

XXVII CREEM

AVALIAÇÃO DO USO DO PÓ DE PINUS ORIUNDO DE MADEIREIRAS PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES

Ingrid Mayer Krinski, ingryd.krinski@pucpr.edu.br¹
Viviana Cocco Mariani, viviana.mariani@pucpr.br^{1 2}

¹ Mechanical Engineering Graduate Program (PPGEM), Pontifical Catholic University of Parana (PUCPR). 1155, Rua Imaculada Conceição, Curitiba, PR, Brazil. 80215-901

² Department of Electrical Engineering, Federal University of Parana (UFPR). 100, Avenida Coronel Francisco Heraclito dos Santos, Curitiba, PR, Brazil. 81530-000

Resumo. *O presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso do pó de serragem de pinus sp. como matéria-prima na produção de briquetes. O material utilizado foi doado por madeireiras que processam o pinus sp. e acabam gerando este resíduo. Para a avaliação do briquete, diversos parâmetros foram analisados, os quais são: umidade, cinzas, matéria-volátil, carbono fixo, poder calorífico superior, densidade a granel e energética e resistência à tração por compressão diametral. Os briquetes foram produzidos em prensa hidráulica de 12 toneladas sem aquecimento e uso de aglutinantes. Os resultados das análises imediatas foram bem satisfatórios, indicando o uso do pó de serra de pinus sp. como combustível uma excelente escolha, pois possui baixo teor de cinzas e umidade, alta disponibilidade, baixo custo, facilidade no processo de briquetagem, não libera substâncias tóxicas durante a combustão, fácil obtenção, alto poder calorífico e após briquetado, possui grande segurança no armazenamento e transporte devido a sua alta resistência mecânica.*

Palavras chave: *Bioenergia, Briquetes, Pinus, Resíduo, Resistência Mecânica.*

Abstract. *The present study aimed to evaluate the use of sawdust powder from pinus sp. as raw material in the production of briquettes. The material used was donated by logging companies that process pinus sp. and end up generating this waste. For the evaluation of the briquette, several parameters were analyzed, which are: Humidity; Ash; Volatile Matter; Fixed Carbon; Higher Calorific Power; Bulk and Energetic Density and Tensile Strength by Diametrical Compression. The briquettes were produced in a 12 ton hydraulic press without heating and using binders. The results of the immediate analyzes were very satisfactory, indicating the use of sawdust from pinus sp. as an excellent choice as fuel, as it has low ash and moisture content, high availability, low cost, ease in the briquetting process, doesn't release toxic substances during combustion, easy to obtain, high calorific power and after briquetting, has great safety in storage and transport due to its high mechanical resistance.*

Keywords: *Bioenergy, Briquettes, Pine, Residue, Mechanical Resistance.*

1. INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é composta por diversas fontes de geração de energia, sendo a parcela principal de fontes renováveis, tais como hidráulica, biomassa, eólica e solar. Em janeiro de 2020, no Brasil, as fontes de energias renováveis representaram 83,6% da capacidade instalada de geração de energia elétrica, sendo que a hidráulica correspondeu a 63,3% seguida da biomassa com 8,7% (GOV, 2020).

Neste contexto, observa-se o destaque que a biomassa apresenta no setor elétrico brasileiro, correspondendo a segunda maior fonte de geração de energia no Brasil. Ainda assim, o Brasil possui potencial de crescimento da participação da biomassa na matriz energética, pois em janeiro de 2020, a capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil como fonte a biomassa foi de 15.015 MW, representando um acréscimo de 1,6% em comparação com o mesmo mês do ano anterior (EPE, 2020).

A biomassa pode ser de origem animal ou vegetal, sendo a segunda com maior representação na matriz energética. O seu crescimento está relacionado as diversas vantagens que este material pode apresentar, como os benefícios ambientais no aproveitamento de resíduos, a capacidade de produzir energia de forma previsível e demandada e a possibilidade de emissão zero de carbono, visto que o gás carbônico emitido na queima é o que estava retido na biomassa.

O resíduo de pó de serra de pinus sp. apresenta ampla disponibilidade no Brasil e é gerado em grandes quantidades nas empresas de processamento destas madeiras. No presente trabalho, o uso do pó de serra de pinus na composição de briquetes relaciona-se ao potencial para briquetagem destes resíduos.

Dentre as técnicas utilizadas para a queima das biomassas residuais, a briquetagem se destaca, pois o processo possui baixo custo, os briquetes produzidos reduzem o custo com armazenamento e transporte e possuem alta concentração de energia por unidade de volume quando comparada com a biomassa a granel (SILVA et al, 2020).

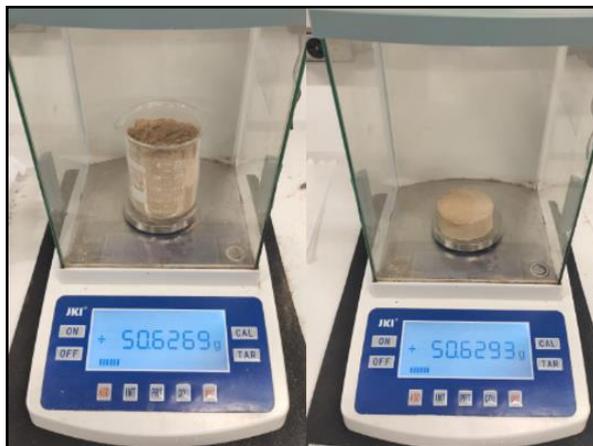


Figura 1. Comparativo da mesma quantidade de biomassa em granel e em briquete (As autoras, 2021).

A briquetagem é uma técnica de prensagem de partículas de materiais lignocelulósicos, podendo ser feita com a utilização de aglutinantes e com aquecimento durante a prensagem, produzindo materiais denominados briquetes que possuem alta densidade agregando seu valor comercial. O briquete é considerado um produto ecológico energético devido ao aproveitamento de resíduos, sendo um aliado na ascensão de energias limpas.

O pó de serra de pinus sp. apresenta partículas bem finas e possui natureza heterogênea com diferentes densidades, volumes e teor de umidade. Estes parâmetros influenciam na qualidade do briquete produzido e, desta forma, a necessidade de se avaliar como estas características impactam no produto. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo produzir briquetes de pó de serra de pinus sp., analisar os seus parâmetros e avaliar a qualidade do briquete produzido com esta matéria-prima.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Pó de serra de Pinus sp.

A matéria-prima utilizada neste trabalho é o pó de pinus sp. o qual trata-se de um rejeito oriundo do processamento da madeiras. O material utilizado foi doado por uma madeiraira localizada em Tunas do Paraná e que hoje esta empresa possui custos na destinação deste resíduo. A coleta deste pó nas madeirairas ocorre através de exaustores ligados a um coletor, conforme mostra Fig. 2.



Figura 2. Coleta do pó de serra de pinus sp. em madeirairas (As autoras, 2021).

2.2. Análise imediata do pó de serra de Pinus sp.

O teor de umidade da biomassa em base seca foi determinado com base na norma ASTM D 3173-87 (1991) através do equipamento de umidade baseado no cálculo de redução de peso de uma amostra quando submetida a aquecimento em determinadas condições.



Figura 3. Teor de umidade do pó de serra de pinus sp (As autoras, 2021).

O teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma ASTM D 1102-84 (2007). O material é inicialmente calcinado. Em seguida, a amostra de biomassa é queimada em estufa com controle de temperatura, tempo e atmosfera. A queima ocorre de forma gradual em 1 grama de amostra sob cadinho de porcelana, iniciando em temperatura ambiente e aumentando gradualmente até o atingimento de 500°C na primeira hora, após isso, a temperatura deve chegar nos 750°C até o final da segunda hora, mantendo esta temperatura por mais duas horas. Após o processo de queima, a amostra restante no cadinho é medida em balança analítica e refere-se as cinzas presentes em 1 grama de amostra.



Figura 4. Equipamento para calcinação da amostra e mufla, respectivamente (As autoras, 2021).

O teor de matéria volátil da biomassa para a produção dos briquetes foi calculado de acordo com a norma ASTM D 3175-89 (1991). Esta norma determina a quantidade de produtos gasosos liberados, percentualmente, sob determinadas condições de aquecimento. Este teor gasoso desprendido da amostra é estabelecido com base na perda de peso desta amostra corrigida para o teor de umidade. O procedimento consiste no aquecimento de um grama de amostra da biomassa em cadinho de porcelana tampado em mufla pré-aquecida em 800°C durante 12 minutos. Deve-se manter um fluxo de ar durante o aquecimento variando de 2 a 4 variações por minuto. Após o aquecimento, o cadinho deve ser resfriado a

temperatura ambiente e pesado novamente. As Equações 1 e 2 demonstram as etapas do cálculo do teor de matéria volátil na amostra de biomassa.

$$P = [(A-B)/A] \times 100 \quad (1)$$

Onde:

P = Perda de Massa (%);

A = Massa da amostra utilizada (1g);

B = Massa da amostra após aquecimento (g);

$$M = P - U \quad (2)$$

Onde: M = Matéria Volátil (%);

U = Teor de umidade (%).

O teor de carbono fixo expressa a quantidade de matéria orgânica não volátil presente em uma determinada amostra. O cálculo baseia-se na soma em porcentagem de umidade, cinzas e matéria volátil, subtraindo tal resultado de 100, para a obtenção do teor de carbono fixo, conforme representado na Eq. 3.

$$F = 100 - (U+C+M) \quad (3)$$

Onde:

F = Teor de carbono fixo (%);

U = Teor de umidade (%);

C = Teor de cinzas (%);

M = Teor de matéria volátil (%).

A análise do poder calorífico superior (PCS) é realizado em uma bomba calorimétrica Parr® contendo oxigênio com pressão inicial de 20 a 40 atm e temperatura final de 20 a 35° C, seguindo a norma ASTM D 2015-91 (1991), método que determina a quantidade de calor produzido em uma combustão da quantidade unitária de uma determinada substância sob condições controladas. O procedimento ocorre em uma bomba calorimétrica e o resultado do PCS é informado no leitor do equipamento.

Após as análises relatadas acima, o pó de serra de Pinus sp. passa pelo processo de briquetagem. Este processo ocorre em uma prensa hidráulica com compactação de 12 toneladas e moldes de 58,64 mm de diâmetro. O tempo de prensagem dos briquetes foram de 23 segundos.

A densidade aparente dos briquetes produzidos dos diversos tratamentos, foi determinada através do cálculo estequiométrico, em que se obtém o volume através das medições com o auxílio de um paquímetro e a massa é obtida através de uma balança analítica de alta precisão. A equação abaixo demonstra o cálculo da densidade aparente:

$$Da = M/V \quad (4)$$

Onde:

M = Massa do briquete (g);

V = Volume do briquete (cm³);

Da = Densidade aparente (g/cm³).

A densidade energética é calculada a partir do produto entre o poder calorífico superior e a densidade aparente.

A resistência à tração por compressão diametral dos briquetes de pó de serra de Pinus sp. foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 7222/94. Os ensaios mecânicos dos briquetes foram realizados na máquina EMIC modelo DL 500, utilizando-se uma célula de carga com capacidade de 500 kgf e velocidade de ensaio de 100 mm/s, onde o esforço foi realizado na parte superior do briquete de modo individual.

2.3 Briquetagem

Para o processo de moldagem dos briquetes utiliza-se uma prensa hidráulica com compactação de 12 toneladas e com molde de 58,64 mm de diâmetro. O tempo de prensagem dos briquetes foram de 23 s.

Chrisostomo (2010) demonstrou a eficiência do processo de prensagem sem a utilização de temperatura e sem o uso de aglutinantes e, desta forma, trabalhou-se com este modelo. No presente trabalho, elaborou-se briquetes com diferentes alturas e, conseqüentemente, diferentes quantidades de massa para validação mecânica da melhor performance. Para cada

tratamento com o pó de serra de Pinus sp. foram confeccionados três repetições e, após a prensagem, mediu-se a altura de cada briquete com o auxílio de um paquímetro digital e mediu-se a massa através de uma balança digital.

Os briquetes produzidos foram acondicionados em câmara climática com controle de temperatura e umidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise imediata do pó de serra de Pinus sp.

Na Tabela abaixo encontram-se os valores da análise imediata obtida no pó de serragem de pinus, utilizado como matéria-prima na produção dos briquetes do presente trabalho. Estes parâmetros são importantes para a realização do projeto da caldeira ou fornalha, através de cálculos da quantidade de ar primário e secundário. O teor de matéria volátil apresenta grande importância durante a ignição e as primeiras etapas de combustão do combustível sólido.

Tabela 1. Resultados da análise imediata (As autoras, 2021)

Tratamentos	Umidade	Teor de cinzas	Teor de Matéria Volátil	Teor de Carbono Fixo
Pó de Serra de Pinus	9,09%	3,70%	2,02%	85,19%

Observa-se que o teor de umidade obtido no pó de serra de pinus foi de 9,09%. De acordo com Quirino (2002), briquetes com melhor qualidade possuem umidade na faixa de 8 a 12%. Salienta-se que este material foi obtido de uma madeira e não foi necessário realizar nenhuma secagem no mesmo. Desta forma, avaliando o parâmetro de umidade, observa-se que se pode trabalhar diretamente com este rejeito.

O teor de cinzas é um parâmetro desfavorável na produção de briquetes quando apresentado em valores altos, pois esta ligado inversamente ao poder calorífico do material e pode gerar danos nos equipamentos de queima devido a incrustação de cinzas. CHEN et al (2017), recomenda que briquetes sejam produzidos com materiais que apresentem conteúdo de cinzas inferior a 4%. Para a matéria-prima utilizada, o valor do teor de cinzas foi de 3,70%, apresentando resultado satisfatório.

A matéria volátil corresponde aos hidrocarbonetos e outros gases presentes na amostra e que são eliminados durante aquecimento. O seu valor têm influência direta no teor de carbono fixo. O índice de matérias voláteis e carbono fixo são inversamente proporcionais. A matéria-prima utilizada apresenta alto índice de carbono fixo e, conseqüentemente, baixo teor de voláteis, indicando ser um combustível de queima mais lenta, ou seja, necessitará de mais tempo de residência na caldeira ou fornalha para ter sua queima completa.

3.2 Briquetagem

A briquetagem do pó de serra de pinus ocorreu em prensa hidráulica com pressão de 12 toneladas sem uso de temperatura ou de aglutinantes. Elaborou-se briquetes com diferentes alturas para verificar qual modelo apresenta melhores resultados mecânicos, visto que este parâmetro está relacionado ao comportamento do briquete no processo de estocagem e transporte.

Na Figura 5 estão representados os briquetes obtidos, sendo que ao todo foram produzidos 6 tratamentos diferentes.

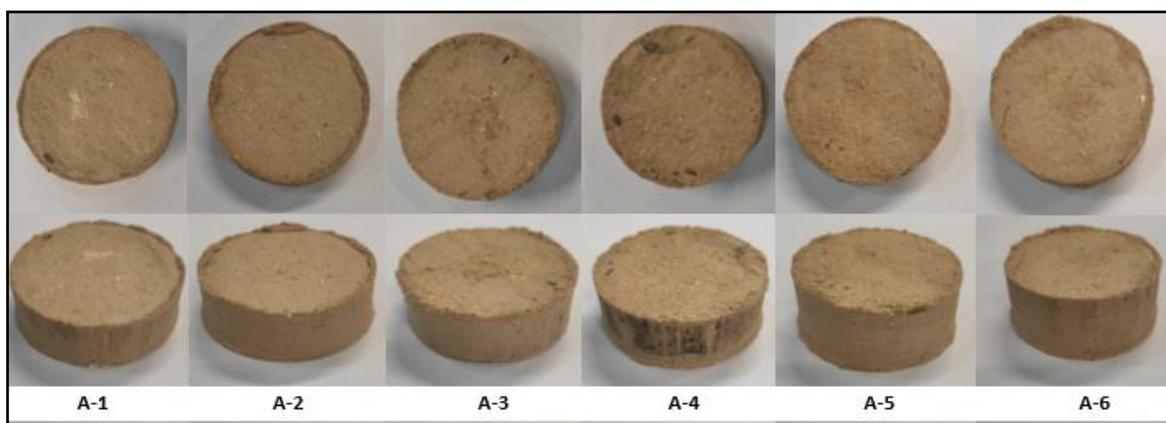


Figura 5. Briquetes produzidos em prensa hidráulica (As autoras, 2021)

Alguns briquetes apresentaram pequenas fissuras no seu corpo. No mais, todos apresentaram formatos uniformes, com boa compactação e aparência.

3.2.1 Densidade aparente

Na Tabela 2 pode-se observar os parâmetros de cada tratamento. Nota-se que a densidade aparente variou de 0,76 a 0,80 g/cm³ para os briquetes, enquanto que a densidade aparente da matéria-prima utilizada, apresentou densidade aparente de 0,20 g/cm³.

Tabela 2. Densidade aparente dos briquetes (As autoras, 2021)

Tratamentos	Massa (g)	Altura (mm)	Volume (cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)
A-1	36,72	17,13	46,26	0,79
A-2	37,35	17,27	46,64	0,80
A-3	40,50	18,91	51,07	0,79
A-4	43,44	20,48	55,31	0,79
A-5	49,63	23,47	63,39	0,78
A-6	50,64	24,63	66,52	0,76
MP granel	50,64	-	250	0,20

3.3 Análises mecânicas

Os briquetes produzidos com diferentes alturas e, conseqüentemente, diferentes medidas de massa, foram submetidos ao ensaio mecânico na máquina EMIC DL 2000. Os resultados podem ser observados na Fig. 6.

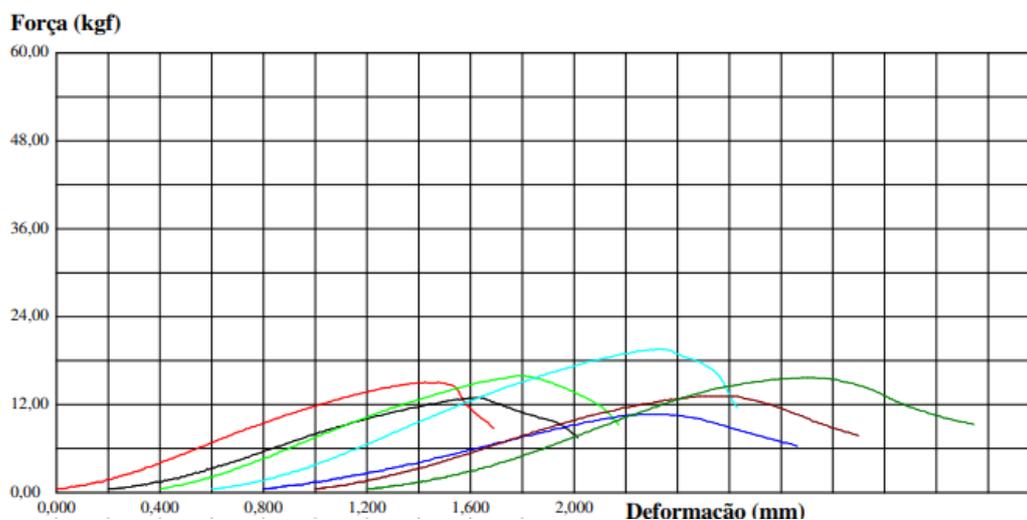


Figura 6. Gráfico do comportamento mecânico dos briquetes (EMIC, 2021)

Pode-se observar que a medida que a altura do briquete aumenta, sua resistência a compressão diametral se eleva, concluindo-se que briquetes produzidos com este material suportam maiores forças aplicadas quanto maior forem suas alturas. A Tabela abaixo apresenta os valores de força máxima suportada pelas amostras.

Tabela 3. Força máxima aplicada nos briquetes (As autoras, 2021)

Tratamentos	Curva do gráfico	Massa (g)	Espessura (mm)	Força Máxima (N)
A-1	Azul	36,72	17,13	105,10
A-2	Preta	37,35	17,27	128,00
A-3	Roxa	40,50	18,91	129,35
A-4	Vermelha	43,44	20,48	147,54
A-5	Verde-limão	49,63	23,47	156,30
A-6	Ciano	50,64	24,63	192,68

3.4 Análises energéticas

O Poder Calorífico Superior está relacionado com a qualidade de um combustível, medida pela capacidade deste produzir calor. Este parâmetro apresenta valores melhores quando a incidência de carbono é maior e apresenta valores menores de acordo com a quantidade de impurezas presentes no combustível (rochosos ou minerais).

A matéria-prima de pó de serra de Pinus sp. teve seu PCS medido no equipamento Parr modelo 6400 Calorimeter, conforme mostra Fig. 7. O valor de PCS calculado pelo equipamento da amostra da matéria-prima foi de 4.029,76 cal/g.

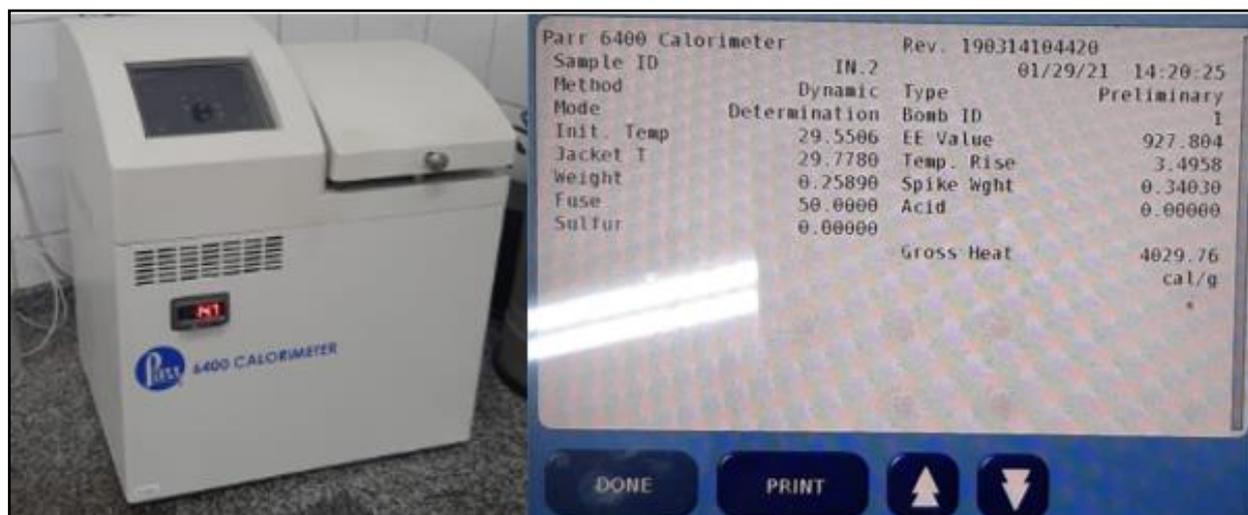


Figura 7. Poder Calorífico Superior do pó de serra de pinus sp. (As autoras, 2021)

Para o cálculo da densidade energética das amostras, o qual o PCS é constante e a variante no cálculo é a densidade aparente, nota-se que a medida que a densidade aparente diminui, a energética aumenta. Este fator está relacionado a quantidade de energia armazenada em função do volume da amostra, conforme mostra Tab. 4.

Tabela 4. Densidade energética dos briquetes (As autoras, 2021)

Tratamentos	Volume (cm ³)	Densidade a granel (g/cm ³)	Densidade energética (cal/cm ³)
A-1	46,26	0,794	5077,05
A-2	46,64	0,801	5032,21
A-3	51,07	0,793	5081,52
A-4	55,31	0,785	5130,94
A-5	63,39	0,783	5146,66
A-6	66,52	0,761	5293,31
MP granel	250	0,203	19894,15

4. CONCLUSÕES

A utilização do pó de serra de pinus sp. na elaboração de briquetes torna-se viável devido aos resultados dos parâmetros estudados. No presente trabalho, foi realizada a análise imediata do pó de serra de Pinus sp. para obter mais informações a respeito da qualidade dos briquetes produzidos em termos de energia, determinando os valores de umidade, cinzas, matéria-volátil e carbono fixo. Foi possível definir que este material apresenta alto grau de qualidade. Além disso, usar o pó de serra de pinus sp. como combustível é uma excelente escolha, pois possui alta disponibilidade, baixo custo, facilidade no processo de briquetagem, não libera substâncias tóxicas durante a combustão, fácil obtenção e após briquetado, possui grande segurança no armazenamento e transporte. Outro fator importante é o poder calorífico do material, o qual possui alto valor indicando sua qualidade como combustível.

Nas análises mecânicas relacionadas as diferentes dimensões dos briquetes produzidos foi possível concluir que os briquetes com maior altura apresentaram melhores resultados de resistência à compressão diametral. Em contrapartida, na análise de matérias voláteis, foi verificado que a utilização do pó de serra de pinus sp. como combustível sólido indica maior tempo de queima, ou seja, quanto maior for o briquete produzido, maior será o tempo de residência de combustível em fornalhas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil - CNPq (Bolsa: 307966 / 2019-4-PQ), Fundação Araucária (PRONEX-FA / CNPq 042/2018) pelo apoio financeiro a este trabalho.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7222**. Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 1994.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM D 1102 – 84** - Standard Test Method for Ash in Wood. In: Annual Book of ASTM Standards, 2007.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM D 3173 – 87** - Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. In: Annual Book of ASTM Standards, 1991.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM D3175 – 89** - Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter. In: Annual Book of ASTM Standards, 1991.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM D2015 – 91** - Standard Test Method for Gross Caloric Value of Coal and Coke. In: Annual Book of ASTM Standards, 1991.

CHEN, N.N; et al. **Far-infrared drying behavior of typical biomass briquettes**. Energy, 121:726-738, jan. 2017.

CHRISOSTOMO, W; et al. **Análise da compactação do bagaço de cana-de-açúcar para produção de briquetes**. V Congresso Internacional de Bioenergia, Curitiba: Remade,1-6, 2010.

EPE - **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <www.epe.gov.br>.

GOV – Governo do Brasil. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira**. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>>.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.