

# ENGENHARIAS: BENEFÍCIOS PARA A INDÚSTRIA E PARA A SOCIEDADE

Amanda Fernandes Pereira da Silva  
(Organizadora)

# ENGENHARIAS:

## BENEFÍCIOS PARA A INDÚSTRIA

## E PARA A SOCIEDADE

Amanda Fernandes Pereira da Silva  
(Organizadora)

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Engenharias: benefícios para a indústria e para a sociedade

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadora:** Amanda Fernandes Pereira da Silva

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: benefícios para a indústria e para a sociedade / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0343-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.432222806>

1. Engenharia. 2. Indústria. 3. Sociedade. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

Um paradigma que expande seu domínio de conceitos teóricos para aplicações no mundo real, é o campo das Engenharias. É capaz de incorporar muitos conceitos tecnológicos em diferentes setores. Juntamente com a pesquisa e a busca por inovações frente ao serviço da indústria, possibilita a existência de uma transição de serviços que contemplem uma indústria mais sustentável, centrado na sociedade e resiliência.

Nesse contexto, o intuito da obra “Engenharias: Benefícios para a indústria e para a sociedade” foi de colaborar com pesquisas que abordem a inovação aprimorada para a indústria e o ser humano afim de impulsionar e corroborar ideias de pesquisa que se utilizem da sustentabilidade como estratégia principal. Em todos os trabalhos fornecidos compreende-se a busca por alternativas viáveis e sustentáveis com relação à medicamentos, energias alternativas e menos poluentes, otimização no uso de máquinas e consumos de energia, reutilização de resíduos e áreas correlacionadas.

A necessidade de mudanças tem sido reconhecida pela indústria há bastante tempo e é motivada devido aos potenciais impactos ambientais, altos investimentos nas tecnologias de fabricação de materiais e, conseqüentemente, agravamento de desigualdades de impacto social. Desta maneira, é importante a disseminação de pesquisas que englobem aspectos ecológicos e sociais, que tenham como foco a economia atrelada aos benefícios e oportunidades sociais que resultem em sustentabilidade.

Em face ao exposto, esta obra abrange estudos práticos da área de engenharia realizados por pesquisadores do país que enfatizam essencialmente indústria-engenharia de sucesso para construir um meio mais sustentável adequado ao contexto real.

Amanda Fernandes Pereira da Silva




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **APPLICATION OF THE SIX SIGMA METHODOLOGY FOR THE LONGEVITY OF BON TOOLS IN TAB BOND MACHINES**

José Heriberto Simental Vázquez

Sergio Escobedo Soto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228061>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **UMA PROPOSTA PARA SE AGREGAR VALOR ENERGÉTICO A RESÍDUOS SÓLIDOS DE QUALQUER TIPO DE MADEIRA**


Sérgio Renato da Silva Soares

Marcelo Mendes Vieira

Karolina Fernandes

Robson Leal da Silva

Luana Góes Soares da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228062>

### **CAPÍTULO 3..... 25**

#### **BANCADA DE GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO O PRINCÍPIO INVERSO DA ROSCA DE ARQUIMEDES**

Carolina Bruski Gonçalves

Paulo Marcos Flores

Rodrigo José Maslonek

Eliara Marin Piazza


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228063>

### **CAPÍTULO 4..... 40**

#### **A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: MEDICAMENTOS**

Rafaela Baldi Fernandes

Alan Henrique Carneiro Brito

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228064>

### **CAPÍTULO 5..... 47**

#### **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CAL COMO ADIÇÃO EM ARGAMASSAS CONVENCIONAIS**

Amanda Fernandes Pereira da Silva

Alefen Silva de Sousa

Halisson Diogo de Moura Leal

João Bráz Araújo Neto

Marcos Alécio Campos da Silva

Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228065>

### **SOBRE A ORGANIZADORA..... 60**

ÍNDICE REMISSIVO.....	61
-----------------------	----

## UMA PROPOSTA PARA SE AGREGAR VALOR ENERGÉTICO A RESÍDUOS SÓLIDOS DE QUALQUER TIPO DE MADEIRA

*Data de aceite: 01/06/2022*

*Data de submissão: 16/04/2022*

### **Sérgio Renato da Silva Soares**

Universidade Federal de Rondonópolis,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Rondonópolis - MT  
<http://lattes.cnpq.br/7362119285991685>

### **Marcelo Mendes Vieira**

Universidade Federal de Rondonópolis,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Rondonópolis – MT  
<http://lattes.cnpq.br/3133241849751366>

### **Karolina Fernandes**

Universidade Federal de Rondonópolis,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Rondonópolis – MT

### **Robson Leal da Silva**

Universidade Federal da Grande Dourados,  
Faculdade de Engenharia  
DOURADOS – MS  
<http://lattes.cnpq.br/9699385923297685>

### **Luana Góes Soares da Silva**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Departamento de Engenharia de Materiais  
Porto Alegre – RS  
<http://lattes.cnpq.br/8474215025680480>

**RESUMO:** É sabido que o aumento de densidade energética da madeira pode também ser obtido a partir da produção de briquetes de resíduos dessa biomassa. Em função da elevada

compactação desses resíduos, os briquetes obtidos a partir disso apresentam valores de densidade energética de duas a três vezes o valor obtido para madeira e até sete vezes a do próprio resíduo. O principal objetivo desse trabalho foi investigar em caráter exploratório, o efeito combinado da pressão e adição de sólidos carbonáceos a estrutura da madeira, no comportamento das propriedades energéticas, em especial, a densidade energética deste material. Diferentes resíduos de madeira de origem desconhecida na forma de galhos colhidos no campus da UFR foram usinados com dimensões próximas àquelas compactadas em diferentes pressões. Os resíduos de pó obtidos a partir do torneamento destes galhos com tamanho de partícula  $\leq 0,85$  mm foram compactados em pressões de até 300 MPa. As amostras usinadas e os briquetes produzidos em diferentes pressões foram caracterizados via análise imediata, determinação do poder calorífico e medidas de densidade a granel e energética. Os resultados mostraram que a adição de sólidos carbonáceos à estrutura da madeira influenciou significativamente no comportamento das densidades a granel e energética deste material. Comparando-se os resultados foi possível identificar nas amostras saturadas com sólidos carbonáceos um aumento percentual na densidade energética de até 49,4%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos de qualquer Madeira, Compactos de Madeira, Pressão de Compactação e Sólidos Carbonáceos.

**ABSTRACT:** It is known that increasing the energy density of wood can also be obtained from the production of briquettes from residues of this biomass. Due to the high compaction of these residues, the briquettes obtained from this have energy density values of two to three times the value obtained for wood and up to seven times that of the residue itself. The main objective of this work was to investigate, on an exploratory basis, the combined effect of pressure and addition of carbonaceous solids to the wood structure, on the behavior of energy properties, in particular, the energy density of this material. Different wood residues of unknown origin in the form of branches harvested at the UFR campus were machined with dimensions close to those compacted at different pressures. The powder residues obtained from the turning of these branches with particle size  $\leq 0.85$  mm were compacted at pressures of up to 300 MPa. The machined samples and the briquettes produced at different pressures were characterized via immediate analysis, determination of calorific value and bulk and energy density measurements. The results showed that the addition of carbonaceous solids to the wood structure significantly influenced the behavior of the bulk and energy densities of this material. Comparing the results, it was possible to identify in the samples saturated with carbonaceous solids a percentage increase in energy density of up to 49.4%.

**KEYWORDS:** Solid Waste of any Wood, Wood Compacts, Compaction Pressure and Carbonaceous Solids.

## 1 | INTRODUÇÃO

Embora o Brasil lidere a produção mundial de biomassa florestal, ele não possui ainda condições para atender em todas as regiões do país, a implementação de novos plantios florestais. Este é um dos desafios a vencer. Segundo o agrônomo e pesquisador da Embrapa Florestas, Antônio Francisco Jurado Bellote, a padronização dos plantios florestais, é um dos gargalos para a geração de energia porque as condições ambientais não são as mesmas em todas as regiões. Exemplo dessa realidade pode ser visto no estado do Mato Grosso. De acordo com informações recentes [1] esse é um dos estados que atualmente apresenta o maior desmatamento no Brasil. Suas florestas estão sendo derrubadas e as condições ambientais desse estado até o momento, um grande empecilho para que elas sejam repostas. Outro desafio interessante citado por Antônio Francisco Jurado Bellote é a necessidade do desenvolvimento de tecnologias de conversão dos plantios florestais, ou biomassa, em energia. Ele relata que “é preciso disponibilizar tecnologias mais eficientes e sustentáveis, ao mesmo tempo em que se deve desenvolver e adaptar outras tecnologias ainda não usadas ou em estado embrionário no Brasil”. De acordo com estudos anteriores [2], o balanço de carbono na planta é algo que está sendo bastante estudado atualmente. O objetivo é obter copas eficientes para a sua fixação e plantas eficientes para a sua utilização na produção de madeira. Para isso, é importante conhecer os mecanismos de crescimento das árvores e como elas respondem às utilizações dos recursos naturais. Do ponto de vista energético, isso gera um significativo aumento da densidade energética dessa biomassa, pois para um mesmo número de árvores derrubadas se tem uma maior

massa de madeira para ser usada. Entretanto como a produção bruta de biomassa é maior, e como a proporção de biomassa útil removível (madeira) é também maior, a remoção total de elementos nutrientes por hectare é também maior e mais impactante. Dentro disso a ciência e a tecnologia precisam encontrar caminhos para balancear adequadamente os ganhos de produtividade com os ganhos ou perdas ambientais. Por um lado, novas formulações de adubações e mesmo de irrigação como uma alternativa surgirão, procurando tornar o ecossistema mais equilibrado, menos vulnerável e mais sustentável. Mas por outro a busca de outras fontes energéticas de biomassas sólidas que atendam o referido equilíbrio descrito na frase anterior. Nesse sentido estudos para o aumento da densidade energética em biomassas sólidas tais como a madeira e seus resíduos têm sido desenvolvidos.

A madeira usada como fonte de energia apresenta em sua estrutura teores de carbono de aproximadamente 50% devido a sua perda durante o período em que esteve em pé como árvore, após o seu abate como madeira ou nas operações de seu beneficiamento, armazenamento e transporte [2]. Esta perda não contribui para o aumento da densidade energética desta biomassa. Uma alternativa para o aumento desta propriedade com tecnologia dominada e em processo de difusão é a desenvolvida para produção de briquetes. No caso da madeira, em função da elevada compactação de seus resíduos, os briquetes obtidos a partir disso apresentam valores de densidade energética de duas a três vezes o valor obtido para madeira e até cinco vezes a do próprio resíduo [3,4]. O aumento das propriedades energéticas da madeira e dos briquetes poderá ser significativamente elevado se estes materiais forem submetidos a técnicas de processamento tais como a carbonização e torrefação. Elas são muito usadas para aumentar o rendimento energético dessas biomassas [5,6,7]. No caso dos briquetes a densidade energética desta biomassa será significativamente aumentada. Embora essas técnicas sejam efetivas, a madeira de partida usada por elas é com uma deficiência aproximada de 50% de carbono. O aumento do teor desse elemento na madeira antes de ser submetida a uma dessas técnicas de processamento poderia aumentar significativamente as propriedades energéticas dessa biomassa, se o teor de carbono nesse material em sua origem fosse aumentado. Nesse sentido elevar a presença deste elemento na madeira através da sua saturação microestrutural com uma solução líquida enriquecida com sólidos carbonáceos, pode ser uma alternativa bastante interessante. A possibilidade de se aumentar o teor carbono na madeira de partida antes de seu uso para fins energéticos via técnicas tais como torrefação, é uma opção interessante para que se eleve a densidade energética deste material.

O objetivo desse trabalho foi desenvolver novos materiais a partir do aumento do teor de carbono em diferentes biomassas de madeira e investigar o seu efeito no comportamento de suas propriedades energéticas. O aumento do teor de carbono na microestrutura desta biomassa se deu via a sua imersão numa solução líquida enriquecida com sólidos carbonáceos. A simplicidade do procedimento para a produção desta solução a ser adotada

sem riscos significativos de segurança e geração de contaminação ambiental são atrativos interessantes que viabilizam a sua aplicação em escala industrial. As biomassas usadas nesse estudo foram resíduos de diferentes madeiras de origem desconhecida na forma de galhos colhidos no campus da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR). Várias amostras cilíndricas com dimensões iguais deste material foram fabricadas via usinagem e compactação. Neste último caso, o pó gerado durante o torneamento das amostras usinadas, foi usado para a produção das compactadas. Os resultados obtidos mostraram que independente se a amostra manufaturada foi usinada ou compactada (briquete), o teor de carbono na forma de sólidos carbonáceos presentes na microestrutura destes materiais, contribuiu em especial para que a densidade energética aumentasse para valores de até 8196 MJ/m<sup>3</sup>. Em termos percentuais no presente estudo isto significa um aumento de até 49,4 %. Além disso, do ponto de vista energético, a possibilidade de se enriquecer a microestrutura de qualquer tipo de madeira com carbono como aquelas informadas na literatura [8], abre um caminho onde não somente ela, mas qualquer outro tipo de biomassa sólida, como aquelas apresentadas na literatura também possam ser enriquecidas. A perspectiva que se tem a partir deste fato é: a) uma significativa agregação de valor aos resíduos sólidos de biomassa; b) uma grande redução do descarte destes materiais como lixo nas regiões onde são gerados e consequentemente contribuição para sustentabilidade destas regiões; c) uma contribuição importante para a redução do desmatamento em várias regiões do país tais como a Centro-Oeste em especial, o estado de Mato Grosso onde a dificuldade é grande para implementação de novos plantios florestais.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

As biomassas utilizadas foram qualquer madeira independente de sua origem e características específicas, colhidas aleatoriamente no solo do Campus da Universidade Federal de Rondonópolis. Amostras destes materiais foram usinadas e a granulometria do pó produzido a partir da usinagem destes materiais medida via o Agitador Eletromagnético para Peneira apresentado na Figura 1. A granulometria maior ou igual a 0,85 mm foi aquela usada para a produção dos compactos.



Figura 1. Agitador Eletromagnético para Peneira.

Fonte: O Autor.

## 2.2 Metodologia

Amostras cilíndricas destes materiais com dimensões, altura = 24,80 mm e diâmetro = 23,65 mm, foram fabricadas através de torneamento e compactação. A fabricação de todos os corpos de prova foi de madeira desconhecida, mas sempre a partir do mesmo lote. Cinco diferentes pressões, ou seja, 100 MPa, 150 MPa, 200 MPa, 250 MPa e 300 MPa foram usadas para a compactação dos pós via o sistema de compactação apresentado na Figura 2. Oitenta amostras foram usinadas e a mesma quantidade foi compactada em cada pressão, perfazendo um total de quatrocentos e oitenta amostras manufaturadas. A seguir de cada 80 amostras produzidas, 40 permaneceram como fabricadas e 40 foram imersas numa solução líquida enriquecida com carbono na forma de sólidos carbonáceos até a sua saturação. Para realizar a saturação da amostra com a solução de sólidos carbonáceos, foi necessário retirar primeiramente toda a umidade inicial contida no interior dos briquetes (compactos) e das amostras usinadas. Para isso, elas foram colocadas na estufa a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . A cada período de tempo as amostras eram pesadas, até que de acordo com a norma técnica ABNT NBR 1492/2009 [9], a diferença entre a medida atual e a anterior não fosse superior 0,5%. Esse mesmo procedimento foi utilizado na análise de secagem das amostras após elas serem saturadas com a solução líquida (65% de sólidos carbonáceos) produzida nos Laboratórios do Curso de Engenharia Mecânica da UFR.

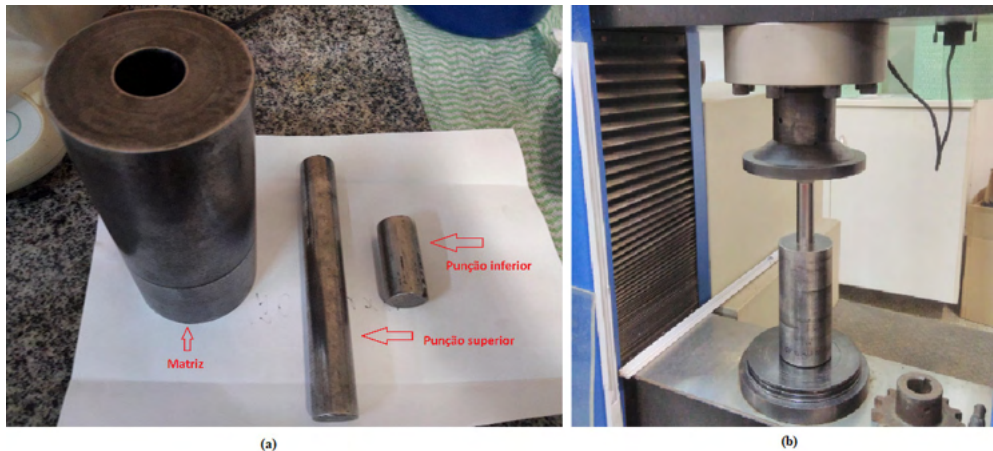


Figura 2. Sistema de compactação usado para a produção de briquetes: a) Matriz onde os pós de madeira foram inseridos em sua cavidade cilíndrica e punções inferior e superior usados para compactá-lo sob diferentes pressões; b) Máquina de Tração/Compressão usada para produzir os briquetes cilíndricos a partir da compactação dos pós que foram inseridos na cavidade da matriz.

Fonte: O Autor.

A Figura 3 mostra a típica aparência dos compactos produzidos. Diferentemente dos briquetes claros, aqueles com coloração escura são os saturados com sólidos carbonáceos. A seguir todos os corpos de prova fabricados foram caracterizados por análise imediata, poder calorífico, densidade aparente e densidade energética. A análise imediata foi feita com base na ABNT NBR 8112/1986 [10], o poder calorífico estimado segundo a equação de Parikh et al., [11] e a densidade aparente medida de acordo com a norma ABNT NBR 6922/1981 [12] em um recipiente com volume equivalente a uma caixa com dimensões internas de (22,90 x 22,90 x 22,90) mm.





Figura 3. Típicos briquetes produzidos em diferentes pressões de compactação com ou sem a adição de sólidos carbonáceos.

Fonte: O Autor.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentados os resultados para os briquetes e a amostra usinada que não foram saturados com sólidos carbonáceos. Como pode ser visto a massa de pó compactado dos briquetes aumentou à medida que também aumentou a pressão. A massa de qualquer um dos briquetes sempre foi maior do que a medida para amostra usinada. Isto indica que enquanto os poros da última continuam vazios, aqueles presentes nos briquetes estão sendo gradativamente reduzidos e preenchidos com pó. Logo é de se esperar que todos os briquetes apresentem valores de densidade energética superior aquele obtido para amostra usinada.

Outro aspecto interessante a ser observado nos briquetes, é o efeito da pressão na redução do tamanho do pó e dos poros. Para se adequar ao referido efeito a granulometria do pó de partida ( $\leq 0,85$  mm) tem que ser sempre menor ou igual ao tamanho do poro onde ele está sendo inserido. Isto indica que os pós de partida durante a sua compactação estão sendo reduzidos. O principal responsável pelo aumento dos valores de densidade compactada foi a pressão através de sua ação simultânea na redução do tamanho dos pós e poros onde eles foram inseridos [13,14,15].

AMOSTRAS	DIMENSÕES [mm]		MASSA [g]	DENSIDADE [g/cm <sup>3</sup> ]
	DIÂMETRO	ALTURA		
<b>AUSSC</b>	<b>24,79 ± 0,07</b>	<b>23,64 ± 0,06</b>	<b>6,2502± 1,4105</b>	<b>0,5478</b>
AB100SC	25,03 ± 0,05	20,30 ± 0,03	10,0238 ± 0,0010	1,0037
AB150SC	25,00 ± 0,04	23,00 ± 0,10	11,3011 ± 0,0030	1,0009
AB200SC	24,90 ± 0,04	23,50 ± 0,08	11,4647 ± 0,0003	1,0019
AB250SC	24,90 ± 0,04	23,00 ± 0,08	11,7835 ± 0,0004	1,0521
AB300SC	24,90 ± 0,03	23,03 ± 0,06	12,0554 ± 0,0012	1,0750
<b>Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXSC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) SC -sem adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSSC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) SC - sem adição de carbonáceos.</b>				

Tabela 1- Resultados dos briquetes e da amostra usinada que não foram saturados com sólidos carbonáceos.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados para os briquetes e a amostra usinada que foram saturados com sólidos carbonáceos. Como pode ser visto no presente estudo o aumento da densidade das amostras estando ou não saturadas com carbonáceos, está associado ao preenchimento de seus poros com o pó do resíduo de madeira e/ou sólidos carbonáceos respectivamente. Os poros não preenchidos com o pó de madeira presente nos briquetes compactados em cada pressão, foram preenchidos com sólidos carbonáceos até onde o seu tamanho fosse menor do que o poro. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, nota-se que em todas as amostras o aumento da massa de carbonáceos depositada nos poros gerou o aumento da densidade destes materiais. Diferentemente dos briquetes que não foram saturados com carbonáceos e dependiam somente da pressão para o aumento de sua densidade, aqui ela além disso, depende também da soma das densidades do pó de madeira e carbonáceos versus os seus percentuais respectivos distribuídos na microestrutura dos briquetes. Comparando entre si os valores de densidade da amostra usinada com aqueles obtidos para os briquetes, nota-se que o aumento desta propriedade nestes materiais pode chegar até duas vezes ao obtido para a usinada. O compacto produzido sob 300 MPa é um exemplo disto. Para um volume praticamente fixo houve um acréscimo de massa ao mesmo. A pressão usada para a compactação dos briquetes e a quantidade de sólidos carbonáceos distribuídos na microestrutura destes materiais foram os principais responsáveis pelo aumento de suas densidades.

AMOSTRAS	DIMENSÕES [mm]		MASSA [g]	DENSIDADE [g/cm <sup>3</sup> ]
	DIÂMETRO	ALTURA		
AUSSC	24,79 ± 0,07	23,64 ± 0,06	6,7206 ± 1,6105	0,5890
AB100SC	25,05 ± 0,03	21,65 ± 0,08	11,5054 ± 0,0015	1,1010
AB150SC	24,95 ± 0,03	24,60 ± 0,05	13,2512 ± 0,0025	1,1018
AB200SC	24,90 ± 0,04	24,70 ± 0,08	13,5004 ± 0,0060	1,1224
AB250SC	24,90 ± 0,05	24,65 ± 0,05	13,5087 ± 0,0050	1,1254
AB300SC	24,95 ± 0,04	24,70 ± 0,05	14,7009 ± 0,0070	1,2173

**Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXSC foram identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) SC -sem adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSSC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) SC - sem adição de carbonáceos.**

Tabela 2- Resultados dos briquetes e da amostra usinada que foram saturados com sólidos carbonáceos.

Nas Tabelas 3 e 4 é possível verificar os valores de densidade a granel dos briquetes sem e com adição de carbonáceos. Observa-se que os valores desta propriedade em todas as amostras saturadas com carbonáceos foram superiores ao apresentado para aquelas não saturadas com este material. Além disso, todos os briquetes apresentaram densidade a granel superior a medida na amostra usinada. A aplicação de pressão reduziu o tamanho inicial de partícula dos pós e conseqüentemente aumentou a densidade a granel dos briquetes. Para um mesmo volume quanto menor o tamanho do pó, maior a sua quantidade disponível para depósito no referido volume. Ao considerar este fato sob o efeito da presença de sólidos carbonáceos dissolvido nos briquetes, nota-se que este material contribuiu para que a densidade a granel ficasse maior do que aquela medida somente sob o efeito da pressão. O tamanho do pó compactado foi reduzido. Todos os briquetes foram saturados e dentre os compactados, os manufaturados em pressões menores são aqueles onde se teve a maior quantidade de poros ainda não preenchidos com pó, mas, com carbonáceos. Isto foi mais expressivo nos briquetes compactados sob 100 MPa e 150 MPa.

Amostra	Densidade a Granel [kg/m <sup>3</sup> ]
AUSSC	189,0861
AB100SC	316,6258
AB150SC	347,1562
AB200SC	374,1636
AB250SC	344,8075
AB300SC	289,4323

**Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXSC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) SC - sem adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSSC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) SC - sem adição de carbonáceos.**

Tabela 3. Valores de densidade a granel para a amostra usinada e os briquetes compactados a partir do pó seco que não foram saturados com sólidos carbonáceos.

Amostra	Densidade a Granel [kg/m <sup>3</sup> ]
AUSCC	209,1523
AB100CC	442,1912
AB150CC	446,2682
AB200CC	464,4949
AB250CC	416,8608
AB300CC	414,5699

**Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXCC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) CC - com adição de carbonáceos; 2-Amostras nomeadas por AUSCC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) CC - com adição de carbonáceos.**

Tabela 4. Valores de densidade a granel para a amostra usinada e os briquetes compactados a partir do pó seco que foram saturados com sólidos carbonáceos.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os valores das propriedades energéticas obtidas para as amostras tanto usinadas como compactadas, sem e com adição de sólidos carbonáceos. Comparando os resultados de massa da amostra usinada com aqueles apresentados para os briquetes, nota-se que o aumento de massa influenciou significativamente no aumento da densidade energética destes materiais. Independente se o percentual de massa dos particulados de pó de madeira e/ou carbonáceos adicionados à microestrutura dos briquetes fosse ou não diferente, a soma total deles foi a principal responsável pelo aumento da densidade energética nestes materiais. No presente estudo os maiores valores desta propriedade obtidos foram de 8083,87 MJ/m<sup>3</sup> e 8195,51 MJ/m<sup>3</sup> para os briquetes compactados em 100 MPa e 150 MPa respectivamente. Esta faixa de pressão está dentro daquela usada em briquetadeiras industriais e isto do ponto de vista comercial, torna-se bastante interessante.

Amostra	Poder Calorífico [Kcal/Kg]		Densidade Energética [MJ/m <sup>3</sup> ]	
	PCI	PCS	PCI	PCS
AUSCC	3936,0932	3939,3278	3113,9853	3116,5444
AB100SC	4083,0546	4086,2892	5409,0768	5413,3618
AB150SC	4011,9620	4015,1966	5827,3806	5832,0789
AB200SC	4206,8976	4210,1322	6585,8999	6590,9636
AB250SC	4196,9050	4200,1396	6054,7684	6059,4349
AB300SC	3768,8058	3772,0404	4563,9660	4567,8831

**Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXSC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) SC - sem adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSCC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) SC - sem adição de carbonáceos.**

Tabela 5. Valores do poder calorífico e densidade energética para a amostra usinada e os briquetes compactados a partir do pó seco que não foram saturados com sólidos carbonáceos.

Amostra	Poder Calorífico [Kcal/Kg]		Densidade Energética [MJ/m <sup>3</sup> ]	
	PCI	PCS	PCI	PCS
AUSCC	3958,4883	3961,7229	3464,0465	3466,8771
AB100CC	4366,1255	4369,3601	8077,8907	8083,8751
AB150CC	4385,9969	4389,2315	8189,4722	8195,5118
AB200CC	4033,7036	4036,9382	7839,2871	7845,5734
AB250CC	4143,1820	4146,4166	7226,3122	7231,9538
AB300CC	3856,7370	3859,9716	6689,7432	6695,3538
<b>Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXCC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) CC - com adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSCC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) CC - com adição de carbonáceos.</b>				

Tabela 6. Valores do poder calorífico e densidade energética para a amostra usinada e os briquetes compactados a partir do pó seco que foram saturados com sólidos carbonáceos.

## 4 I CONCLUSÕES

A quantidade e o tamanho dos poros distribuídos na microestrutura dos briquetes depende da pressão e provavelmente são maiores e menores, respectivamente, do que aqueles apresentados nas amostras usinadas. A presença de sólidos carbonáceos na estrutura de todas as amostras aumentou a densidade energética destes materiais. No caso das usinadas de 3116,5444 MJ/m<sup>3</sup> para 3466,877 e dos briquetes de 5413,3618 MJ/m<sup>3</sup> para 8083,8751 MJ/m<sup>3</sup>. Isto representa um aumento percentual de 11.5% e 49.5% respectivamente. Enquanto na amostra usinada o aumento das propriedades energéticas se deve somente a adição de sólidos carbonáceos a sua estrutura, nos briquetes as propriedades supracitadas dependeram principalmente do somatório de massa dos particulados, ou seja, da soma dos sólidos carbonáceos com os pós de madeira. No presente trabalho, a saturação dos resíduos de madeiras de diferentes espécies desconhecidas, misturadas ou não entre si, via carbono na forma de sólidos carbonáceos, foi efetiva. Além disso, do ponto de vista energético, a possibilidade de se enriquecer a microestrutura de qualquer tipo de madeira com carbono, abre um caminho onde não somente ela, mas qualquer outro tipo de biomassa sólida também possa ser enriquecida. A perspectiva que se tem a partir deste fato é uma: a) significativa agregação de valor aos resíduos sólidos de biomassa; b) grande redução do descarte destes materiais como lixo nas regiões onde são gerados e conseqüentemente uma contribuição para sustentabilidade destas regiões; c) contribuição importante para a redução do desmatamento em várias regiões do país tais como a Centro-Oeste em especial, o estado de Mato Grosso onde a dificuldade é grande para implementação de novos plantios florestais.

## REFERÊNCIAS

[1] In: <http://www.oeco.com.br/reportagens/37-reportagens/18930-oecod228749>.

[2] FOEKEL, C.; In: [www.eucalyptus.com.br](http://www.eucalyptus.com.br)

[3] QUIRINO, W.F.; BRITO, J.O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. Brasília: LPF/IBAMA, 1991. 18p. (Série Técnica, 13).

[4] PROTASIO, T.P.; ALVES, I.C.N; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; BALIZA, A.E.R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. Pesquisa Florestal Brasileira v.31, n.68, p. 273-283, 2011.

[5] ROUSSET, P.; A TORREFAÇÃO DA MADEIRA. In: [www.bepinet.net/pdfs/Atividades/Cursos%20Brasil/Torrefacao.pdf](http://www.bepinet.net/pdfs/Atividades/Cursos%20Brasil/Torrefacao.pdf).

[6] FELFLI, F. F.; LUENGO, C. A.; SOLER, P. B.; Torrefação de Biomassa: Características, Aplicações e Perspectivas. In: Encontro de Energia do Meio Rural, 3, Campinas, 2000.

[7] FELFLI, F. F.; LUENGO, C. A.; SUAREZ, J. A.; SOLER, P. B.; Wood Briquette Torrefaction. Energy Sustainable Development, v. IX, p. 19-22, 2005.

[8] RENDEIRO, G., Nogueira, M. M., Brasil, A. M., Cruz, D. A., Guerra, D. S., Macêdo, E. N., & Ichihara, J. A. Combustão e Gaseificação de Biomassa Sólida (1 ed., Vol. Único). (E. F. Barreto, Ed.) Brasília: Ideorama, 2008.

[9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR. 14929:2009.

[10] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8112/1986: Carvão vegetal- Análise imediata- Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

[11] Parikh, J.; Channiwala, S. A.; Ghosal, G. K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. Fuel, v. 84, n. 5, p. 487-494, 2005.

[12] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6922/1981: Carvão vegetal- ensaios físicos- determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro, 1981.

[13] STEPHEN, J. M.; KWASI, F. M.; and DARKWA, N. A. Effect of species, particle size and compacting pressure on relaxed density and compressive strength of fuel briquettes. International Journal of Energy and Environmental Engineering, 1-6, 2013.

[14] KRIŽAN, P.; SVÁTEK, M.; MILOŠ, M.; JURAJ, B.; LISÝ, M. Determination of Compacting Pressure and Pressing Temperature Impact on Biomass Briquettes Density and Their Mutual Interactions. 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2014.

[15] STYKS, J.; WRÓBEL, M.; FRACZEK J.; and KNAPCZYK, A. Effect of Compaction Pressure and Moisture Content on Quality Parameters of Perennial Biomass Pellets. Energies, 13, 1859, 2020. <http://www.journal-ijeee.com/content//>

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Água 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 37, 41, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 57, 58, 59

Ambiental 16, 25, 26, 28

### B

Baixo custo 25, 30

Biomassa 13, 14, 15, 16, 23, 24, 27

Bond tool 1, 2, 3, 4, 6, 9

Briquete 16, 20, 21, 22, 23

### C

Cálcio 41, 42, 43, 49, 50

Carbono 14, 15, 16, 17, 23

Cause-effect diagram 2

Compactos de madeira 13

### D

Densidade energética 13, 14, 15, 16, 18, 19, 22, 23

Design of experiments 1, 6, 7, 10

Doença 41

### E

Energia 14, 15, 24, 25, 26, 27, 28, 35, 38, 39, 49

Energia renovável 25, 27

Engenharia 13, 17, 25, 26, 38, 59, 60

Engenharia Mecânica 13, 17, 25

Ensino superior 25, 26

### F

Fármaco 41

Ferro 41, 42, 46

### G

Geração de energia 14, 25, 26, 27, 28, 38

## **M**

Machines 1, 2, 3, 4, 5, 10, 38

Madeira 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 28

Magnésio 41, 44, 46, 50

Medicamentos 40, 41, 42, 46

Minerais 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 49

## **P**

Potássio 41, 44, 45, 46

Power 3, 5, 6, 7, 9, 10, 25, 38

Pressão de compactação 13

Propriedades energéticas 13, 15, 22, 23

Protótipo 25, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 36, 37, 38

Pull test 1, 3, 4, 8, 9

## **R**

Resíduo 13, 15, 20

Resíduos sólidos de qualquer madeira 13

Rosca de arquimedes 25

## **S**

Six sigma 1, 10, 11, 12

Sólidos carbonáceos 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23

Strength 5, 24, 47

## **T**

Temperature 1, 6, 7, 8, 9, 10, 24

Tools 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10

Tratamento 41, 42, 43, 45, 46

## **U**

Ultrasound solder 1

## **Z**

Zinco 29, 41, 43, 46



# ENGENHARIAS:

BENEFÍCIOS PARA A INDÚSTRIA

E PARA A SOCIEDADE

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 @atenaeditora

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



# ENGENHARIAS:

## BENEFÍCIOS PARA A INDÚSTRIA

## E PARA A SOCIEDADE

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
📷 @atenaeditora  
📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)