup> Santos, M. A. *Fontes de energia nova e renovável*. 1a. ed., LTC: Rio de Janeiro, 2013.
- <sup>5</sup> Simioni, F. J.; Hoeflich, V. A. Cadeia produtiva de energia de biomassa na região do planalto sul de Santa Catarina: uma abordagem prospectiva. *Revista Árvore* **2010**, *34*, 6. [[CrossRef](#)]
- <sup>6</sup> Vale, A. T. de; Gentil, L. V.; Costa, C. M. de. Caracterização energética e rendimento da carbonização de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), Duke. *Cerne* **2007**, *13*, 4. [[Link](#)]
- <sup>7</sup> EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016, 2016. [[Link](#)]
- <sup>8</sup> Nicolini, K. P.; Casagrande, M.; De Jesus, A. C. *Pirólise de biomassa em baixas temperaturas*. 1a. ed., Átomo: Campinas, 2013.
- <sup>9</sup> Senelwa, K.; Sims, R. E. H. Fuel characteristics of short rotation forest biomass. *Biomass and Bioenergy* **1999**, *17*, 2. [[CrossRef](#)]
- <sup>10</sup> Fagan, E. B.; Ono, E. O.; Rodrigues, J. D.; Chalfun Júnior, A.; Dourado Neto, D. *Fisiologia Vegetal: Reguladores Vegetais*. 1a. ed., Andrei: Piracicaba, 2015.
- <sup>11</sup> Tessema, Z. K.; Mihret, J.; Solomon, M. Effect of defoliation frequency and cutting height on growth, dry-matter yield and nutritive value of Napier grass (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumacher). *Grass and Forage Science* **2010**, 65. [[CrossRef](#)]

- <sup>12</sup> Wijitphan, S.; Lorwilai, P.; Arkaseang, C. Effects of plant spacing on yields and nutritive values of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Shum.) under intensive management of nitrogen fertilizer and irrigation. *Pakistan Journal of Nutrition* **2009**, 8 (a). [CrossRef]
- <sup>13</sup> Neiva, R. Melhoramento Genético Page. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17002039/nova-cultivar-de-capim-elefante-apresenta-produtividade-30-maior>>. Acesso em: 20 novembro de 2016.
- <sup>14</sup> Grasel, F. S.; Stiehl, A. C. R.; Bernardi, L. P.; Herpich, T. L.; Behrens, M. C.; Andrade, J. B.; Schultz, J.; Mangrich, A. S. Inovação em Biorrefinarias I. Produção de Etanol Geração a partir de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum*) e Bagaço de Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). *Revista Virtual de Química* **2017**, 9, 1. [CrossRef]
- <sup>15</sup> Quesada, D. M.; Boddey, R. M.; Reis, V. M.; Urquiaga, S. Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa. *Circular Tecnica* **2004**, 8. [Link]
- <sup>16</sup> Filippetto, D. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2008. [Link]
- <sup>17</sup> 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* **2016**, 9, 1. [CrossRef]
- <sup>18</sup> Eufraide Junior, H. J.; Nakashima, G. T.; Yamaji, F. M.; Saulo, P. S. G.; Ballarin, A. W. Eucalyptus short-rotation coppice for solid fuel production. *Industrial Crops and Products* **2017**, 108. [CrossRef]
- <sup>19</sup> Nakashima, G. T.; Martins, M. P.; Hanstead, A. L. S.; Yamamoto, H.; Yamaji, F. M.; Sugarcane trash for energy purposes: Storage time and particle size can improve the quality of biomass for fuel. *Industrial Crops and Products* **2017**, 108 [CrossRef]
- <sup>20</sup> Santos, L. R. O. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 2011. [Link]
- <sup>21</sup> Aló, L. L.; Konishi, P. A.; Belini, G. B.; Silva, J. P.; Martins, M. P.; Nakashima, G. T.; Caraschi, J. C.; Yamaji, F. M. Briquetes de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Pó de Lixa de Eucalyptus spp: Caracterização e Equilíbrio Hisgroscópico. *Revista Virtual Química* **2017**, 9, 2. [CrossRef]
- <sup>22</sup> Hansted, A. L. S.; Nakashima, G. T.; Martins, P. M.; Yamamoto, H.; Yamaji, F. M. Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production. *Fuel* **2016**, 184, 1. [CrossRef]
- <sup>23</sup> Chrisostomo, W. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 2011. [Link]
- <sup>24</sup> Moraes, D. M.; *Dissertação de Doutorado*, Universidade de Brasília, 2007. [Link]
- <sup>25</sup> Quirino, W. F.; Pinha, I. V. O. de; Moreira, A. C. O. de.; Souza, F. de; Tomazello Filho, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. *Scientia Forestalis* **2012**, 40, 96. [Link]
- <sup>26</sup> ABNT NBR 7222/11, Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos, Rio de Janeiro, RJ, 2017. [Link]
- <sup>27</sup> Barreto, G. P.; Lira, M. A. de.; Santos, M. V. F. dos.; Dubeux Júnior, J. C. B. Avaliação de Clones de Capim-Elefante (*Pennisetum Purpureum* Schum.) e de um Híbrido com o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Submetido a Estresse Hídrico. 2. Valor Nutritivo. *Revista Brasileira de Zootecnia* **2001**, 30, 1. [Link]
- <sup>28</sup> Silva, D. A.; Da Róz, A. L.; Pires, A. A. F.; Carvalho, A. M.; Nakashima, G. T.; Pádua, F. A.; Yamaji, F. M. A influência da Umidade em Propriedades Mecânicas de Briquetes Produzidos com Resíduos de Madeira (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.). *Revista Virtual Química* **2017**, 9, 3. [CrossRef]
- <sup>29</sup> Chrisostomo, W. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2016. [Link]
- <sup>30</sup> Silva, D. A.; Nakashima, G. T.; Barros, J. L.; Da Róz, A. L.; Yamaji, F. M. Caracterização de biomassas para a briquetagem. *Floresta* **2015**, 45, 4. [CrossRef]

<sup>31</sup> Machado, C. C.; Portugal, C. R. M. Comportamento geotécnico de misturas granulométricas de solo-grits. *Revista Árvore* **2012**, *36*, 3. [[CrossRef](#)]

<sup>32</sup> Silva, T. O. de.; Carvalho, C. A. B. de.; Lima, D. C. de.; Calijuri, M. L.; Lani, J. L.; Oliveira, T. M. Sistemas de classificações geotécnicas de solos: Estudo de caso aplicado à rodovia não pavimentada VCS 346. *Revista Árvore* **2010**, *34*, 2. [[CrossRef](#)]

<sup>33</sup> Silva, T. O. de.; Carvalho, C. A. B. de.; Lima, D. C. de.; Calijuri, M. L.; Machado, C. C.; Oliveira, T. M. de. Avaliação do subleito de rodovias vicinais de baixo volume de tráfego por meio de ensaios geotécnicos. *Revista Árvore* **2011**, *35*, 4. [[CrossRef](#)]

<sup>34</sup> Melo, V. P. S. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 2000. [[Link](#)]

<sup>35</sup> <sup>35</sup> Samson, P.; Duxbury, P.; Drisdelle, M.; Lapointe, C. Assessment of pelletized biofuels. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/310607290\\_Assessment\\_of\\_Pelletized\\_Biofuels](https://www.researchgate.net/publication/310607290_Assessment_of_Pelletized_Biofuels)>; 2000. Acesso em: março 2016.

<sup>36</sup> Jannasch, R.; Quan, Y.; Samson, R. A process and energy analysis of pelletizing switchgrass. Final report. Disponível em: <[http://www.reap-canada.com/online\\_library/Reports%20and%20Newsletters/Bioenergy/11%20A%20Process.pdf](http://www.reap-canada.com/online_library/Reports%20and%20Newsletters/Bioenergy/11%20A%20Process.pdf)>; Acesso em: 22 março 2017.