

## **CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA A AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM**

**Maicon Roberto Zago<sup>1</sup>, Marieli Fernanda Faccin<sup>2</sup>, Aloysio Arthur Becker Fogliatto<sup>3</sup>, Pedro Henrique Gwiggner Serighelli<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Federal Catarinense - *Campus Luzerna*/m.maicon@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Federal Catarinense - *Campus Luzerna*/marielifaccin@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto Federal Catarinense - *Campus Luzerna* / aloysio.fogliatto@ifc.edu.br

<sup>4</sup> Instituto Federal Catarinense - *Campus Luzerna* / phgwiggner@hotmail.com

*Resumo: Com o objetivo de controlar parâmetros como a velocidade de soldagem, distância bico de contato/peça, ângulo de trabalho e ângulo de deslocamento da tocha durante o processo soldagem, foi dimensionado e construído um dispositivo automatizado que possibilite o controle e a escolha mais apropriada destes parâmetros para o processo de soldagem, propiciando também a repetibilidade do processo. Foi efetuado o dimensionamento do motor a ser usado para a locomoção, tendo como base cálculos de torque necessário para vencer a inércia e máxima rotação. O processo completo de automatização se deu com a elaboração de uma programação através do IDE do Arduino, um motor de passo e um driver compatível com o motor. Um dado primordial a ser informado na programação é o tempo entre passos, que foi calculado com base nas dimensões físicas do dispositivo, nas configurações do driver e nas velocidades desejadas. Após a construção do dispositivo pôde-se comprovar a repetibilidade do processo e um amplo intervalo de velocidades lineares de soldagem. Com o processo de soldagem automatizado ficou evidente o controle de alguns parâmetros essenciais a uma maior qualidade do cordão de solda, eliminando a dependência da habilidade de um soldador, possibilitando ainda maior produtividade.*

*Palavras-Chave: Soldagem, Automatização, Arduino, Repetibilidade.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O sistema produtivo atual mostra-se cada vez mais competitivo, exigindo das empresas a adesão a processos que garantam eficiência e produtividade. Quando se faz o uso de tecnologias de ponta ou implantação de projetos de melhorias de concepção simples pode-se alcançar esses aspectos, tornando assim a empresa mais competitiva no mercado (PASQUALINI *et al.*, [S.d.]).

Com o emprego da automatização no processo de soldagem, tem-se um maior controle nos parâmetros de soldagem, proporcionando uma maior eficiência no processo e redução do tempo de soldagem, assim como uma maior repetibilidade na execução da junta soldada. Ao analisar a soldagem manual, é perceptível a existência de uma grande dependência da habilidade e experiência do soldador, essencial para garantia da qualidade da solda (ALBUQUERQUE *et al.*, 2011).

Os processos automatizados possibilitam uma soldagem com maior velocidade de deslocamento e, portanto, um menor tamanho e uma maior uniformidade da Zona Afetada pelo Calor, aspectos resultantes da menor variabilidade de condições operacionais (ALBUQUERQUE *et al.*, 2011).

Para automatizar um processo utilizando recursos de baixo custo, encontra-se no uso da plataforma *Arduino* várias vantagens, uma vez que essa plataforma é compatível com diversos componentes existentes, possibilitando desenvolver uma solução que atenda às necessidades encontradas, controlando a velocidade do dispositivo de soldagem de forma automática (MCROBERTS, 2011).

Com o objetivo de proporcionar qualidade e uniformidade aos cordões de soldas realizados, e eliminar as variações do processo de soldagem causadas pelo soldador, desenvolveu-se um dispositivo trator para a movimentação da tocha de modo a manter a DBCP (Distância Bico de Contato Peça), ângulo de trabalho da tocha, ângulo de deslocamento da tocha e velocidade de soldagem constantes. A movimentação do dispositivo de soldagem será realizada por meio de motor de passo, e o controle desta será efetuado através da plataforma *Arduino*.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Construção do chassi do dispositivo automatizado**

Os materiais para construção do chassi foram recebidos de parceiros através de doação. Utilizou-se retalhos de chapa de aço carbono na montagem de trilhos, no suporte metálico móvel e suporte para chapas a serem soldadas.

A parte mecânica foi totalmente projetada em CAD 3D, com base nos materiais adquiridos e a partir de conceitos retirados da literatura (PROVENZA, 1990).

### **2.2. Torque necessário para movimentação do dispositivo e relação transmissão**

Para o dimensionamento do motor de passo responsável pelo deslocamento do dispositivo de soldagem, alguns cálculos foram efetuados considerando-se as dimensões das polias e das rodas a serem utilizadas.

Inicialmente calculou-se a força de rolamento  $R$  envolvida durante a movimentação, dada pela Eq. (1) (GRANDINETTI *et al.*, 2010):

$$R = m \cdot f \quad (1)$$

onde  $m$  é a massa total do dispositivo e  $f$  é o coeficiente de atrito. A aceleração do dispositivo depende da aceleração desde uma velocidade igual a zero até atingir uma velocidade final (velocidade

de soldagem) em um dado intervalo de tempo ( tempo para velocidade final) (GRANDINETTI *et al.*, 2010). A aceleração é dada pela Eq. (2):

$$a = \frac{v}{t} \quad (2)$$

Onde  $v$  é a velocidade de soldagem desejada em m/s e  $t$  é o tempo em segundos para a velocidade de soldagem ou velocidade máxima.

A força necessária para acelerar o dispositivo depende da aceleração calculada pela Segunda Lei de Newton, estabelecida pela Eq. (3):

$$F_a = m \cdot a \quad (3)$$

Sendo  $m$  a massa total do dispositivo trator.

A força total de contato com o solo é a soma da força necessária para acelerar o veículo e a força de rolamento (GRANDINETTI *et al.*, 2010).

Sabe-se que o torque de saída do redutor  $T_r$  é o torque da roda, então a polia acoplada no eixo das rodas sofre um torque dado pela Eq. (4):

$$T_r = F_{total} \cdot r_{roda} \quad (4)$$

Sendo  $r_{roda}$  o raio da roda

A rotação de saída do redutor (dada em rpm) pôde ser calculada partindo da rotação da roda, com base na Eq.(5):

$$n_{redutor} = \frac{v \cdot 60}{2\pi \cdot r_{roda}} \quad (5)$$

O torque do motor pôde ser calculado a partir do torque de saída do redutor, pela Eq.(6):

$$T_m = \frac{T_{redutor}}{R_t \cdot \eta} \quad (6)$$

Onde  $\eta$  é o rendimento do redutor e  $R_t$  é a relação de transmissão do redutor dada pela Eq. (7) (GRANDINETTI *et al.*, 2010):

$$R_t = \frac{D_{pr}}{D_{pm}} \quad (7)$$

Sendo que  $D_{pr}$  é o diâmetro da polia acoplada no eixo das rodas traseiras e  $D_{pm}$  é o diâmetro da polia acoplada no eixo do motor.

A rotação do motor pode ser calculada a partir da rotação de saída do redutor, pela Eq. (8):

$$n_{motor} = n_{redutor} \cdot R_t \quad (8)$$

Como se deseja variar a velocidade de soldagem entre 100mm/min e 1000mm/min, a velocidade de soldagem utilizada para os cálculos de dimensionamento do motor do dispositivo trator deve ser a velocidade máxima.

### 2.3. Automação/Arduino

Uma forma simples e de baixo custo para a automatização do processo de soldagem é a utilização de uma plataforma programável (*Arduino*), possibilitando testar várias velocidades de soldagem e, a partir da aferição dos resultados obtidos, escolher a velocidade que melhor se encaixe para atingir os objetivos.

Para a completa automatização do dispositivo trator de soldagem, foi conectado um driver, que por sua vez, está conectado a um motor de passo. Este conjunto irá interagir com um programa de computador que possibilita a locomoção do dispositivo na velocidade desejada.

### 2.4. Acionamento do dispositivo

Através do software *Arduino* foram definidas as velocidades do dispositivo de soldagem, sendo que para obter-se a velocidade desejada é necessário saber o tempo entre passos (TEP), pois é este parâmetro que define a velocidade. Para obter a velocidade foram efetuados cálculos em função do deslocamento (D), quantidade de passos por segundo (PPS), número de revoluções da roda (NR), número de rotações do motor (NRM), relação de transmissão ( $R_t$ ) e velocidade de soldagem desejada (VSD). Estes parâmetros estão dispostos nas equações a seguir:

Com a relação de transmissão resultante da Eq.7, adotou-se uma medida de deslocamento (D) de 350 mm, para descobrir o número de revoluções da roda (NR) através da Eq. (8).

$$NR = \frac{D}{2\pi Rr} \quad (8)$$

Calculado o número de revoluções da roda (NR), pode-se calcular o número de rotações do motor (NRM) através da Eq. (9).

$$NRM = NR \cdot R_t \quad (9)$$

Após serem calculados número de revoluções da roda (NR), foi calculado o tempo total (TT) para percorrer o deslocamento (D) através da Eq. (10).

$$TT = \frac{VSD}{D} \cdot 60 \quad (10)$$

Em seguida calculou-se o tempo por revolução (TR) através da Eq. (11)

$$TR = \frac{TT}{NRM} \quad (11)$$

E por último calculou-se o tempo entre passos (TEP) a partir da Eq. (12).

$$TEP = \frac{TR}{2 \cdot PPR \cdot Re} \cdot 1000000 \quad (12)$$

Onde Re é o rendimento do sistema de transmissão utilizado, sendo este obtido a partir de testes empíricos resultando em um valor igual a 88,965%

### 2.5. Como realizar a soldagem

O processo de soldagem utilizado foi MAG, tendo como gás de proteção uma mistura de 95% Ar e 5%O<sub>2</sub>. O metal de adição utilizado foi arame maciço ASME SFA- 5.18 ER70S-6 com diâmetro de 1,0 mm. Os cordões de solda foram realizados em chapas de aço ARBL WELDOX 700E.

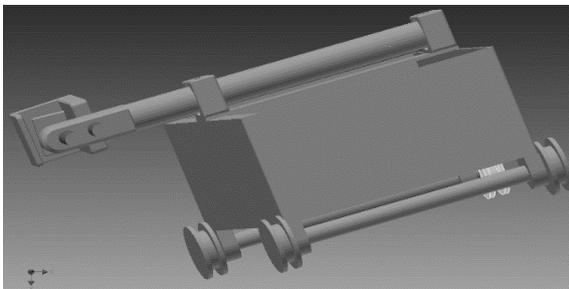
A fonte de soldagem utilizada foi uma Hylong 400, a qual permite fazer a regulação de tensão e velocidade de arame através da IHM (Interface Homem Máquina). Na IHM deve-se informar o tipo de gás, a espessura do metal de adição utilizado no processo e definir o acionamento da tocha

Para evitar a distorção das chapas – alteração dimensional resultante do aquecimento não uniforme do material durante o processo de soldagem – optou-se pela fixação através de mordentes.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. Construção do chassi

A montagem realizada em CAD 3D a partir dos desenhos está disposta na Figura 1, e o resultado da construção na Figura 2.



**Figura 1:** Projeto mecânico do dispositivo de soldagem automatizado.  
Fonte: O próprio autor.



**Figura 2:** Dispositivo de soldagem construído pelos bolsistas.  
Fonte: o próprio autor

### Dimensionamento do motor

Na Tabela 1 estão identificadas algumas dimensões e informações que foram necessárias aos cálculos, assim como, a relação de transmissão calculada.

**Tabela 1:** Informações para o cálculo do torque e rotação do motor de passo (GRANDINETTI et al., 2010).

Velocidade de soldagem desejada [mm/min]	1000,000
Massa do dispositivo [kg]	25,000
Raio da roda [m]	0,019
Velocidade de soldagem desejada [m/s]	0,017
Diâmetro polia acoplada ao eixo do motor [m]	0,010
Diâmetro polia acoplada ao eixo das rodas [m]	0,049
Velocidade angular da roda [rad/s]	0,887
Tempo para velocidade máxima [s]	0,900
Relação de transmissão	4,900
Coefficiente de atrito estático	0,570

Fonte: O próprio autor.

A Tabela 2 apresenta o resultado dos cálculos realizados para determinar um valor de torque e rotação do motor, os quais foram efetuados através das equações mencionadas neste trabalho.

**Tabela 2:** Cálculo do torque e rotação do motor de passo.

Cálculo da Resistência ao Rolamento (N)		139,792
Aceleração do Veículo Parado até Atingir a Velocidade Final (velocidade de soldagem) Em um Dado Intervalo de Tempo “Tempo para velocidade máxima” (m/s <sup>2</sup> )		0,018
Cálculo da Força Total de Contato com o Solo (força Necessária para acelerar o veículo mais a força de rolamento)	F. aceler (N)	0,463
	Força Total (N)	140,255
Cálculo do Torque e Rotação da polia acoplado no eixo das rodas	Torque (N.m)	2,634
	Rotação da roda(rpm)	8,475
Cálculo do Torque e Rotação do motor para um rendimento de 85%	Torque (N.m)	0,632
	Torque em Kgf.cm	6,449
	Rot. motor (rpm)	41,526

Fonte: O próprio autor.

Com o cálculo de torque necessário para deslocamento do dispositivo de soldagem, verificou-se que há na instituição um motor de passo com especificações técnicas muito próximas daquelas necessárias ao projeto, sendo o motor NEMA 23 com torque máximo de 7,0 kgf.cm, suficiente para tal tarefa (NEOYAMA AUTOMAÇÃO, [S.d.]).

### 3.3 Automatização/ Arduino

Elaborou-se uma programação compatível com o IDE do Arduino. Para realizar a mudança de velocidades, modifica-se apenas o valor do tempo entre os passos na programação. A Tabela 3 mostra os tempos entre passos calculados para algumas velocidades utilizadas nos testes.

**Tabela 3:** Tabela de tempo entre passos para algumas velocidades testadas no dispositivo.

<b>Velocidades (mm/min)</b>	<b>TEP</b>
200	2530,2
300	1686,8
400	1265,1
500	1012,1
600	834,4
700	722,9
800	632,6
900	562,3
1000	506,7

Fonte: O próprio autor.

Pode-se utilizar velocidades diferentes da Tabela 3, apenas é necessário saber o tempo entre passos (TEP), que pode ser calculado pelas equações apresentadas neste trabalho.

### 3.2. Testes prévios

Para a verificação dos resultados decorrentes do uso do processo automatizado de soldagem, foram realizados dois cordões de solda, um através do processo manual e outro com o dispositivo trator de soldagem. Os testes foram realizados com os mesmos valores de corrente e tensão regulados no IHM da fonte de soldagem. Os sinais elétricos de corrente e tensão de soldagem foram adquiridos através do sistema de aquisição de dados (SAPV4) durante o processo.

Com os sinais obtidos foi possível, através do software de aquisição, gerar um ciclograma que apresenta os valores de corrente e tensão simultaneamente, apresentando as variáveis uma em função da outra (IMC SOLDAGEM, 2014). As Figuras 4 e 5 apresentam os ciclogramas de cada processo.

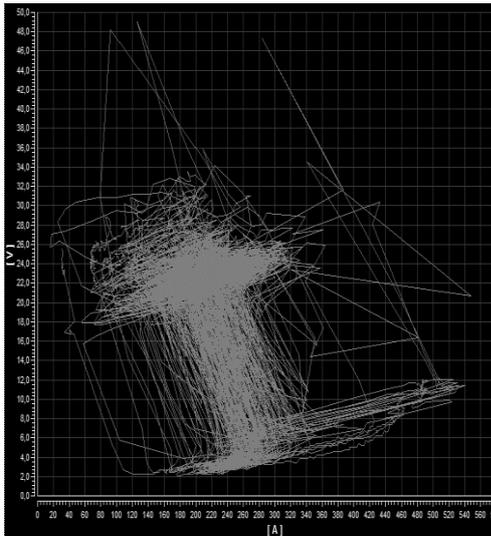


Figura 3 - Ciclograma corrente x tensão obtido através da soldagem manual.  
Fonte: o próprio autor.

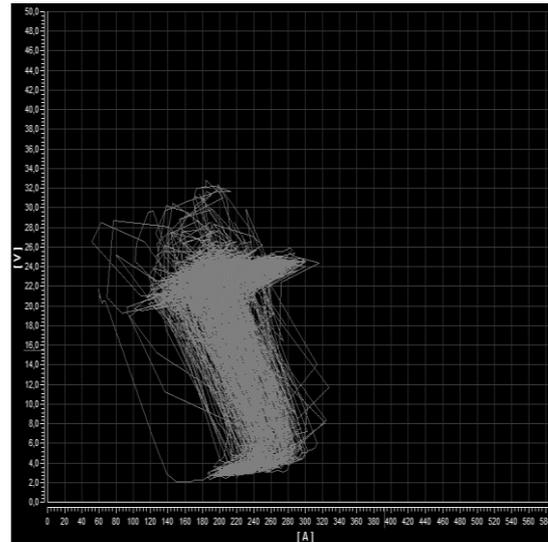


Figura 4- Ciclograma corrente x tensão obtido através da soldagem realizada pelo dispositivo.  
Fonte: o próprio autor.

A regularidade de um processo de soldagem é proporcional à concentração do ciclograma. Analisando-se as Figuras 4 e 5 nota-se que o ciclograma obtido através da soldagem manual apresenta menor concentração de linhas em relação a soldagem automatizada. Essas diferenças na concentração são oriundas de variações de alguns parâmetros de soldagem durante o processo, tais como, velocidade de soldagem, distância bico de contato peça (DBCP), ângulo de trabalho, ângulo deslocamento e trajetória do arco. Na soldagem manual é difícil manter tais parâmetros controlados, pois o soldador, mesmo tendo vasta experiência, não consegue manter sem nenhuma variação por um longo período (RACHADEL, 2013).

As Figuras 5 e 6 apresentam os cordões de solda resultantes dos processos.

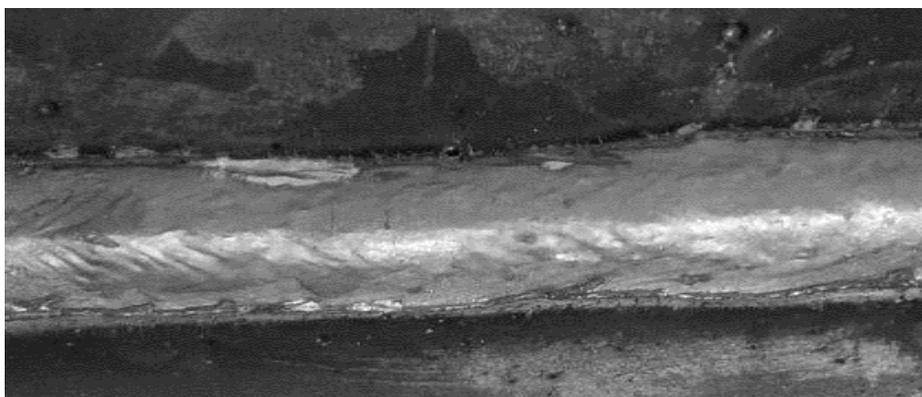


Figura 5 - Cordão de solda resultante da soldagem manual.  
Fonte: O próprio autor.

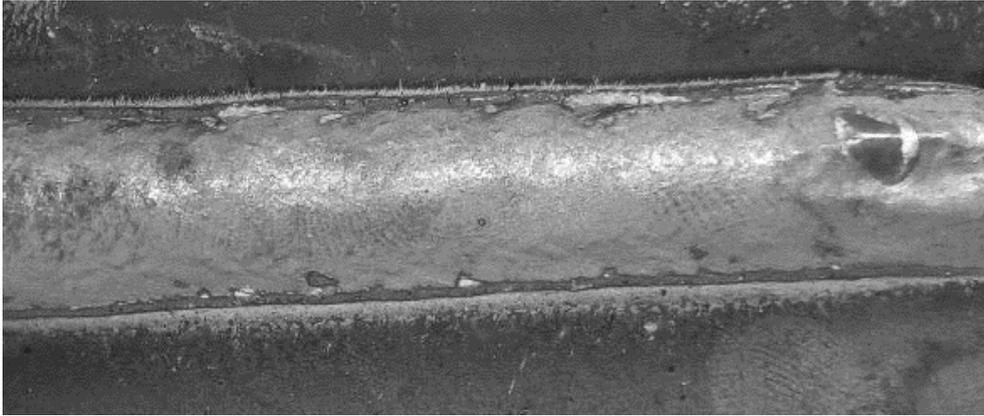


Figura 6 - Cordão de solda resultante da soldagem automatizada.  
Fonte: O próprio autor.

Analisando-se o cordão obtido manualmente com o obtido por soldagem automatizada, é visível a falta de homogeneidade em seu perfil, resultante das discontinuidades dos parâmetros de soldagem mencionados.

#### 4. *CONSIDERAÇÕES FINAIS*

- ✓ No momento da construção da parte física do dispositivo notou-se a necessidade de um rearranjo de algumas ideias projetadas, o que resultou em alterações de projeto. O resultado final da construção foi satisfatório e atendeu a todas as expectativas.
- ✓ O cálculo do torque para o dispositivo sair da inércia foi essencial para a determinação do motor de passo a ser utilizado.
- ✓ Além de atender as necessidades do processo, a programação possibilita a mudança do tempo entre passos de forma prática.
- ✓ Os testes prévios comprovaram a repetibilidade do processo e aparentemente uma boa qualidade dos cordões de solda obtidos.
- ✓ O dispositivo atendeu aos objetivos propostos com sua construção, proporcionando uma maior abrangência nos estudos do processo MIG/MAG.
- ✓ Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de melhorias nos sistemas mecânicos de fixação, assim como a implementação de um número maior de graus de liberdade (eixos y e z).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Instituto Federal Catarinense - *Campus Luzerna*, fonte financiadora do projeto e ao LABEMM.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALBUQUERQUE, Siderley Fernandes *et al.* **Avaliação da Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Metais de Solda Obtidos por Processos de Soldagem Manual e Automatizado utilizado na Soldagem de Aço API 5L X80.** *Soldagem e Inspeção*, p. 322–332, 2011. Disponível em: <[http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/revistas/full/full\\_16\\_04\\_345.pdf](http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/revistas/full/full_16_04_345.pdf)>. Acesso em 10 de julho de 2017.

GRANDINETTI, F. J. *et al.* **Projeto de um sistema de transmissão de um veículo elétrico do tipo mini-baja.** *VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, v. 21, 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1082.pdf>>. Acesso em 10 de maio 2017.

HIBBELER, R. C. **Dinâmica: mecânica para engenharia.** 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2011, 591 p.

IMC SOLDAGEM. **Manual SAP V4.** Palhoça: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.imc-soldagem.com.br/pt-br/equipamentos/sistemas-de-monitoramento/sap-v4>>. Acesso em 06 de setembro de 2017.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico.** São Paulo: Novateo, 2011.

NEOYAMA AUTOMAÇÃO. *Catálogo - Motor de passo.* Disponível em: <<http://www.neoyama.com.br/produtos/motores/motor-de-passo/motor-de-passo-nema-23-torque-700-kgf-cm-corrente-140-a/>>. Acesso em 15 de maio de 2017.

PASQUALINI, Andréia *et al.* **Desenvolvimento de sistema para soldagem automatizada de roscas transportadoras.** [S.d.], [S.l: s.n.], [S.d.]. p. 15. Disponível em: <[https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos09/151quina\\_Solda.pdf](https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos09/151quina_Solda.pdf)>. Acesso em 06 de setembro de 2017.

PROVENZA, Francesco. **Projetista de Máquinas.** 2. ed. São Paulo: Francesco Provenza, 1990.

RACHADEL, Bernardo João. **Estudo para a otimização da soldagem mig/mag robotizada de peças em aço inoxidável ferrítico conformadas por estampagem.** Universidade Federal De Santa Catarina - Departamento De Engenharia Mecânica - Programa De Pós-Graduação Em Ciência E Engenharia De Materiais, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107063/317573.pdf?sequence=1>>. Acesso em 06 de setembro de 2017.

SHIGLEY, Joseph E., Mischke, C. R. e Budynas, R. G.. **Projeto de Engenharia Mecânica.** Bookman, Porto Alegre, 2005.