

# DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA PARA ENSAIOS DE TORÇÃO EM MATERIAIS METÁLICOS E POLIMÉRICOS

F.R.S. Oliveira<sup>1\*</sup>; D.S. Silva<sup>1</sup>; R.G.S. Menezes<sup>1</sup>; J.P.P. Lima<sup>1</sup>; R.C.M.S. Contini<sup>1</sup>.

1- Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos – FATEC-Professor Jessen Vidal  
Av. Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350 - Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP,  
CEP: 12247-014, Brasil.

Telefone: (12) 3905-2423/ (12) 98197-2265, \*E-mail: [flaviorrodolfo@gmail.com](mailto:flaviorrodolfo@gmail.com)

**RESUMO:** O presente artigo descreve o desenvolvimento do projeto mecânico conceitual de uma máquina para realizar ensaios de torção em materiais metálicos e poliméricos. Esse tipo de ensaio é comumente utilizado para verificar o comportamento de diversos materiais e componentes, tais como eixos de transmissão, barras de torção e partes de motor. Durante o desenvolvimento deste trabalho foram abordadas etapas de pesquisa para o entendimento do problema, os requisitos do material a ser ensaiado até os materiais de construção da máquina que seriam utilizados. O projeto conceitual foi elaborado utilizando a ferramenta CAD *Solidworks*®. O desenvolvimento desse produto possibilitará o estudo dos esforços de torção em materiais metálicos, facilitando ao aluno uma melhor compreensão da teoria lecionada em sala de aula.

**PALAVRAS-CHAVE:** Projeto; Ensaio de Torção; *SolidWorks*®; Materiais metálicos e poliméricos; Máquina.

**ABSTRACT:** The present article describes the development of the conceptual mechanical design of a machine for performing torsion tests on metallic and polymeric materials. This type of test is commonly used to verify the behavior of various materials and components, such as drive shafts, torsion bars and engine parts. During the development of this work, research steps were taken to understand the problem, the material requirements to be tested, and the materials used to build the machine. The conceptual design was developed using the CAD *Solidworks*® tool. The development of this product will enable the study of torsion efforts in metallic and polymeric materials, allowing the student a better understanding of the theory taught in the classroom.

**KEYWORDS:** Project; Torsion Test; *SolidWorks*; Metallic and polymeric materials; Machine.

## 1. INTRODUÇÃO.

O ensaio para estudo da torção consiste em aplicar uma carga rotacional a um CDP (Corpo De Prova) usualmente de forma cilíndrica (maciça ou tubular). Na torção, a tensão é aplicada na direção da rotação, diferente das tensões de tração, compressão e cisalhamento, onde os seus esforços são aplicados longitudinalmente. Na torção parte do material sofre tração enquanto a outra é comprimida, é possível utilizar os dados do ensaio de tração para prever o desempenho do material testado, quando sujeito a torção. A execução do ensaio de torção é de relativa simplicidade, porém para a obtenção das propriedades do material ensaiado, se faz necessário realizar cálculos matemáticos complexos. [1]. O ensaio de torção é comumente utilizado na fabricação de elementos mecânicos, como motores de partida, eixos aeronáuticos, rotores de maquinários, eixos, hastes, arames entre outros para a identificação do comportamento destes materiais em operação.

Barras de eixo reto e seção transversal circunferencial (maciça) ou anular (coroa circular) são comumente denominados de eixos. Eixos estão sujeitos a sofrer momento torsor (tensão que tende a rotacionar a seção em torno de um eixo longitudinal, causando tensões cisalhantes).

Tratando-se de um esforço de torsão, o momento torsor ( $M_t$ ), também chamado de torque. A partir do  $M_t$  e do ângulo de torção ( $\Phi$ ) é possível elaborar um gráfico onde é possível averiguar as seguintes propriedades: escoamento, limite de proporcionalidade, momento máximo e momento de ruptura [1].

Esse ensaio também pode ser executado em universidades, a fim de realizar o estudo de materiais que passaram por tratamentos térmicos, ou, como uma forma didática para fixação do conhecimento adquirido em sala de aula através dos conceitos teóricos.

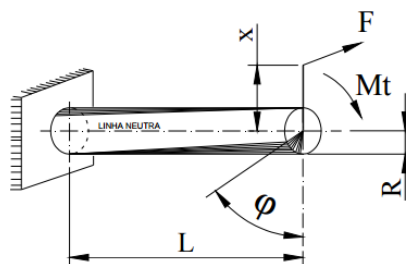
Pensando nisso, foi desenvolvido um projeto de uma máquina para ensaio de torção visando realizar ensaios em CDP, a fim de possibilitar o estudo desse tipo de tensão através de aulas prática.

## 2. ENSAIO DE TORÇÃO

Tensão é a grandeza física definida pela força atuante em uma superfície e a área da mesma. Ou seja, uma força pode ser aplicada num corpo de diferentes maneiras originando, portanto, diversos tipos de sollicitações (esforços), tais como: tração, compressão, cisalhamento, flexão e torção [2].

A torção é um tipo de tensão que atua em um plano perpendicular ao eixo, e cada seção transversal tende a girar em relação às demais [3].

O ensaio de torção consiste na aplicação de uma carga rotativa (força) em um CDP geralmente de geometria cilíndrica. Mede-se o ângulo de torção como função do momento torsor aplicado (Figura 1).



**Figura 1.** Ensaio de torção [2]

A tensão de torção é representada pela Equação 1 [2]:

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} \quad (1)$$

Onde:  $\tau_t$ = Tensão de torção (MPa),  $M_t$ =Momento torsor. (N.mm) e  $W_t$ =Módulo de resistência à torção ou módulo de resistência polar.

O Momento torsor pode ser obtido pelas Equações 2 e 3 [2]:

$$M_t = F \cdot t \quad (2)$$

$$M_t = 9550 \cdot \frac{N}{n} \quad (3)$$

Onde: F= Força aplicada, X= distância entre a força aplicada e o centro da peça, N=Potência que aciona o eixo (W) e n= rpm do eixo.

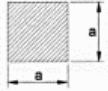
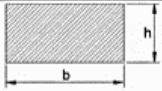


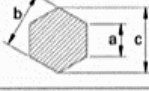



O Módulo de resistência polar é a característica geométrica da seção de uma viga que se opõe à torção e é expresso pela Equação 4 [2]:

$$W_t = \frac{I_t}{R} \quad (4)$$

Onde:  $I_t$  = Momento de Inércia polar da seção transversal ( $\text{mm}^4$ ) e  $R$  = Distância da linha neutra à fibra externa (mm)

A Tabela 1 apresenta as equações utilizadas para o cálculo da tensão de torção de acordo com a geometria da viga a ser torcionada.

**Tabela 1** – Momento de inércia polar e módulo de resistência polar [2]

Seção	Momento de Inércia Polar $I_t$	Módulo de Resistência Polar $W_t$
	$I_t = \frac{a^4}{6} = 0,16667 \cdot a^4$	$W_t = \frac{2}{9} a^3 = 0,22 \cdot a^3$
	$I_t = \frac{b \cdot h(b^2 + h^2)}{12}$	$W_t = \frac{b \cdot h^2}{3 + 1,8 \frac{h}{b}}$
	$I_t = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$	$W_t = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$
	$I_t = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$	$W_t = \frac{\pi}{16} \left( \frac{D^4 - d^4}{D} \right)$
	$I_t = \frac{b \cdot \sqrt{3}}{8} a^4 = 0,12 \cdot b^4$	$W_t = 0,2 \cdot b^3$
	$I_t = \frac{\pi \cdot d^4}{32} - \frac{a^4}{6}$	$W_t = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{a^4}{3 \cdot d}$
	$I_t = \frac{\pi \cdot d^4}{32} - \frac{5 \cdot \sqrt{3}}{8} \cdot a^4$	$W_t = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{5 \cdot \sqrt{3}}{4 \cdot d} \cdot a^4$
	$I_t = \frac{\sqrt{3} \cdot a^4}{48}$	$W_t = \frac{a^3}{20}$

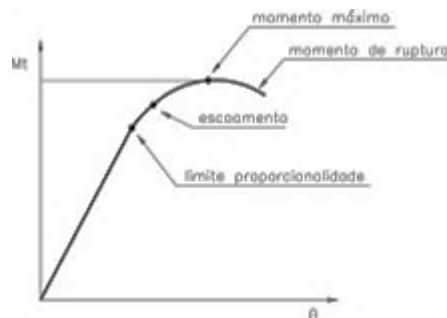
O ângulo de torção ( $\phi$ ) poderá ser determinado pela Equação 5 e 6 [2]:

$$\phi = \frac{180 \cdot M_t \cdot L}{\pi \cdot G \cdot I_t} \text{ (Graus)} \quad (5)$$

$$\phi = \frac{L \cdot M_t}{G \cdot I_t} \text{ (rad)} \quad (6)$$

Onde:  $\phi$  = Ângulo de torção,  $M_t$  = Momento torsor (N.mm),  $L$  = Comprimento da peça (mm),  $G$  = Módulo de Elasticidade Transversal (MPa) e  $I_t$  = Momento de Inércia polar da seção transversal ( $\text{mm}^4$ ).

Na Figura 2 é mostrado o gráfico do momento torsor em função do ângulo de torção.



**Figura 2.** Momento torsor em função do ângulo de torção [4]

### 3. REQUISITOS DO PROJETO

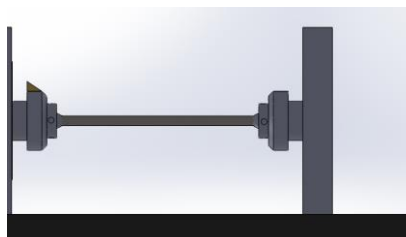
#### 3.1. Requisitos do CDP

Os requisitos do CDP foram baseados nos limites estruturais da máquina e do motor. O material mais resistente que pode ser ensaiado nessa máquina, necessita estar abaixo do limite de escoamento de 250 MPa que se refere ao limite elástico do material da máquina que é um aço SAE 1045. O projeto do CDP foi desenvolvido na ferramenta de CAD (Figura 3).



**Figura 3.** Dimensionamento do CDP em mm.

Os CDPs devem ser de forma cilíndrica e as dimensões foram estabelecidas seguindo as recomendações da norma ASTM A938-07[5]. Na Figura 4 tem-se uma representação do CDP fixado na máquina.



**Figura 4.** CDP fixado na máquina torsora.

#### 3.2. Requisitos dos componentes para construção máquina

Os componentes que compõem a máquina de torção foram definidos após o estudo dos requisitos do projeto, onde foram determinados quais os materiais que poderão ser ensaiados. A Tabela 2 apresenta os componentes para a confecção da máquina.

**Tabela 2.** Relação dos componentes utilizados para confecção da máquina de torção.

Nº	QT.	ITENS	MATERIAL
1	2	MANDRIL	SAE 1146
2	1	INDICADOR DE ÂNGULO	PERSPEX
3	1	MOTOR DE PASSO	HT34-487
4	1	CARENAGEM DO MOTOR	SAE 1045
5	1	SUPORTE MÓVEL	SAE 1045

6	2	SUPORTE GUIA DO CURSOR	SAE 1045
7	15	PARAFUSO SEXTAVADO PARA FIXAR O MOTOR	SAE 1045
8	2	PINO TRAVA	SAE 1045
9	15	ARRUELA DE PRESSÃO	SAE 1045
10	1	DISPLAY DE INDICAÇÃO	DISPLAY LCD
11	1	PROTEÇÃO DO CDP	PERSPEX

### 3.3. Características do motor

A máquina é acionada por um motor de passo, mais especificamente o HT34-487 comercializado pela empresa Kalatec Automação. Esse motor possui um torque estático bipolar de 13,0 Nm (132,0 kgf.cm), com uma inércia de 4400 g.cm<sup>2</sup>, passo em ângulo de 1,8°, diâmetro do eixo de 15,875 mm e peso de 5,40 kg, corrente de 4,5 A e 4,8 V de tensão. Esse tipo de motor pode ser ligado de forma unipolar, que é mais fácil de controlar e tem um custo mais baixo, porém a ligação bipolar realizada através de *drivers* oferece mais torque, em geral 30% a mais do obtido em ligação unipolar [6], o que acaba sendo interessante para esse projeto já que um torque elevado é importante para ensaiar materiais com um nível de resistência maior. Pensando nisso o *driver* a ser utilizado é o STR8, que também é comercializado pela empresa Kalatec Automação e é compatível com o motor especificado anteriormente.

## 5. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Para o desenvolvimento do projeto de uma máquina específica e confiável para teste de torção foi utilizado o programa *SolidWorks* 2015®, visando obter uma eficiente forma construtiva, garantindo que posteriormente, seja possível a fabricação da máquina, sem que haja problemas de acoplamento entre as peças fabricadas.

O projeto seguiu uma sequência de cinco etapas para a sua realização, que foram:

I- Idealização de como será a máquina, usualmente denominado de esboço, juntamente com uma descrição, para futuramente desenvolver os desenhos das peças;

II- Dimensionar ergonomicamente a estrutura da máquina para que o operador fique em uma posição confortável e segura para realizar os testes.

III- Construir em programa a estrutura principal de acordo com o dimensionamento ergonômico, e indicar a cotagem do desenho.

IV- Realizar uma montagem no programa *SolidWorks*® de todas as partes construídas, verificando possíveis ajustes dimensionais das peças para um correto arranjo físico e mecânico.

### 5.1. Desenvolvimento do esboço da máquina

A Figura 5 apresenta uma vista 3D da máquina, esta possibilita a visualização de como a mesma ficará após sua confecção. A máquina será composta por dois barramentos base, sobre os quais são montados o cabeçote fixo e cabeçote móvel. O cabeçote fixo será composto pela carenagem, motor, indicador de ângulo, botão de acionamento, botão de emergência, mandril móvel e visor de LCD. O cabeçote móvel possui um mandril fixo, e será correção sobre o barramento base, com um pino que o trava na posição desejada, possibilitando se ajustar ao comprimento do CDP, a máquina também conta com uma proteção de acrílico para proteger o operador durante os ensaios.

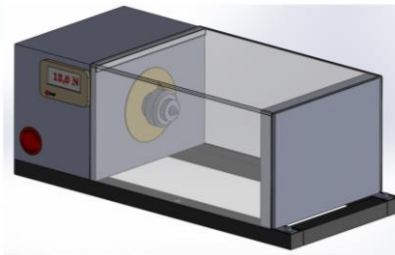


Figura 5. Esboço da máquina.

## 5.2. Dimensionamento ergonômico e de segurança

Um princípio importante na aplicação da ergonomia recomenda que as máquinas, sistema e tarefas, devem ser projetados para uso coletivo. “Sabendo-se que há diferenças individuais em uma população, os projetos, em geral, devem atender a 95% dessa população. Isso significa que há 5% dos extremos dessa população (indivíduos obesos, muito altos, muito baixos, mulheres grávidas, idosos ou deficientes físicos), para os quais os projetos de uso coletivo não se adaptam bem. Nesses casos, é necessário realizar projetos específicos para essas pessoas” [7].

Pensando nisso a máquina de torção foi dimensionada ergonomicamente para ser operada de modo coletivo. Levando em consideração a segurança do operador foi desenvolvida uma proteção de Perspex, para evitar ferimentos causados por estilhaços no caso do rompimento do CDP, um botão de emergência foi planejado para uma possível situação de emergência durante os ensaios. Recomenda-se que a máquina seja apoiada em uma bancada ajustável, a qual deve ser mantida sempre nivelada à cintura do operador.

O *display* de LCD escolhido é equipado com luz *back-light*, que é um conjunto de LEDs no fundo do *display* que permite que o escrito possa ser lido em ambientes de baixa ou nenhuma luminosidade. O motor utilizado para realizar o torque possui baixo nível de ruído causando o mínimo de danos possível ao operador. Esse dimensionamento foi feito com base na norma regulamentadora, denominada NR 17 – Ergonomia [8].

## 5.3. Cotagem das dimensões da máquina.

As dimensões da máquina são apresentadas na Figura 6 e as medidas estão em milímetro.

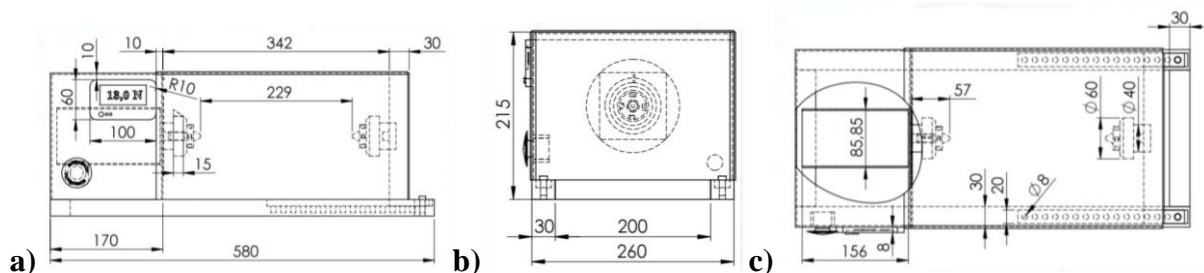
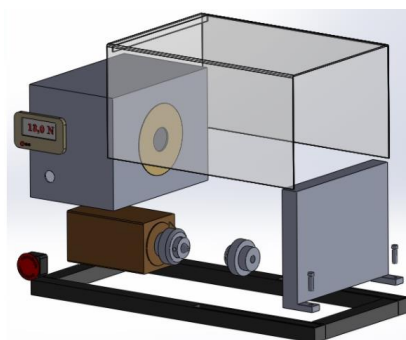


Figura 6. Dimensões do projeto conceitual da máquina torsora: a) Vista lateral esquerda b) Vista frontal e c) Vista superior

## 5.4. Montagem da máquina no programa.

Foi realizada uma montagem da máquina no programa, a fim de visualizar todos os componentes da mesma para se ter uma ideia do conjunto e verificar possíveis pontos de ajuste. A Figura 7 apresenta a vista explodida do projeto.





**Figura 7.** Vista explodida do projeto conceitual da máquina de ensaio de torção.

## 6. CONCLUSÃO

Conclui-se que o presente estudo possibilitou o desenvolvimento do projeto de uma máquina de torção, a qual tem como objetivo geral de proporcionar aos alunos das universidades à realização de ensaios em laboratório correlacionando a matéria lecionada em sala de aula com a prática, e possibilitando o estudo de materiais que passaram por tratamentos térmicos (Com limite de escoamento inferior a 250 GPa). O desenvolvimento de tal máquina na FATEC (e futura manufatura na mesma) agrega maior conhecimento aos alunos, e gera um custo de aquisição inferior as máquinas já existentes.

Esse artigo aborda apenas o projeto da máquina, dada à importância do assunto, torna-se apto o desenvolvimento dos processos e manufatura em futuros trabalhos. Sendo assim, os integrantes deste artigo cedem o direito a terceiros de desenvolverem e reproduzirem o conteúdo aqui apresentado.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] BEER, F. P.; JOHNSON E. R. *Resistencia dos Materiais*. 7 Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 638 p.
- [2] GUSTAVO, L. *Apostila de Resistência dos materiais*. Disponível em: <https://sjc.ifsp.edu.br/portal/index.php/webdiario/manual-professor/category/1-material-didatico?download=32:apostila-resistencia-dos-materiais>. Acesso em 26/06/2017
- [3] MSPC, Informações técnicas 1-10. Disponível em: <http://www.mspc.eng.br/matr/resmat0110.shtml> Acesso em 27/07/2017.
- [4] FUNDAÇÃO ROBERTO MARINHO. *Telecurso 2000 profissionalizante: mecânica: ensaios de materiais*. São Paulo: Globo, 2000. 208 p.
- [5] ASTM A938-07(2013), Standard Test Method for Torsion Testing of Wire, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [6] Kalatec Automação - Motor de Passo Disponível em: <http://www.kalatec.com.br/motoresdepasso/motor-de-passo/>. Acessado em 23/08/2017
- [7] DUL, Jan; WEEDMEESTER, Bernard. *Ergonomia Prática*. 2 Ed. São Paulo: Edgard Bluncher, 2008.
- [8] NR 17 - NORMA REGULAMENTADORA 17. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR17.pdf>. Acesso em 24/08/2017

## 7. AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, a FATEC São José dos Campos e ao Profº. Joares Lidovino dos Reis, pela ideia da máquina e incentivo ao desenvolvimento do projeto.

Anais do IVCIMATech – 17 a 19 de outubro de 2017, FATEC-SJC, São José dos Campos - SP.