

ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS EM UM MOLDE DE PRODUÇÃO DE BRIQUETES

João Vitor da Silveira Nunes – jvitornune@gmail.com
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Humberto Monte, s/n, Pici
60440-593 – Fortaleza – Ceará

Rosali Barbosa Marques – rosalimarquess@gmail.com
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
R. Prof. Rômulo Proença, s/n, Pici
60440-552 – Fortaleza – Ceará

Erick Felipe da Silva – erickfelip@live.com
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
R. Prof. Rômulo Proença, s/n, Pici
60440-552 – Fortaleza – Ceará

Maria Alexandra de Sousa Rios – alexandrarios@ufc.br
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica, Bloco 714
Av. Humberto Monte, s/n, Pici
60020-181 – Fortaleza – Ceará

Resumo: Uma das grandes importâncias da briquetagem é que ela pode aproveitar resíduos agrícolas ou de indústrias madeireira que seriam descartados. Para isso é essencial a pesquisa sobre quais resíduos possuem potencial para briquetagem, mas um dos grandes empecilhos está na questão do aparelhos de briquetagem, pois há poucas opções baratas e voltadas para o uso em bancada de laboratório. Desse modo este trabalho buscou desenvolver um protótipo de molde para briquetagem em escala de bancada com baixo custo, para assim viabilizasse a pesquisa de outros materiais para briquetagem. O protótipo desenvolvido era utilizado junto a uma prensa hidráulica aplicando até 10 ton e é possível de fabricar em torno mecânico. Seu menor coeficiente de segurança é de 1,7811, seu peso estimado é de 5,775 Kg e com um custo estimado de R\$2.233,20 para o molde de inox AISI 304, e de R\$1.976,50 para o molde em aço carbono SAE 1020 e 1045. (valores de janeiro de 2019, sem considerar os impostos sobre produtos e serviços).

Palavras-chave: Briquetes. Molde Briquetador. Método de Elementos Finitos. Briquetagem.

Abstract: One of the great values about briquetting is that it can utilize residues from agriculture and logging industries that would be discarded. For this, it is essential to investigate which residues have potential for briquetting, but one of the main obstacles is the question of briquetting machines, since there few low cost options for use in laboratory. In this way, this work sought to develop a prototype of mold for briquetting on a bench scale with low cost, in order to make feasible the research of other materials for briquetting. The developed prototype was used connected to a hydraulic press applying until 10 ton and it is possible to manufacture on a metal lathe. Its lower safety coefficient is 1.7811, its estimated weight is 5.775 kg and with an estimated cost of R \$ 2,233.20 for the AISI 304 stainless steel

mold and R \$ 1,976.50 for the SAE 1020 and 1045 carbon steel mold (January 2019 values, excluding taxes on products and services).

Key-words: Briquette. Briquetting Die, Finite Elements Method. Briquetting.

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa indicou poucas briquetadeiras disponíveis no Brasil, e grande parte dos aparelhos são fabricados sob encomenda ou importados. Além disso, apenas um modelo é voltado para laboratório, os outros são modelos para produção comercial, que utiliza grandes quantidades e são voltados para produção em larga escala, diferente da realidade de laboratório onde se produzem poucas amostras e de pequenas quantidades. Logo torna-se crucial a elaboração e divulgação de projetos de briquetadeiras para laboratório, de modo a facilitar nos laboratórios brasileiros a pesquisa de resíduos orgânicos viáveis e com potencial para a briquetagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para analisar a carga suportada por um material estaticamente compara-se a maior tensão gerada no material com a tensão admissível. A tensão de escoamento (S_y) de um material costuma ser utilizada como tensão admissível para assegurar que a carga que ele venha a receber não o deforme de modo permanente (CALLISTER, 2002).

Normalmente esse valor de limite de escoamento é obtido por testes de tração. Então para comparar com esse valor se utiliza a tensão de von mises (σ') que leva em conta as várias tensões normais e cisalhantes em diversos eixos e as representa como um único valor de tensão de tração uniaxial (NORTON, 2013).

O coeficiente de segurança representa a probabilidade de falha de uma estrutura, e para o caso estático pode ser representado como:

$$N = S_y / \sigma' \quad (1)$$

Em geometrias mais simples, e com poucos esforços, as tensões na peça podem ser calculadas utilizando fórmulas de resistência de materiais. Mas para geometrias mais complexas, os cálculos seriam impraticáveis ou muito demorados, mas podendo ser resolvidos em minutos por meio do uso ferramentas computacionais. Assim a análise de elementos finitos por meios computacionais permite calcular tensões de modo muito mais preciso e prático do que seria possível com os métodos de análise convencional (NORTON, 2013). Numa análise por elementos finitos o comportamento de um corpo real, contínuo e de infinitos elementos, é representado por meio de um modelo discreto e com uma quantidade limitada de elementos (TAVARES, 1998).

Nos softwares ainda há a opção de simulação linear, onde os pontos se deformam conforme a lei de Hooke, e simulação não linear, onde a constante de rigidez pode variar com a deformação do material (SALDANHA, 2017), e a opção de alterar o tipo de elemento da malha entre tetraédrico e hexaédrico.

Durante uma simulação de elementos finitos, a peça é dividida em vários pontos. Uma malha com maior quantidade de pontos tem um resultado mais grosseiro, e uma malha com maior nível de refinamento tem um resultado mais precisas demora mais tempo para ser processada. O ideal é escolher uma qualidade de malha que equilibre precisão e tempo de processamento. Ao se realizar um estudo de convergência de malha, esta vai sendo refinada

até os resultados começarem a convergir em torno de um valor. A partir desse ponto não é mais necessário aumentar a quantidade de pontos, pois o resultado não terá melhora significativa (SUPPORT_AUTODESK, 2015).

Nos estudos deste trabalho as peças foram modeladas no software SolidWorks 2014 e os resultados para a tensão de von mises foram obtidos pelo software ANSYS versão 17.0.

3 OBJETIVO

Logo o objetivo do trabalho é produzir uma briquetadeira de escala de bancada de menor custo, com tamanho reduzido, simples de utilizar e com baixo custo de fabricação, de modo a facilitar a pesquisa de materiais com potencial para briquetagem.

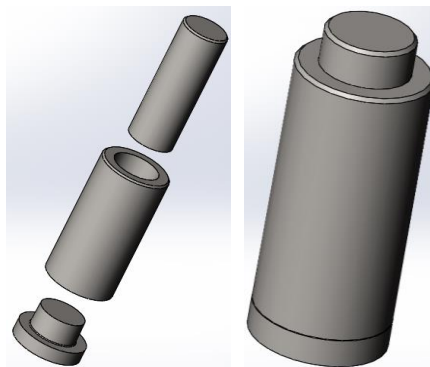
4 MATERIAIS E MÉTODOS

O molde de formato cilindro/pistão foi baseado no modelo utilizado no Laboratório de Filmes Finos e Energias Renováveis (LAFFER), no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará para extração de óleo de sementes de maracujá.

A geometria era simples, de fácil manuseio, poderia ser fabricada com um torno mecânico, e produziria pequenas amostras de briquetes, ideal para os propósitos de pesquisa. Para a utilização o molde seria acoplado a uma prensa hidráulica de 15 toneladas modelo MPH 15 da marca Marcon Indústria Metalúrgica Ltda.

Foram feitas leves alterações no design, na questão de altura das peças para se adequar especificamente a altura da prensa, mas mantendo o diâmetro original de Ø50cm. O material foi trocado para aço inox 304, com limite de escoamento de 241 MPa (NORTON, 2013), e foram feitas simulações em computador para carga de 10 ton (100.000N) para assegurar a resistência do molde. As Figuras 1 e 2 mostram as peças do molde e a sequência de montagem:

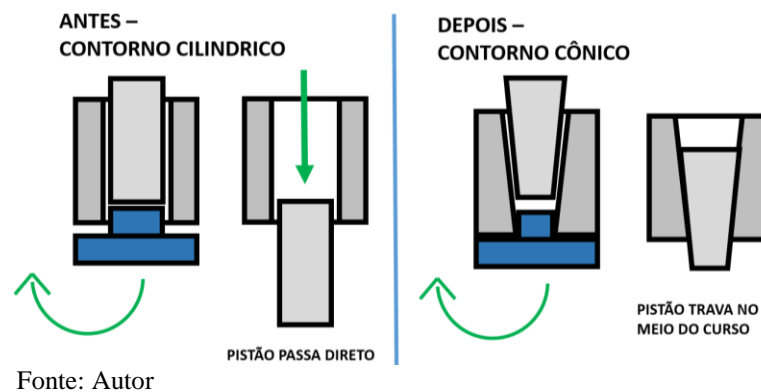
Figura 1 e 2 – Peças do molde e a sequência de encaixe do molde cilíndrico



Fonte: Autor

Durante a fabricação, foi sugerido deixar o pistão e tubo com um encaixe levemente cônico. Assim ao se remover a base para retirar o briquete, não haveria perigo do pistão cair passando direto e causar alguma contusão nos membros inferiores. A Figura 3 abaixo explica a modificação:

Figura 3 –Explica a modificação do encaixe do tubo e pistão de cilíndrico para cônico.



Os molde foram fabricados no torno mecânico da oficina do Departamento de Engenharia Mecânica da UFC. A Figura 4 abaixo mostra o as peças de inox após a fabricação:

Figura 4 – Molde cilíndrico fabricado em inox



Fonte: Autor

Uma das precauções que deveriam ser tomadas é que tanto o pistão como tubo deveriam ser sempre usados com o lado correto para cima, com o perigo de travar as peças, já que o encaixe delas é cônico. Foi feito um chanfro para marcar o lado de cima do tubo e pistão. A Figura 5 a seguir mostra o esquema do passo a passo seguido para utilização do molde:

Figura 5 – Etapas para a utilização do molde cilíndrico

• Passo a passo da briquetagem:



1- preparação do material



2- fechar a parte de baixo



3- preencher com 5 a 30g de material (depende do teste)



4- colocar o pistão e pressionar



5- posicionar o material na prensa



6- bombear a prensa até a pressão desejada



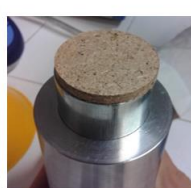
7- deixar descansando 5min com a pressão aplicada



8- remover a base, afastar os apoios, e continuar pressionando para expelir o briquete



9- caso não tenha muito atrito com o tubo, é possível remover apenas pressionando o pistão



10- esperar alguns minutos antes de massusear o briquete

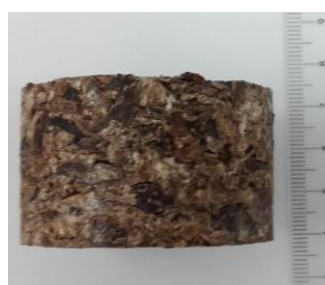
Fonte: Autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existem aços mais resistentes e baratos que o aço inox 304 que poderiam ser utilizados na fabricação do molde, como o ASTM 1020 e 1045, mas eles gerariam uma camada de óxido com o tempo. Embora isso não alterasse testes como o PCS, pois o óxido de ferro só reage a temperaturas altíssimas, outros testes como análise imediata ou espectrometria de massa poderiam ser contaminados.

Os testes com várias biomassa mostrou que o molde é eficiente na briquetagem, e simples de utilizar. O processo dura em torno de 10 a 15 min, gera cerca de 50 MPa, e os briquetes produzidos são consistentes e simples de serem removidos. As Figuras 6 e 7 a seguir mostram um briquete produzido:

Figuras 6 e 7 – Briquetes de casca de castanha de caju



Fonte: Autor

A seguir são feitos os estudos de elementos finitos para estimar o coeficiente de segurança nas peças.

5.1 Estudo de convergência de malha para a Base do molde cilíndrico

Foi aplicada uma carga de 100.000N (10 ton) na face superior da base, e a face inferior foi fixada. Em seguida foram realizadas simulações estáticas com diferentes malhas. A que teve melhor resultado foram as simulações lineares feitas com malha hexaédrica.

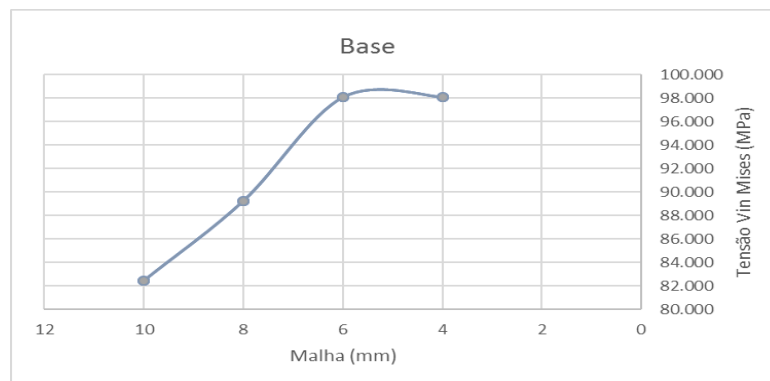
Em seguida foi feito o estudo de convergência de modo a encontrar um valor de malha onde os resultados se aproximem de um determinado valor. Os resultados são mostrados na Tabela 1 e Figura 8 abaixo:

Tabela 1 - Resultados da tensão de von mises para a peça Base do molde cilíndrico

Base	
Malha mm	Tensão Von Mises (MPa)
10	82.486
8	89.271
6	98.083
4	98.107

Fonte: Autor

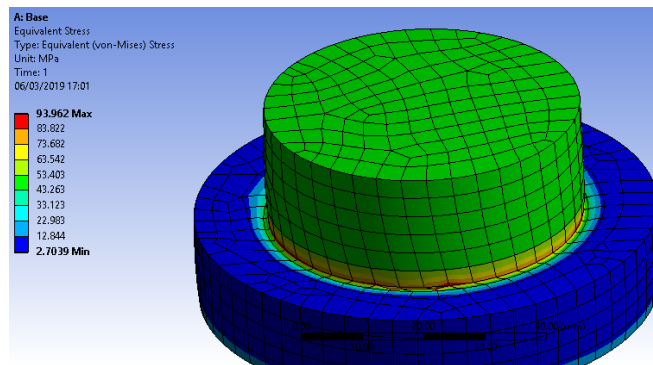
Figura 8 – Tensão de von mises x malha para a peça Base do molde cilíndrico



Fonte: Autor

Em seguida é calculado o fator de segurança estático, considerando a razão entre o critério de resistência (limite de escoamento) e a tensão crítica (tensão de von mises). (NORTON, 2013) Considerando a tensão de von mises de 98.107 MPa obtida na malha de 4 mm, tem-se uma margem de segurança de 2.4565, como mostrado na Figura 9:

Figura 9 –Análise estática na peça Base do molde cilíndrico p/ malha de 4mm



Fonte: Autor

5.2 Estudo de convergência de malha para o Pistão do molde cilíndrico

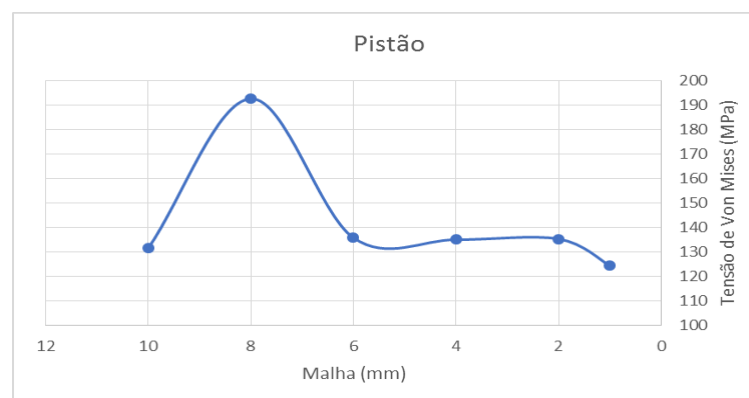
Foi aplicada uma carga de 100.000N (10 ton) na face superior do pistão e a face inferior fixada. Para a simulação linear estática e malha tetraédrica, tem-se os resultados mostrados na Tabela 2 e Figura 10 abaixo:

Tabela 2 - Resultados da tensão de von mises para a peça Pistão do molde cilíndrico

Pistão	
Malha mm	Tensão Von Misses (MPa)
10	131.44
8	192.56
6	135.78
4	135.01
2	135.31
1	124.29

Fonte: Autor

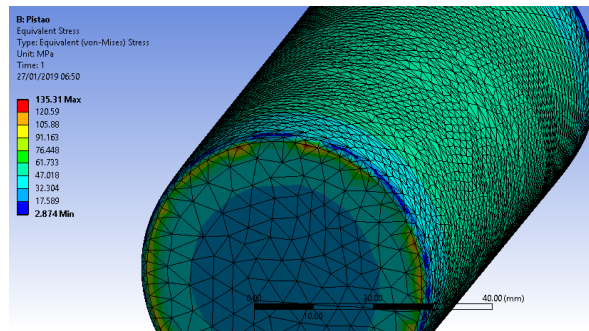
Figura 10 – Tensão de von mises x malha para a peça Pistão do molde cilíndrico



Fonte: Autor

Considerando a tensão de von misses de 135,31MPa na malha de 2mm, o fator de segurança é de 1,7811. A Figura 11 mostra a análise estática na peça:

Figura 11 – Tensão de von mises x malha para a peça Pistão do molde cilíndrico



Fonte: Autor

5.3 Estudo de convergência de malha para o Tubo do molde cilíndrico

Quando o pistão pressionasse o briquete, essa carga seria transferida para o topo da base e para uma área lateral na parede interna do tubo. Assim o tubo sofreria tensões radiais na sua parede interna, como que fossem alargar o tubo. Consideraremos que os briquetes produzidos tem uma espessura mínima de 5 mm, logo essa será altura da área lateral afetada.

Para diminuir a carga que aplicada no tubo, considera-se que a força se distribui igualmente nessas áreas. Assim obtem-se uma área circular com um diâmetro de 50mm (face superior da Base) e uma área lateral cilíndrica de altura de 5mm e diâmetro de 50mm(na face cilíndrica interna do Tubo). Assim área lateral intera do tubo receberá cerca de 30% da força aplicada.

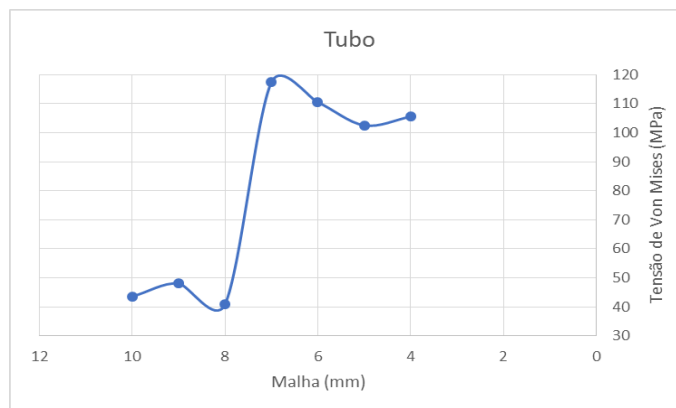
Desse modo foi aplicada uma carga de 30.000N (3ton de força) numa secção interna cilíndrica de 5mm de altura, e distante 25mm do fundo do tubo, como mostra a figura abaixo. Também foi fixada a face inferior do tubo. Os melhores resultados na simulação estática linear foram na malha tetraédrica. A Tabela 3 e a Figura 12 mostram os resultados:

Tabela 3 - Resultados da tensão de von mises para a peça Pistão do molde cilíndrico

Tubo	
Malha mm	Tensão Von Misses (MPa)
10	43.545
9	48.057
8	40.908
7	117.39
6	110.54
5	102.56
4	105.54

Fonte: Autor

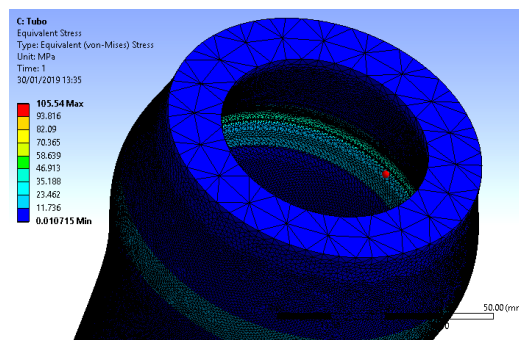
Figura 12 – Tensão de von mises x malha para a peça Tubo do molde cilíndrico



Fonte: Autor

Considerando a a tensão de 105.54 MPa na malha de 4mm, o fator de segurança foi de 2,2835. A análise estática pode ser vista na Figura 13 abaixo:

Figura 13 – Tensão de von mises x malha para a peça Tubo do molde cilíndrico



Fonte: Autor

5.4 Estimativa de custo para o molde

Foi realizado uma estimativa para investimento necessário para o molde e a prensa hidráulica, considerando aquisição de equipamento, matéria prima, insumos e serviço de tornearia. Não foi incluído a questão de impostos sobre serviços e produtos, que pode variar dependendo da pessoa ou organização que faça a compra, além do estado. Foi elaborado uma tabela para o molde feito em aço inox, e outra para um molde feito em aço 1020 e 1045. Os resultados podem ser conferidos nas Tabelas 4 e 5 a seguir:

Figuras 4 e 5 – Estimativa de custo para o molde cilíndrico em aço inox e e aço 1020 e 1045

Molde Inox				
QTD	Fornecedor	Preço Unit	Preço Total	
Material				
1	PRENSA MARCON 15TON	R CHAGAS	R\$ 1,190.00	R\$ 1,190.00
1	BARRA REDONDA AÇO INOX 304 Ø3"x180mm (Tubo e Base)	AÇO BOMPREGO	R\$ 286.60	R\$ 286.60
1	BARRA REDONDA AÇO INOX 304 Ø2"x110mm (Pistão)	AÇO BOMPREGO	R\$ 70.00	R\$ 70.00
				R\$ -
Insumos				
				R\$ -
0.05	BROCA Ø25,4mm	R CHAGAS	R\$ 432.00	R\$ 21.60
0.05	SERRA FITA 1"	BRINEL	R\$ 220.00	R\$ 11.00
7	PASTILHA SPMT 120408	GEOMÉTRICA	R\$ 42.00	R\$ 294.00
Dias de Trabalho - Torneiro Mecânico (R\$15,00/h)				R\$ 360.00
	1h corte			
	3 dias de usinagem			
	TOTAL			R\$ 2,233.20
Molde Aço 1020 e 1045				
QTD	Fornecedor	Preço Unit	Preço Total	
Material				
1	PRENSA MARCON 15TON	R CHAGAS	R\$ 1,190.00	R\$ 1,190.00
1	BARRA REDONDA AÇO 1045 Ø3"x180mm (Tubo e Base)	STEEL COMPANY	R\$ 84.40	R\$ 84.40
1	BARRA REDONDA AÇO 1020 Ø2"x110mm (Pistão)	PETRAL	R\$ 15.50	R\$ 15.50
				R\$ -
Insumos				
				R\$ -
0.05	BROCA Ø25,4mm	R CHAGAS	R\$ 432.00	R\$ 21.60
0.05	SERRA FITA 1"	BRINEL	R\$ 220.00	R\$ 11.00
7	PASTILHA SPMT 120408	GEOMÉTRICA	R\$ 42.00	R\$ 294.00
Dias de Trabalho - Torneiro Mecânico (R\$15,00/h)				R\$ 360.00
	1h corte			
	3 dias de usinagem			
	TOTAL			R\$ 1,976.50

Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

O molde cilíndrico teve resultado satisfatório como molde briquetador de escala de bancada. Seu menor coeficiente de segurança é de 1,7811 e seu peso estimado era de 5,775 Kg. Seu custo estimado é de R\$2.233,20 para o molde de inox, e de R\$1.976,50 para o molde em aço carbono 1020 e 1045. (valores de janeiro de 2019, sem considerar os impostos sobre produtos e serviços).

Agradecimentos

Aos técnicos e bolsistas do Laboratório de Referência em Biocombustíveis, ao Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará, e ao Grupo de Inovações Tecnológicas e Especialidades Químicas. Aos Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire e ao Me. Paulo Hebert França Maia Júnior pelo modelo do molde. Aos professores Dr. Rômulo do Nascimento Rodrigues e Dr. Francisco Ilson da Silva Júnior e aos alunos Arrais Neto e Gabriel Laureano pelo auxílio com as simulações de elementos finitos e com o software ANSYS. Ao técnico do Laboratório da

Engenharia Mecânica, Sr. Bonfim Rodrigues Campos, pela sua consultoria na fabricação dos moldes e pelo seu trabalho de tornearia. Os autores também agradecem o apoio financeiro do CNPq (Processos 406697/2013-2, 459355/2014-7 e 308280/2017-2), CAPES, FINEP e Funcap.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5 ed, Rio de Janeiro: LTC, 2002

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas Uma Abordagem Integrada**. 4ª edição, Porto Alegre: Bookman, 2013.

SALDANHA, L. **Análise linear e não linear com software de engenharia**. Disponível em: <<https://www.4ieng.com.br/single-post/Analise-linear-e-nao-linear-com-software-deengenharia>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SUPPORT_AUTODESK. **Como realizar um estudo de convergência de malha**. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/simulation-mechanical/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/PTB/How-to-Perform-a-Mesh-Convergence-Study.html>. Acesso em: 09 mai. 2019.

TAVARES, J. M. R. S. **Introdução ao Método de Elementos Finitos**. 103 f. 1998. Comunicação Interna - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1998. Disponível em: <https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=41092>.