



**Geovani Junior Merchiori  
Kássius Rafael Kolling**

**Desenvolvimento de um dinamômetro capaz de medir o  
torque de motores de combustão interna de 5 a 15 CV**

**Horizontina**

**2013**

**Geovani Junior Merchiori**  
**Kássius Rafael Kolling**

**Desenvolvimento de um dinamômetro capaz de medir o torque de motores de combustão interna de 5 a 15 CV**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Anderson Dal Molin, Mestre

**Horizontina**  
**2013**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**Desenvolvimento de um dinamômetro capaz de medir o torque de  
motores de combustão interna de 5 a 15 CV**

**Elaborada por:**

**Geovani Junior Merchiori  
Kassius Rafael Kolling**

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 27/11/2013  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Prof. Me. Anderson Dal Molin** Presidente da Comissão Examinadora -  
Orientador

---

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen**  
FAHOR – Faculdade Horizontina

---

**Prof. Me. Carla Beatriz Spohr**  
FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina  
2013**

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos este trabalho a Evandro  
Tusset (in memoriam).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus, pois sem ele não encontraríamos esse caminho.

Aos nossos pais, que sempre nos apoiaram.

À instituição de ensino FAHOR, em especial ao nosso orientador o professor Mestre Anderson Dal Molin e a todos os professores que nos auxiliaram durante a nossa vida acadêmica a chegarmos até aqui.

A todas aquelas pessoas que de uma forma ou outra nos ajudaram para que esse momento fosse possível.

“A simplicidade é o último grau de  
sophistication.”

(Leonardo da Vinci)

## RESUMO

Esta pesquisa acadêmica e o experimento envolveram o desenvolvimento de um dinamômetro, capaz de medir o torque de motores de combustão interna de 5 a 15 CV, tais como o motor utilizado no Projeto Mini Baja SAE (Society of Automotive Engineers), que é um motor Breggs & Stratton com 10 cv. Instigados por discussões do grupo de estudantes, análises do orientador, e uma revisão bibliográfica, buscou-se a construção de um tipo de dinamômetro que seria o mais indicado para essa finalidade, atendendo requisitos, tais como menor custo de fabricação, operação, facilidade e eficácia na realização dos testes e fácil observação e compilação dos resultados. Optou-se pelo desenvolvimento de um dinamômetro hidráulico, e partiu-se para a realização do projeto, atendendo requisitos de cálculos de dimensionamento. Após, buscaram-se materiais e deu-se início à fabricação. Primeiramente, foi construída a bancada que alojaria esse dinamômetro. Em sequência, a produção dos componentes do dinamômetro. Após, ocorreu a montagem de todos os componentes e sua instalação na bancada. Para testar o equipamento, utilizou-se o motor disponibilizado pela equipe de Baja da Fahor, medindo-se o torque. Através dos repetidos testes, verificou-se que o equipamento estava funcionando de acordo com os objetivos do projeto e os cálculos prévios, comprovando-se sua eficácia.

**Palavras-chave:** Dinamômetro hidráulico; Torque; Motores.

## **ABSTRACT**

This academic research and the experiment involved the development of a dynamometer capable of measuring the torque of the internal combustion of engines with power between 5 to 15 CV, such as the engine design used in Mini Baja SAE (Society of Automotive Engineers), which is a Breggs & Stratton engine with 10 hp. Instigated by group discussions, analysis of the supervisor, and a literature review, we sought to build a dynamometer type that would be more suitable for this purpose, given requirements, such as low cost manufacturing, easy operation, ease and effectiveness in testing and easy observation and compilation of results. We opted for the development of a hydraulic dynamometer, and started to realize the project, following requirements of sizing calculations. After there were sought material and has begun the manufacture. First, it was built countertop which would receive this dynamometer. In the following, the manufacture of components of the dynamometer. After occurred the setting of all components and their installation on the bench. To test the equipment, there was the engine provided by the staff of the Baja Fabor by measuring the torque. Through repeated testing, it was found that the equipment was functioning in accordance with the project, objectives and previous calculations, proving their effectiveness.

Keywords : Hydraulic Dynamometer; Torque; Engines.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Eixos antes e depois da deformação. ....	13
Figura 2 – Sistema pistão-biela-manivela. ....	14
Figura 3 – Freio de Prony. ....	16
Figura 4 – Distribuição de velocidade junto à parede sólida.....	22
Figura 5 – Escoamento entre placas paralelas. ....	23
Figura 6 – Curva de torque motor Breggs & Stratton 10 cv.....	24
Figura 7 – Disco móvel e disco fixo.....	26
Figura 8 – Disco móvel. ....	29
Figura 9 – Disco fixo. ....	30
Figura 10 – Mancal de rolamentos.....	30
Figura 11 – Eixo e chavetas.....	31
Figura 12 – Tampa da carcaça .....	31
Figura 13 – Corpo externo da carcaça.....	32
Figura 14 – Parte interna do dinamômetro montado .....	32
Figura 15 – Bancada equipada com dinamômetro, e seus componentes. ....	34
Figura 16 – Curva de torque .....	36

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
2.1	PROJETO MINI BAJA SAE.....	12
2.2	MOMENTO DE FORÇA CONJUGADO NO EIXO .....	13
<b>2.2.1</b>	<b>TORQUE NOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....</b>	<b>14</b>
2.3	DINAMÔMETRO.....	15
<b>2.3.1</b>	<b>TIPOS DE DINAMÔMETRO .....</b>	<b>17</b>
2.3.1.1	DINAMÔMETROS HIDRÁULICOS.....	17
2.3.1.2	DINAMÔMETROS ELÉTRICOS.....	19
2.4	FLUIDO .....	20
<b>2.4.1</b>	<b>VISCOSIDADE .....</b>	<b>21</b>
2.5	CURVA DE TORQUE MOTOR BREGGS & STRATTON 10 CV .....	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	25
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....	26
3.3	MEMORIAL DE CÁLCULO.....	26
3.4	COMPONENTES PARA A FABRICAÇÃO DO DINAMÔMETRO.....	29
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>37</b>
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

## 1 INTRODUÇÃO

Competições podem ser consideradas verdadeiros laboratórios onde o desenvolvimento tecnológico acontece. Um desses exemplos é o Projeto Mini Baja SAE, no qual os acadêmicos são instigados a desenvolver projetos, aprimorá-los e colocá-los em prática. O motor utilizado nesses veículos de competição é o motor de combustão interna Briggs & Stratton 10 cv.

Os motores de combustão interna, de forma geral, não dispõem de um mecanismo interno capaz de mensurar o torque que o eixo-árvore fornece durante seu trabalho, o que impossibilita a análise do real funcionamento do motor. Esta situação, em casos de provas de competição, como as que envolvem o Projeto Mini Baja SAE, pode tornar o veículo pouco competitivo perante as demais equipes que utilizam o mesmo equipamento.

Desenvolver mecanismos de testes de baixo custo, para possibilitar verificações nesses motores e contribuir para elevar o nível de eficiência, torna-se fundamental, pois além de sua aplicação prática, coloca-se como uma importante ferramenta de pesquisa no ambiente acadêmico, abrindo possibilidades de estudos na área de combustíveis alternativos e a eficiência dos mesmos.

Até então, a FAHOR não disponibilizava de um dinamômetro capaz de mensurar o torque de um motor de combustão interna. Assim, os acadêmicos ficassem presos apenas aos dados da curva de potência estipulada pelo fabricante do motor, não permitindo a verificação prática.

Este trabalho justifica-se pela necessidade de projetar e executar um dinamômetro capaz de medir o torque fornecido no eixo do motor, nascendo do apreço de seus idealizadores pelo assunto, tendo em vista que ambos estiveram interessados em contribuir com o Projeto Mini Baja SAE. O dinamômetro possibilita à equipe Sinuelo da FAHOR competir com um motor que esteja desempenhando sua potência máxima permitida pelo regulamento da competição, podendo obter as curvas de potência o mais próximo possível das indicadas pelo fabricante do motor.

O estudo teve como objetivo geral desenvolver um dinamômetro capaz de medir o torque de um motor de combustão interna de baixa potência.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Identificar a melhor forma de desenvolver um dinamômetro com baixo custo de fabricação;

- Testar e calibrar o dinamômetro utilizando o motor Breggs & Stratton 10 CV.

Desta maneira se torna possível avaliar as características do motor utilizado pela equipe Sinuelo de Baja da Fabor, através da determinação da curva de torque real que o motor está desempenhando, pois o mesmo já foi utilizado em diversas competições e apresenta desgaste.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 PROJETO MINI BAJA SAE

O estudante de engenharia, através do Projeto Mini Baja SAE, pode desenvolver na prática os conhecimentos teóricos obtidos em sala de aula, participando de sua concepção e construção. Este Projeto foi instituído na Universidade da Carolina do Sul, Estados Unidos, onde a primeira competição ocorreu em 1976 (SAE BRASIL, 1994).

O Projeto é dividido em equipes de alunos que representam suas respectivas instituições de ensino. O objetivo das equipes é projetar e construir um protótipo Offroad, robusto; o veículo também deve ser seguro, facilmente transportável, de simples operação e manutenção. Deve ser capaz de vencer terrenos acidentados em diversas condições climáticas, sem apresentar danos. Anualmente ocorre uma competição nacional Baja SAE Brasil e outras de etapas regionais, denominadas Sul, Sudeste e Nordeste, através da avaliação comparativa dos projetos (SAE BRASIL, 1994).

Conforme Marques (2007), grandes montadoras enviam suas equipes de recursos humanos, durante as competições Baja SAE, para selecionar talentos, como ocorreu com a Ford em 2006 e a Peugeot em 2007, que demonstram grande interesse no perfil destes alunos. Muitos ex participantes da competição estão empregados no ramo automobilístico, alcançando posições de destaque, mesmo logo depois de formados.

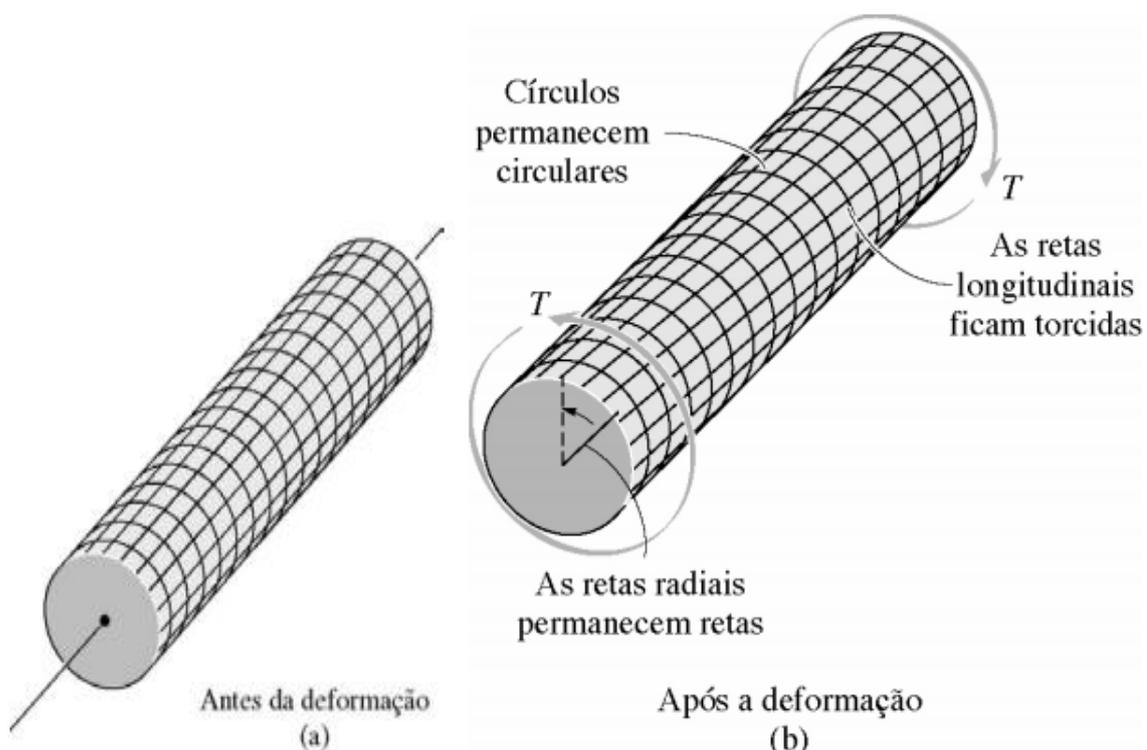
Marques (2007) menciona que há várias equipes que utilizam ferramentas de simulação computacional na fase de Projeto, o que contribui para a otimização dos carros e a redução do ciclo de desenvolvimento, o que vai ao encontro da tendência nas indústrias. Também ressalta que são vários os casos de profissionais que seguiram nesse ramo, sendo que há exemplos atuando em equipes de Rally, Formula 3, Stock Car e até na Formula 1.

## 2.2 MOMENTO DE FORÇA CONJUGADO NO EIXO

Rodrigues (2006) define torque como o momento que tende a torcer a peça em torno de seu próprio eixo longitudinal. Seu efeito é de interesse principalmente no dimensionamento de projetos de eixos de acionamento usados em veículos e maquinaria.

Pode-se ilustrar para melhor compreender o comportamento de eixos submetidos à ação de torque, considerando um eixo constituído de um material altamente deformável. Quando o torque é aplicado, os círculos e as retas longitudinais da malha original marcada no eixo tendem a se deformar de acordo com o padrão demonstrado na Figura 1. A torção faz os círculos permanecerem como círculos e cada reta longitudinal da malha deforma-se em hélice que intercepta os círculos em ângulos iguais. Além disso, as seções transversais do eixo permanecem planas e as retas radiais dessas seções permanecem retas durante a deformação (OLIVEIRA, 2013).

Figura 1 – Eixos antes e depois da deformação.



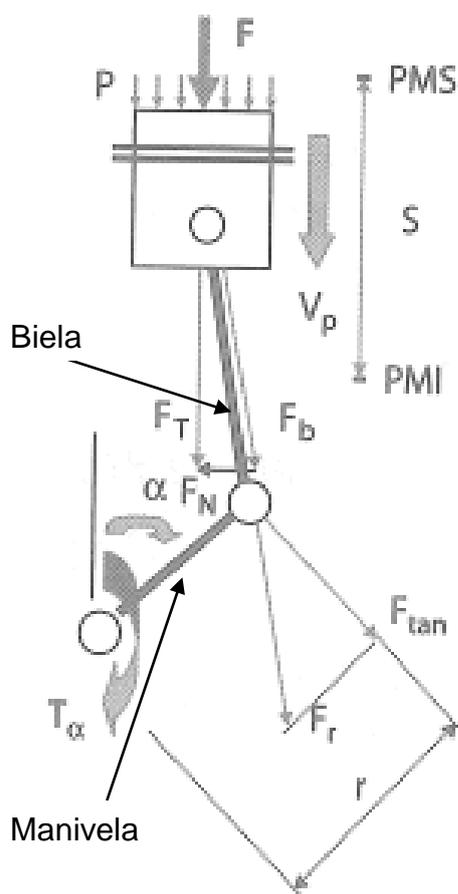
Fonte: Oliveira, 2013

### 2.2.1 Torque nos motores de combustão interna

Os motores alternativos se distinguem de uma turbina pela maneira como o fluido passa pelo motor. No motor alternativo, durante o ciclo, o fluido permanece sem movimento e se renova a cada ciclo, enquanto na turbina o fluido passa continuamente (GIACOSA 1970).

Brunetti (2012) demonstra de forma simplificada o sistema pistão-biela-manivela de um motor alternativo de combustão interna, como se pode observar na Figura 2. O mecanismo apresentado é responsável pela geração de um momento torsor em seu eixo de manivelas.

Figura 2 – Sistema pistão-biela-manivela.



Fonte: Brunetti, 2012.

Pode-se identificar, analisando a Figura 2, que a força  $F$  aplicada ao pistão é decomposta em força radial  $F_r$  e pela normal  $F_n$ , transmitidas à biela e destas à manivela, dando origem a um momento tangencial e, desta forma, gerando um

momento instantâneo no eixo do motor. A força  $F_r$  depende diretamente do ângulo da manivela, sendo, assim, a força tangente  $F_{tan}$  é variável. Apesar do braço  $r$  ser fixo, o momento no eixo do motor varia de acordo com a variação do ângulo  $\alpha$ , medido a partir da posição em que a biela e a manivela estão alinhadas, ponto morto superior PMS.

### 2.3 DINAMÔMETRO

O dinamômetro possui a característica de medir força e potência (trabalho realizado durante unidade de tempo), sendo esta força produzida por uma máquina ou não (THAL, 1917).

De acordo com Azevedo (2011), o dinamômetro é um equipamento de fundamental importância para a realização de testes necessários para o aperfeiçoamento de veículos Mini Baja SAE, construídos por estudantes universitários. O uso deste mecanismo visa à competição com um motor que desempenhe suas curvas de potência o mais próximo possível das curvas indicadas pelo fabricante.

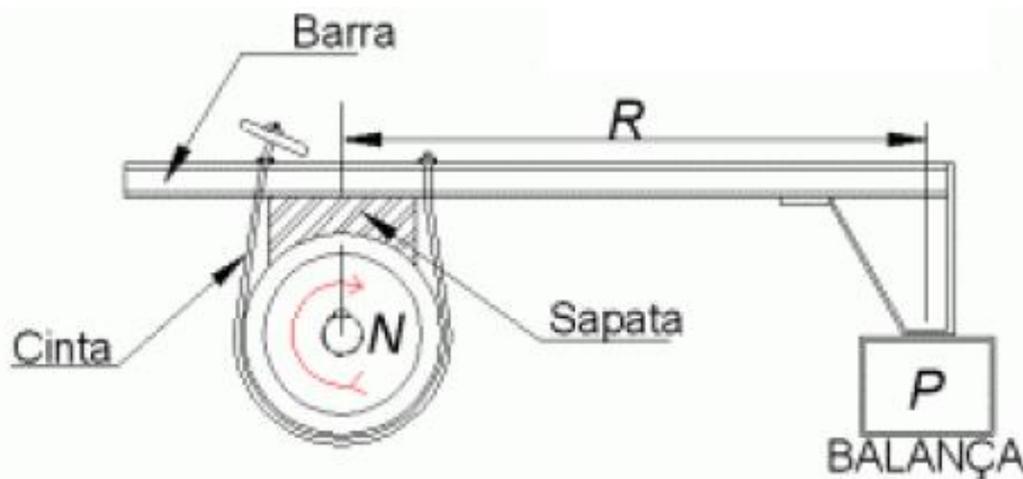
O engenheiro francês Gaspard Prony desenvolveu, em 1821, o elemento didático denominado freio de Prony, utilizado para facilitar a compreensão do funcionamento dos dinamômetros, que medem o torque de um motor. Apesar de demonstrar de forma clara o princípio de funcionamento de um dinamômetro, na prática, este modelo só pode ser empregado para avaliar mecanismos de baixa potência (BRUNETTI, 2012).

Segundo Pereira (1999), o freio de Prony é um dos mais antigos mecanismos utilizados para medir o torque de um motor. É constituído por um volante circular e por uma cinta conectada a um braço, e este, por sua vez, está ligado a uma balança, conforme ilustrado na Figura 3. O volante é acionado pelo motor, o movimento do volante é restringido pela pressão aplicada; a cinta transmite ao braço a força que o motor está exercendo, e esse braço associado à balança permite verificar a carga que o motor está exercendo na balança. Com este valor torna-se possível calcular o torque que o motor desempenha.

Com o equipamento demonstrado na Figura 3, sabendo-se que o conjunto resiste ao atrito formado pela pressão que a cinta exerce sobre o volante e é possível visualizar a grandeza desta força através da leitura da balança em que o

braço está apoiado. Este valor encontrado na leitura da balança, multiplicado pelo comprimento do braço de alavanca, demonstrado pela letra R, será o torque que o motor está exercendo em seu eixo (PEREIRA, 1999).

Figura 3 – Freio de Prony.



Rotação do motor = **N** (em rpm)

Comprimento do braço = **R** (em metro)

Leitura da Balança = **P** (em kg)

Fonte: Pereira, 1999

Giacosa (1970) define que o produto Leitura da Balança x Comprimento do Braço ( $P \times R$ ), representado na Figura 3, significa o momento de torção e representa a capacidade do motor de produzir trabalho, em que a potência é a medida da quantidade de trabalho realizado pelo motor durante um determinado intervalo de tempo.

A forma de calcular a potência de um motor, utilizando um dinamômetro, é apresentada e explicada por Pereira (1999). A equação (1) mostra a forma de se calcular a potência do motor em CV.

$$CV = \frac{2\pi PRN}{4500} \rightarrow CV = \frac{PRN}{716,2} \quad (1)$$

A constante 4500 é resultante da definição de CV em que a potência necessária para elevar a um metro de altura, durante o tempo de um segundo, uma

carga de 75 quilos, o que dá o seguinte cálculo:  $75 \times 60 = 4500$ . Neste caso, P é dado em kg, R em metros e N em revoluções por minuto (PEREIRA, 1999).

Para um dinamômetro em que o braço de alavanca ligado no freio possui valor constante, pode-se calcular de forma mais simples e rápida a potência que o motor está fornecendo. Cria-se uma constante que, quando multiplicada pela carga resultante na balança e pela rotação de trabalho, resultará no valor da potência do motor (BRUNETTI, 2012).

Entretanto Pereira (1999) menciona que o freio de Prony apresenta vários inconvenientes operacionais, dando destaque ao fato de manter a carga sobre o motor constante, independente da rotação do motor. Dessa forma, se o motor em teste diminuir a sua rotação por não suportar a carga a ele imposta, a rotação irá se reduzir gradativamente até o motor parar sua operação completamente. Conseqüentemente, esse tipo de freio tem sido substituído por outros, tomando como exemplo os dinamômetros hidráulicos, nos quais a carga aplicada varia proporcionalmente à rotação em que o motor opera.

### **2.3.1 Tipos de dinamômetro**

Brunetti (2012) cita que os dinamômetros de maior aplicação são os hidráulicos e os elétricos. O princípio de funcionamento desses freios é idêntico ao do freio de Prony. A grande diferença é a forma como se realiza a frenagem, tendo em vista que os hidráulicos normalmente utilizam o atrito de cisalhamento da água contra a carcaça, enquanto os elétricos utilizam a resistência ao movimento de um núcleo dentro do campo eletromagnético para realizarem a frenagem do motor em teste.

#### **2.3.1.1 Dinamômetros hidráulicos**

Brunetti (2012) descreve brevemente o funcionamento de um dinamômetro hidráulico, construído de uma carcaça metálica em dois mancais coaxiais com os mancais dos eixos. Desta maneira a carcaça fica livre para girar em torno de seu eixo, sendo equilibrada pelo braço que se apóia na balança ou célula de carga. Internamente, possui um rotor provido de conchas, em ambas as faces, ligado ao eixo do motor. Nas faces internas da carcaça há uma serie de conchas montadas

opostas às conchas do rotor. As conchas do rotor estão viradas para o sentido da rotação do motor.

O espaço interno entre a carcaça e o rotor é preenchido por água. Em funcionamento, essa água é empurrada contra as conchas da carcaça, tentando arrastá-la. Como a carcaça está presa ao braço da alavanca ligado à balança, a água entra em movimento turbulento, transformando a energia hidráulica em calor e em esforço torsor. Para remover o calor assim gerado, a água quente é drenada pela parte superior da carcaça e a água fria é repostada pela parte inferior. Na saída há uma válvula que controla o fluxo a fim de manter a água dentro da carcaça a uma temperatura adequada. Alguns fabricantes recomendam não ultrapassar a temperatura de 60°C (BRUNETTI, 2012).

Rao (1968) define o espaço interno preenchido com água como fluxo toroidal e compara o funcionamento do mecanismo com o de uma bomba centrífuga. Devido ao choque empregado na água durante a passagem do rotor, o torque gerado na água é transferido para a carcaça do dinamômetro e pode ser medido por diferentes tipos de dispositivos.

Pereira (1999) menciona algumas características importantes sobre o funcionamento do dinamômetro. Esse modelo varia a carga aplicada proporcionalmente à rotação em que o motor opera. Desta forma, se a rotação cair, a carga imposta ao motor pelo dinamômetro diminuirá, dando tempo para o operador reajustar a carga e corrigir a velocidade para um novo valor desejado.

A maior parcela da energia fornecida a esse tipo de freio é dissipada por choque e atrito. Desta forma a maior parte do trabalho fornecida pelo motor se converte em calor na água. Uma pequena parte da entrada de energia é consumida pelo atrito dos rolamentos e selos. Outra parte é dissipada por radiação do casco para o ambiente. Através do emprego da equação (2) é possível calcular o balanço de energia do sistema (RAO 1968).

$$\frac{BHP \times 75 \times 3600}{427} \text{ kcal/h} = Q_h + Q_m + Q_w + Q_r \quad (2)$$

Onde:

$BHP$  = potência do motor;

$Q_h$  = calor absorvido pela água;

$Q_m$  = perdas pelo calor gerado no atrito dos rolamentos e selos;

$Q_w$  = perda pelo atrito com o ar. Podendo chegar a zero quando estiver cheio de água;

$Q_r$  = perda por radiação de calor na carcaça.

$h$  = horas.

Cálculos experimentais demonstram que a soma das variáveis  $Q_m + Q_w + Q_r$  geralmente não chega a 2% da entrada de potência fornecida pelo motor, podendo ser negligenciadas essas perdas, simplificando a equação (2) e resultando na equação (3) (RAO 1968).

$$V = \frac{632}{\Delta T} \text{ BHP l/h} \quad (3)$$

Essa equação permite calcular a taxa de fluxo de água (V) em litros por hora (l/h), necessária para qualquer dinamômetro, independentemente do tipo, tamanho ou modelo a partir na variação de temperatura  $\Delta T$  da água na entrada e na saída do dinamômetro (RAO 1968).

### 2.3.1.2 Dinamômetros Elétricos

Brunetti (2012) também descreve na seqüência, de uma forma simples, o princípio de funcionamento e aplicação dos dinamômetros que utilizam correntes elétricas e campo magnético em seus mecanismos de freio:

**Dinamômetro de correntes parasitas** - Esse tipo de dinamômetro tem basicamente um rotor em forma de uma grande engrenagem, feita de material de grande permeabilidade magnética. O mesmo material é utilizado na confecção dos dois anéis solidários como o extrator e separado por um pequeno espaço livre do rotor. No centro do extrator há uma bobina que é alimentada por corrente contínua. Quando esta é energizada gera-se um campo magnético que é concentrado nos “dentes do rotor” (BRUNETTI, 2012).

Quando o rotor se desloca, gera correntes parasitas nos anéis, aos quais provoca aquecimento. O calor gerado é absorvido pelo extrator e removido deste através de um fluido refrigerante (normalmente se utiliza água). Este modelo é

largamente usado para avaliar motores que possuem elevada rotação e potência. Quando se faz necessário, associam-se, em série, vários rotores sobre o mesmo eixo. Este modelo de dinamômetro é relativamente simples. A forma de regular é pelo ajuste da intensidade da corrente elétrica que passa pela bobina, (BRUNETTI, 2012).

Esse modelo de freios com correntes parasitas permite:

- Fazer testes cíclicos e rápidos;
- Utilizar no desenvolvimento de motores e seus componentes;
- Fazer teste como baixo custo de operação.

**Dinamômetro misto ou de corrente alternada** – O dinamômetro misto é o mais sensível. Pode ser utilizado como gerador ou como motor, dependendo dos testes que se pretende realizar. Esses dinamômetros, quando estão operando como freio, acabam gerando energia elétrica que pode ser utilizada em algum outro equipamento ou pode ser descarregada à rede de energia por meio de uma banca de tiristores (BRUNETTI, 2012).

## 2.4 FLUIDO

É importante falar aqui um pouco sobre fluidos, porque no dinamômetro a ser construído deverá ser usada a água como fluido para provocar a tensão de cisalhamento para a frenagem.

Conforme Brunetti (2008), a definição de fluido é dada pela comparação com uma substância sólida, ou seja, é uma substância que não tem uma forma própria, assumindo o formato do recipiente. Fluidos são líquidos e gases, distinguindo-se pelo fato de os gases ocuparem todo o recipiente e os líquidos apresentarem superfície livre.

O mesmo autor ainda ressalta que a definição anterior é muito simples, sendo necessário aprimorar o conhecimento sobre fluidos, conforme uma experiência onde comprova que “os pontos de um fluido, em contato com uma superfície sólida, aderem aos pontos dela, com os quais estão em contato” (BRUNETTI, 2008, p.2). Essa experiência evidencia a diferença entre as substâncias, pois os sólidos se deformam limitadamente sob a ação de esforços tangenciais pequenos, enquanto os líquidos se deformam continuamente, sem alcançar uma posição de equilíbrio estático.

Pode-se então dizer que: Fluido é uma substância que se deforma continuamente, quando submetida a uma força tangencial constante qualquer ou, em outras palavras, fluido é uma substancia que, submetida a uma força tangencial constante, não atinge uma nova configuração de equilíbrio estático (BRUNETTI, 2008, p. 2).

Munson, Okiishi e Young (1997) ainda definem fluido como uma substância capaz de se deformar continuamente (escoar) quando submetida a qualquer valor de tensão de cisalhamento. Suas moléculas apresentam maior liberdade de movimento, por isso podem ser mais facilmente deformadas – porém não comprimidos – ou forçados a escoar em tubulações.

#### 2.4.1 Viscosidade

Segundo White (2011), viscosidade é a quantificação da resistência de um fluido ao escoamento e pode ser determinada através da aplicação de uma determinada tensão de cisalhamento sobre o mesmo.

Brunetti (2008) traz o conceito de tensão de cisalhamento ( $\tau$ ), como sendo o quociente entre o módulo da componente tangencial da força ( $Ft$ ) e a área ( $A$ ) sobre a qual está aplicada, ou de maneira simplificada, a força tangencial por unidade de área, conforme equação (4).

$$\tau = \frac{Ft}{A} \quad (4)$$

Brunetti (2008) afirma que a viscosidade dos fluidos é originada pela coesão e pelos choques entre as moléculas, ressaltando que a viscosidade não é uma propriedade observável em um fluido em repouso, pois, exercendo qualquer força tangencial sobre ele, se deformaria. No entanto, com o movimento do fluido, a viscosidade age e faz efeito, em condições de equilibrar a força externa.

De uma forma mais prática, Brunetti (2008) define que viscosidade é a propriedade que indica a maior ou a menor dificuldade do fluido escoar. Como exemplo da definição de viscosidade, pode-se apresentar uma situação simples, em que se percebe que, ao andar a pé em uma superfície seca, sofre-se uma resistência muito baixa do ar, e andar em um local com água corrente, até os joelhos, há maior dificuldade.

Isso ocorre em virtude de a água possuir uma viscosidade em torno de 50

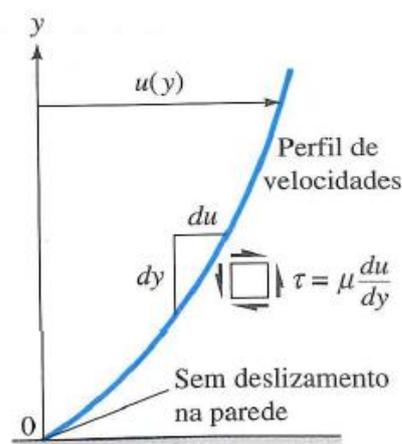
vezes maior que a do ar. Por sua vez o óleo SAE30 é 300 (trezentas) vezes mais viscoso que a água, sendo a glicerina cinco vezes mais viscosa que o referido óleo. Fluidos comuns, como água e ar, possuem relação linear de tensão de cisalhamento e taxa de deformação (WHITE,2011).

Brunetti (2008) define que fluidos newtonianos são os fluidos em que a tensão de cisalhamento  $\tau$  é proporcional ao gradiente de velocidade  $dv$ . Através dessa definição, traduz-se a lei de Newton da viscosidade, conforme equação (5), sendo a unidade mais utilizada  $\text{kg}/(\text{m}^2.\text{s})$ . Os fluidos aos quais pode ser aplicada essa fórmula são ditos fluidos newtonianos.

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (5)$$

Conforme a Figura 4, observa-se que a velocidade é zero em relação à parede, e à tensão de cisalhamento maior, sendo que a tensão de cisalhamento é proporcional à inclinação do perfil de velocidade. Essa é a condição de não escorregamento, sendo característica de todo escoamento de fluidos viscosos (WHITE, 2011).

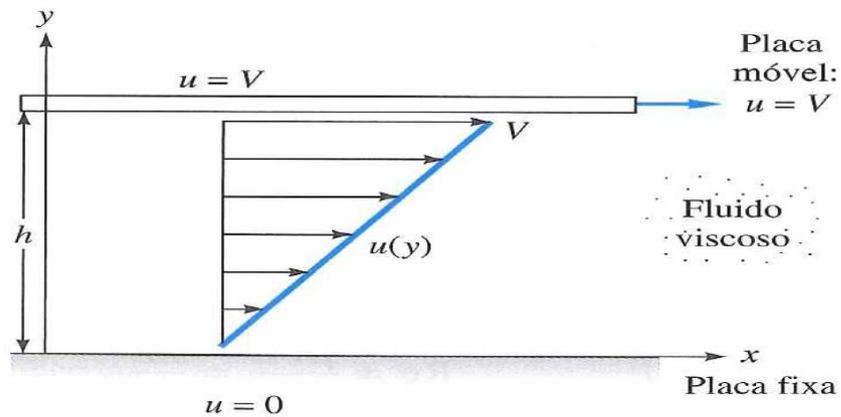
Figura 4 – Distribuição de velocidade junto à parede sólida.



Fonte: White, 2011

White (2011) afirma que a viscosidade de um fluido newtoniano varia em determinadas pressões e temperaturas. A temperatura tem maior influência na viscosidade do que a pressão. Em projetos de engenharia, habitua-se a desprezar a influência da variação da viscosidade em função da pressão.

Figura 5 – escoamento entre placas paralelas.



Fonte: White, 2011

Conforme White (2011), na Figura 5 é demonstrado o escoamento entre uma placa fixa e outra que se move em uma velocidade  $V$  uniforme, sendo que  $h$  é o espaçamento entre as placas. O fluido é newtoniano e não apresenta escorregamento com relação às placas. A aceleração do fluido é zero e, supondo-se que não haja variação da pressão na direção de escoamento, pode-se mostrar que um balanço de forças sobre um pequeno elemento de fluido resulta em tensão de cisalhamento constante através do fluido. A distribuição de velocidade é linear, conforme representado na Figura 5, e, com base na condição de não escorregamento nas paredes superior e inferior, podem ser calculadas as constantes  $a$  e  $b$ :

$$u = \begin{cases} 0 = a + b & \text{em } y = 0 \\ V = a + b & \text{em } y = h \end{cases}$$

Sendo assim,  $a = 0$  e  $b = \frac{V}{h}$ .

$$u = V \frac{y}{h} \quad (6)$$

Onde:

$v$  = velocidade;

$h$  = espaçamento entre as placas;

$y$  = localização de uma placa em relação à outra.

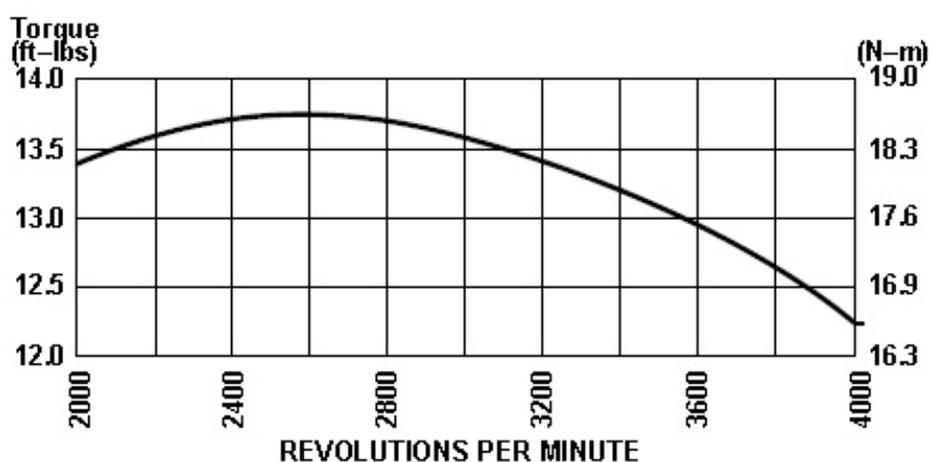
Portanto, o perfil de velocidade entre as placas é dado pela equação (6), em um escoamento viscoso induzido pelo movimento entre uma placa inferior fixa e uma placa superior (WHITE, 2011).

Ainda de acordo com o autor supracitado, a temperatura tem forte efeito sobre a viscosidade e a pressão um efeito moderado. Com a pressão, aumenta lentamente a viscosidade dos gases e da maioria dos líquidos, sendo que a água tem um comportamento anormal, apresentando uma diminuição lenta abaixo de 30°C.

## 2.5 CURVA DE TORQUE MOTOR BRIGGS & STRATTON 10 CV

De acordo com Sousa (2011), nas competições organizadas pela SAE BRASIL, é permitido através de seu regulamento, somente a utilização do motor Briggs & Stratton 10 cv. A Figura 6 demonstra como uma de suas características, a curva de torque que o motor desempenha durante seu trabalho.

Figura 6 – Curva de torque motor Briggs & Stratton 10 cv



Fonte: Briggs & Stratton *apud* Sousa, 2011.

Briggs & Stratton *apud* Sousa (2011), define as características do motor Briggs e Stratton 10 cv, como sendo estacionário, monocilíndrico de quatro tempos, de combustão interna e injeção de gasolina por carburação.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para construir o dinamômetro se divide em três etapas. Na primeira, foram buscadas informações em literatura; na segunda, foi esboçado um projeto e realizado o planejamento de execução do projeto; e na terceira etapa realizou-se a fabricação do dinamômetro, envolvendo testes e ajustes até se chegar ao equipamento idealizado.

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Esta pesquisa acadêmica bibliográfica e experimental traz embasamento teórico. Esse suporte definiu as principais linhas de conhecimento seguidas para encontrar as ferramentas adequadas ao desenvolvimento do dinamômetro proposto e seus devidos ajustes. Para isso foram desenvolvidos os seguintes procedimentos metodológicos:

a) Na primeira fase, fez-se o levantamento bibliográfico de livros, dissertações, artigos, normas, dentre outras literaturas, com o objetivo de estudar a produção literária acerca das propriedades e características gerais de um dinamômetro, bem como os diversos modelos e suas configurações. Dos tipos estudados, optou-se pelo dinamômetro hidráulico. Aplicando-se conhecimentos de diversas áreas da mecânica, tais como mecânica dos sólidos e mecânica dos fluidos, realizou-se o memorial dos cálculos.

Ainda nesta etapa, foi realizada uma visita técnica para conhecer outros equipamentos da mesma natureza.

b) O segundo passo foi a projeção em desenho com o software Solidworks 2013 das peças do dinamômetro. Depois, partiu-se para a busca de materiais.

c) Na terceira etapa ocorreu a fabricação do dinamômetro, utilizando os recursos de infraestrutura da FAHOR e a mão de obra dos próprios autores. Ao ser atingida essa etapa, efetuaram-se testes e calibrações com o motor Breggs & Stratton de 10 cv.

### 3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Utilizaram-se máquinas e ferramentas, algumas que a FAHOR disponibiliza em seus laboratórios e outras próprias, para desenvolvimento do dinamômetro, tais como:

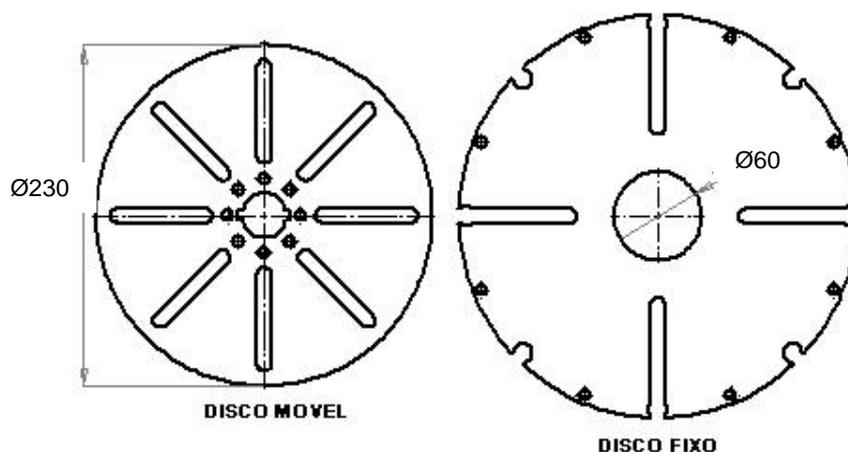
- Torno mecânico;
- furadeiras;
- máquina de solda MIG/MAG;
- corte plasma;
- fresadora;
- serra-fita;
- materiais de pintura (compressor de ar e pistola);
- software Solidworks 2013.

### 3.3 MEMORIAL DE CÁLCULO

São necessários uma série de cálculos para se obterem as medidas necessárias para fazer os ajustes corretos a fim de que o dinamômetro funcione adequadamente.

Para compreender melhor os cálculos, a Figura 7 ilustra o disco móvel e o disco fixo. Sabendo a área total do disco móvel, menos a área do orifício do disco fixo, pode-se calcular a área total de trabalho, sendo que a área de trabalho é onde ocorre o cisalhamento do fluido.

Figura 7 – Disco móvel e disco fixo



Através da equação (7), calculou-se a área total do disco móvel.

$$\begin{aligned} A_{total} &= r^2 \cdot \pi & (7) \\ A_{total} &= (0,115)^2 \cdot \pi \\ A_{total} &= 0,0415 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Levando em consideração que os discos fixos possuem um orifício central onde passa o eixo, descontou-se essa área. Através da equação (8), obteve-se a área do orifício.

$$\begin{aligned} A_{orificio} &= r^2 \cdot \pi & (8) \\ A_{orificio} &= (0,03)^2 \cdot \pi \\ A_{orificio} &= 0,0028 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

A equação (9) apresenta a área do disco, descontada a área do orifício. Esse valor demonstra a área da face de trabalho do disco.

$$\begin{aligned} A_{disco} &= A_{total} - A_{orificio} & (9) \\ A_{disco} &= 0,0415 \text{ m}^2 - 0,0028 \text{ m}^2 \\ A_{disco} &= 0,0387 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

O dinamômetro é composto por três discos, cada um com duas faces de contato com o fluido, considerando-se o total de seis faces de contato. Por esse motivo, o valor total do torque do motor em estudo foi dividido por seis. Para o cálculo da tensão de cisalhamento, utilizou-se a equação (4).

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{Ft}{A} & (4) \\ \tau &= \frac{75N}{0,0387 \text{ m}^2} \\ \tau &= 322,8298 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Na equação (10), o cálculo da velocidade tangencial dos discos.

$$V = 2.\pi.r.f \quad (10)$$

$$V = 2.\pi.0,115.66,6667$$

$$V = 48,171 \text{ m/s}$$

Por fim, de posse dos dados anteriores, aplicando a equação (5), encontra-se a viscosidade necessária para realizar a frenagem de um torque de 30N a 4000 RPM, sabendo que o espaçamento entre os discos é 0,001 m, e que o motor em estudo possui 20N de torque máximo a 2700 RPM, como demonstra o manual do fabricante.

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (5)$$

$$322,8298 \text{ N/m}^2 = \mu \frac{48,17}{0,001}$$

$$\mu = 0,00067 \text{ N.s/m}^2$$

O quadro 1, encontrado em White (2011), mostra a viscosidade da água em relação à temperatura em que a mesma se encontra. Desta forma, a viscosidade da água atende à viscosidade necessária para frear um motor de até 15CV.

Quadro1 – Viscosidade da água

T, °C	$\mu$ , N.s/m <sup>2</sup>
0	1,788 E <sup>-3</sup>
10	1,307 E <sup>-3</sup>
20	1,003 E <sup>-3</sup>
30	0,799 E <sup>-3</sup>
40	0,657 E <sup>-3</sup>
50	0,548 E <sup>-3</sup>
60	0,467 E <sup>-3</sup>
70	0,405 E <sup>-3</sup>
80	0,355 E <sup>-3</sup>
90	0,316 E <sup>-3</sup>
100	0,283 E <sup>-3</sup>

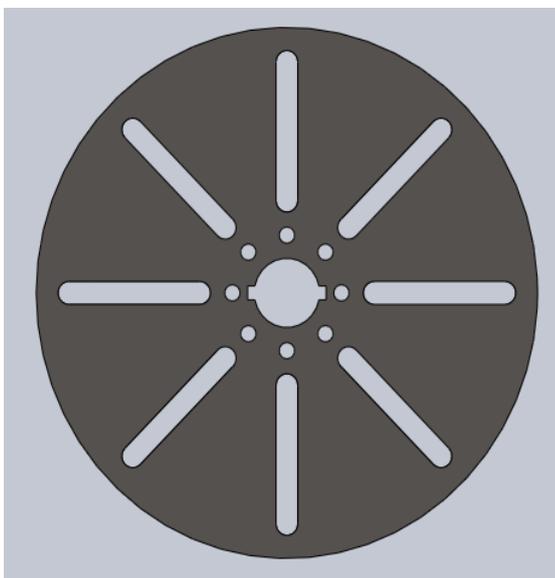
Fonte: Adaptado de White,2011

### 3.4 COMPONENTES PARA A FABRICAÇÃO DO DINAMÔMETRO

**Rolamento** – Para a fabricação do dinamômetro deverá ser utilizado o rolamento NSK 6006, com diâmetro interno de 30 mm e o externo de 55 mm com blindagem do tipo 2NK (duas vedações de borracha com contato), para evitar a contaminação do lubrificante com o meio.

**Discos móveis** – Estes discos serão ligados ao eixo. Devem ser construídos em aço carbono (SAE 1020), com uma espessura de 7,94 mm, diâmetro externo de 230 mm, diâmetro interno de 30 mm. Terão oito furos próximos ao centro, espaçados igualmente, com diâmetro de 7 mm. Os mesmos servirão para passar os parafusos que limitam a distancia entre os discos. Os discos deverão ter oito rasgos oblongos, espaçados igualmente em 45° uns dos outros. Esses rasgos são necessários para aumentar a circulação de água entre os discos. Além disso deverão ter dois rasgos de chaveta para realizar uma ligação entre o eixo e o disco. Podemos observar melhor todos os detalhes descritos, no projeto da peça, conforme Figura 8.

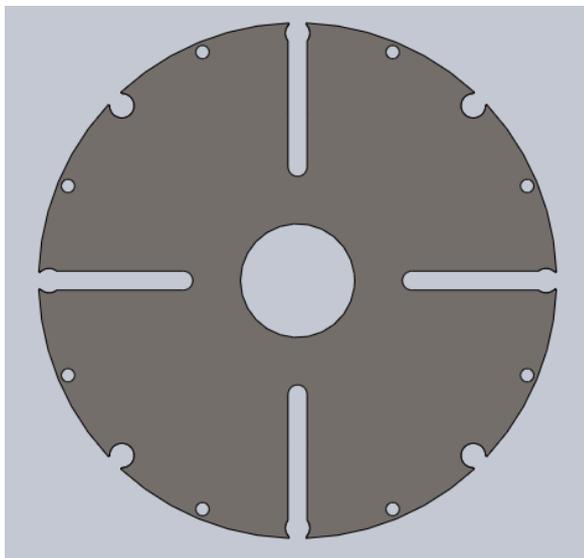
Figura 8 – Disco móvel.



**Discos fixos**– Estes discos serão ligados à carcaça. Construídos em aço carbono (SAE 1020), com espessura de 9.52 mm, diâmetro externo de 250 mm, diâmetro interno de 60mm, por onde passarão o eixo e os separadores dos discos moveis. Com quatro rasgos oblongos, que se alongarão até a extremidade dos

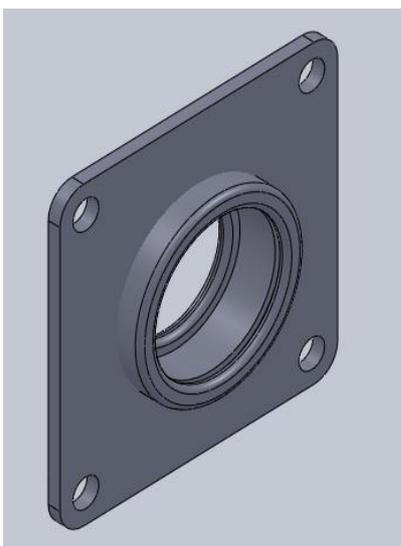
discos, espaçados igualmente em 90° uns dos outros, como é possível observar na Figura 9.

Figura 9 – Disco fixo.



**Mancal de rolamentos** – Construído em aço (SAE 1020), através de uma flange e um tubo usinado, com um encaixe interno para rolamento padrão NSK 6006, conforme Figura 10.

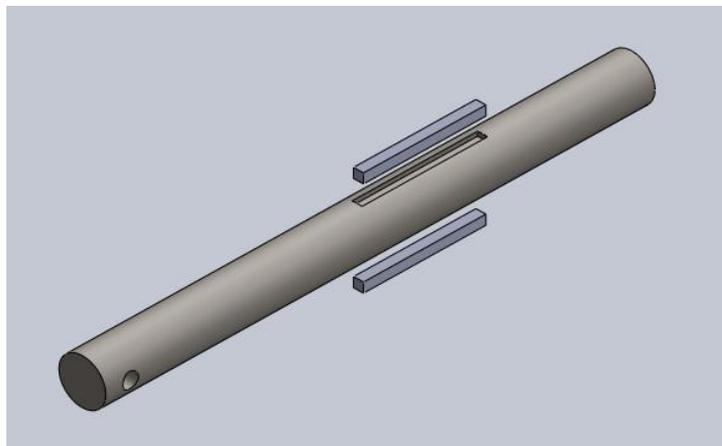
Figura 10 – Mancal de rolamentos.



**Eixo e chaveta** – O eixo será fabricado em aço carbono (SAE 1020), com diâmetro de 30mm e comprimento de 350 mm. Possuirá um furo e dois rasgos de chaveta. As chavetas, construídas em aço carbono (SAE 1045 trefilado), pois

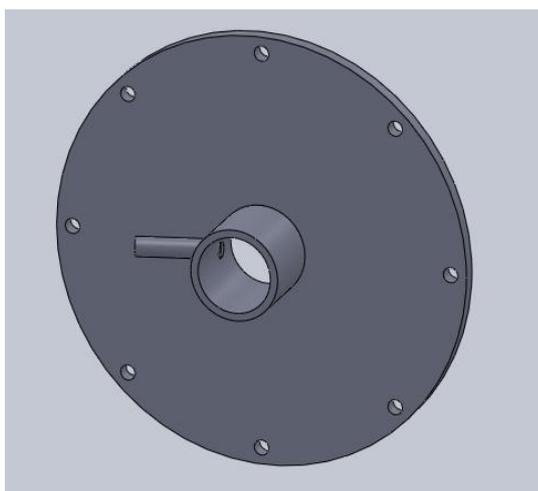
apresenta maior dureza, a fim de suportar os esforços que lhe serão impostos durante o seu trabalho. Estão ilustrados na Figura 11.

Figura 11 – Eixo e chavetas



**Tampa da carcaça** – Será composta por três peças de aço carbono SAE 1020, tendo uma delas o formato de um disco com diâmetro externo de 283 mm, diâmetro interno de 55 mm e espessura de 9,52 mm. Outra, similar a um tubo, com encaixe interno para o rolamento NSK 6006. A terceira, um tubo de diâmetro 12,7 mm por onde é efetuada a entrada da água junto ao centro da carcaça. As peças serão unidas através de um cordão de solda como ilustrado na Figura 12.

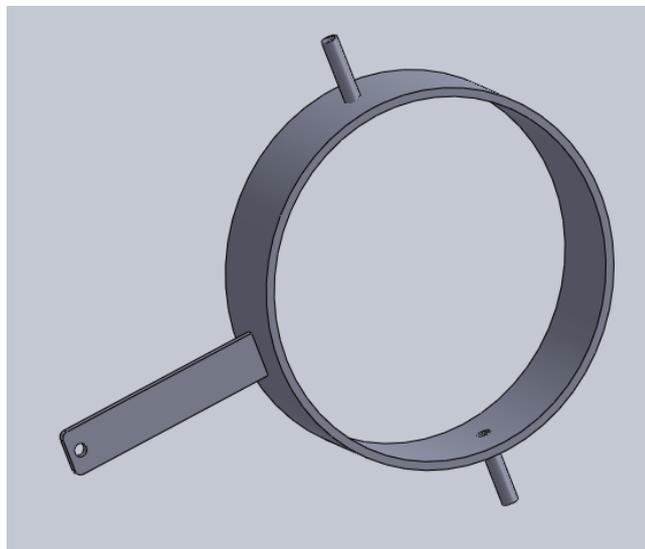
Figura 12 – Tampa da carcaça



**Corpo externo da carcaça** – Formado por três peças de aço carbono 1020. Uma delas possuirá 283 mm de diâmetro e espessura de 9,52 mm. Em sua circunferência terá um braço soldado com 158,5 mm de comprimento e dois tubos

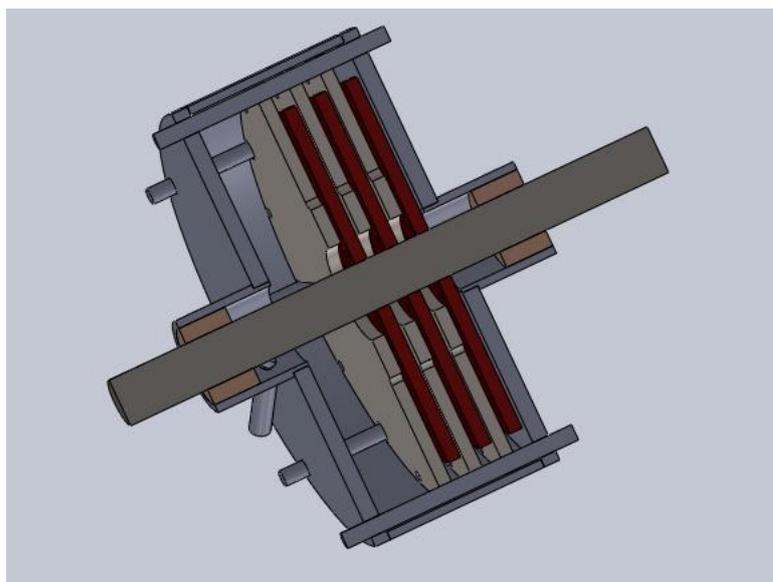
por onde sairá a água durante o trabalho. Do centro do eixo até o final deste braço, há 300mm de distância. Este conjunto é ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Corpo externo da carcaça



**Montagem dos componentes** - A Figura 14 ilustra a parte interna do dinamômetro com as peças montadas, onde estão representados em vermelho os discos moveis, que estão ligados ao eixo.

Figura 14 – Parte interna do dinamômetro montado



#### 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da proposta metodológica e do memorial de cálculos, procedeu-se a fabricação do dinamômetro. O resultado final deste trabalho é a construção do equipamento, com a meticulosa fabricação das peças, realizada nos laboratórios da FAHOR e a sua constante testagem.

Conforme é possível verificar na Figura 15, a partir de fotos dos componentes individualizados e também já montados, o resultado obtido está em pleno acordo com os princípios metodológicos e os cálculos iniciais.

Na Figura 15 a) é possível observar o dinamômetro montado na bancada, acoplado ao motor Briggs & Stratton 10 cv, como resultado final do projeto.

Nas Figuras 15 b) e c) observa-se o detalhe da ligação do braço do dinamômetro a uma balança com mola, na qual foi possível realizar a leitura da força que o motor exerceu durante os testes.

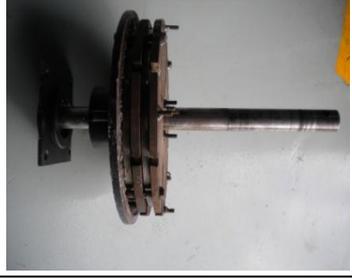
Em d) vê-se o acoplamento entre o eixo árvore do motor e o eixo do dinamômetro, através de uma cruzeta.

Em f) visualiza-se o dinamômetro montado com todos seus componentes, sem a sua bancada e não acoplado ao motor.

Na seqüência, aparecem as peças individualizadas, conforme é possível ver na própria legenda das fotos de g) a m), onde apresenta-se os detalhes: em g) o duto de entrada de água; em h) o braço de alavanca que liga-se a balança e os dutos de saída de água; em l) os furos oblongos nos discos móveis; em m) os rasgos nos discos fixos.

Foram realizados furos oblongos nos discos móveis e rasgos nos discos fixos para melhorar a circulação da água entre os discos, desta forma garantindo bom desempenho do dinamômetro.

Figura 15 – Bancada equipada com dinamômetro, e seus componentes.

		
a) Dinamômetro e motor	b) Dinamômetro na bancada	c) Balança de medição
		
d) Cruzeta para acoplamento	e) Bancada	f) Dinamômetro completo
		
g) Tampa da carcaça	h) Corpo externo da carcaça	i) Parte interna dinamômetro
		
j) Eixo, tampa da carcaça, mancal e chavetas	l) Disco móvel com furos oblongos	m) Disco fixo com rasgos oblongos passantes

Para garantir o perfeito funcionamento do dinamômetro, foram efetuados testes de torque, no motor Breggs e Stratton 10 cv disponibilizado pela equipe de Baja Sinuelo, da FAHOR.

Durante os testes, obteve-se através da leitura na balança, a carga que o motor estava exercendo em cada rotação de trabalho. Sabendo que o dinamômetro possui um braço de alavanca que mede 0,30 m, multiplicou-se a carga encontrada pela leitura na balança pelo valor dessa medida do braço de alavanca. Obteve-se o valor do torque para cada rotação, sendo transformado o resultado obtido em kg.m, para N.m e, desta forma, comparar o gráfico da Figura 16 com o da Figura 6, fornecido pelo fabricante do motor.

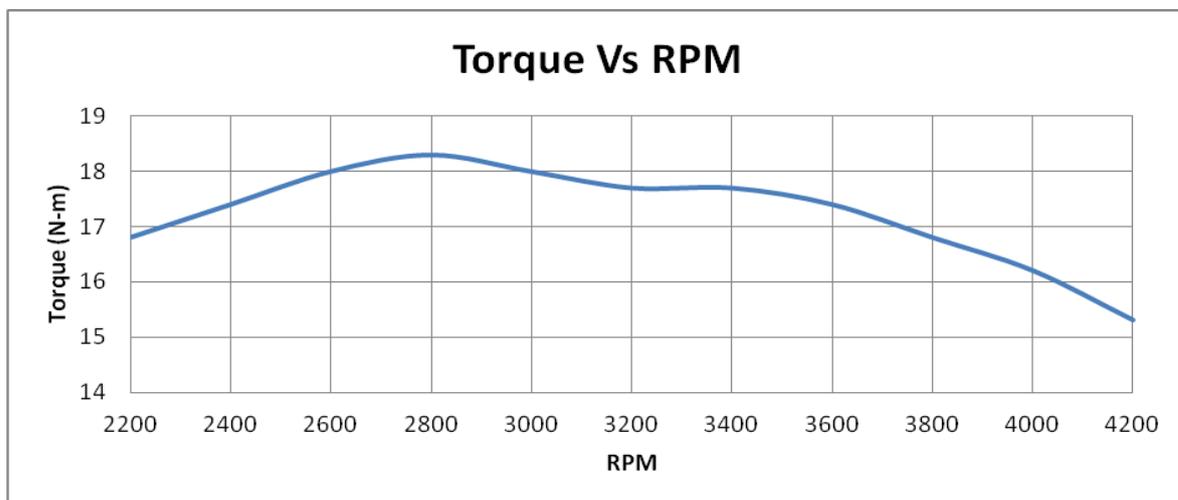
Os resultados desses testes estão descritos, como pode-se observar no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultados dos testes de torque

RPM	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média dos testes	Resultado do Torque
4200	5,2 kg	5,0 kg	5,1 kg	5,1 kg	15,3 N m
4000	5,3 kg	5,4 kg	5,5 kg	5,4 kg	16,2 N m
3800	5,7 kg	5,5 kg	5,5 kg	5,6 kg	16,8 N m
3600	5,7 kg	5,8 kg	5,9 kg	5,8 kg	17,4 N m
3400	5,9 kg	5,9 kg	5,8 kg	5,9 kg	17,7 N m
3200	5,9 kg	5,9 kg	6,0 kg	5,9 kg	17,7 N m
3000	5,9 kg	6,0 kg	6,1 kg	6,0 kg	18,0 N m
2800	6,2 kg	6,1 kg	6,0 kg	6,1 kg	18,3 N m
2600	6,0 kg	5,9 kg	6,0 kg	6,0 kg	18,0 N m
2400	5,8 kg	5,8 kg	5,9 kg	5,8 kg	17,4 N m
2200	5,7 kg	5,6 kg	5,6 kg	5,6 kg	16,8 N m

Para uma melhor validação dos resultados, foram realizados três testes. Efetuou-se a média dos mesmos e calculou-se o torque, resultando no gráfico da Figura 16, que indica a relação torque por rotação de trabalho.

Figura 16 – Curva de torque



As curvas de torque resultantes da medição no motor Breggs e Stratton 10 cv chegaram muito próximo às curvas especificadas pelo fabricante, somente não chegaram ao mesmo índice proposto pelo fabricante por pequenos fatores decorrentes do desgaste do motor em teste.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Construído o dinamômetro, após a revisão bibliográfica e o projeto metodológico, bem como a previsão de cálculos, amplos testes foram realizados. Através dos testes e calibrações percebeu-se o perfeito funcionamento do dinamômetro, pois os resultados dos testes no motor Breggs e Stratton 10 cv foram equivalentes às especificações publicadas pelo fabricante.

O projeto e a construção do dinamômetro lograram êxito, tendo ocorridos apenas pequenos reparos durante os testes.

Resultou um dinamômetro fabricado com baixo custo, pois envolveu a mão de obra somente dos autores deste trabalho, não necessitando nenhum tipo de terceirização, e que poderá se tornar um equipamento disponível para o mercado, igualmente com custo reduzido, ou para os próprios laboratórios da instituição.

Sua operação é simples, de baixo custo, necessitando apenas de água para seu funcionamento. Sendo assim, pode-se considerar os resultados dentro do padrão esperado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, Cassius Kleins. **Projeto e Construção de um dinamômetro de baixo custo para o Projeto Baja SAE – UFRGS**. Disponível em: <[http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/47035/Poster\\_12315.pdf?sequenc e=2](http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/47035/Poster_12315.pdf?sequenc e=2)>. Acesso em 11 de abril de 2013.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna**: Vol. 1. São Paulo. Blucher, 2012.

\_\_\_\_\_. **Mecânica dos fluidos**: 2 ed. ver. – São Paulo. Pearson Pertice et all, 2008.

GARCIA, Amauri. SANTOS, Carlos A. SPIM, Jaime A. **Ensaio dos Materiais**. Rio de Janeiro. Ltc – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2000.

GIACOSA, Dante. **Motores endotermicos**: motores de encendido por chispa: de carburacion y de inyeccion; motores de encendido por compresion diesel, lentos y veloces; motores rotativos - turbinas de gas: teoria, construccion, pruebas. 3. ed. Barcelona: HOEPLI, 1970.

MARQUES, Rafael G. Fassina. Os caminhos que o baja abre. (2007). Disponível em <<https://www.saebrasil.org.br/imprensa/artigos/exibe.asp?codigo=29>> Acesso em 06 de abril de 2013.

MUNSON, Bruce R. YOUNG, Donald F. OKIISHI, Theodore H. **Fundamentos da mecânica dos fluidos**. Volume 1. Editora Edgard Blücher Ltda. 1997.

OLIVEIRA, S.L. **Torção**. Faculdade Pio Décimo. Disponível em: <[http://linux.alfamaweb.com.br/sgw/downloads/38\\_104254\\_Torca-otasdeaula.pdf](http://linux.alfamaweb.com.br/sgw/downloads/38_104254_Torca-otasdeaula.pdf)>. Acesso em: 16 de abril de 2013.

PEREIRA, José C. **Dinamômetros Hidráulicos**. (1999) Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/dinos.html>>. Acesso em 11 de abril de 2013.

RAO, Narayan. N. N. **The Basic Theory of Hydraulic Dynamometers and Retarders**.(1968) SAE Technical Paper 680178,.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Resistência dos Materiais**. Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. 2006. Disponível em: <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/res/aula6.pdf>>. Acesso em 30 de março de 2013.

SAE BRASIL. **O que é o Baja?** (1994). Disponível em: <<http://www.saebrasil.org.br/eventos/ProgramasEstudantis/site/>>. Acesso em: 27 de Março de 2013.

SOUSA, H. E. A. de. **Projeto de uma caixa de redução fixa pra veículo mini baja do IFPB**. Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial – IFPB, João Pessoa, 2011.

THAL, S. W. **Development of a Hydraulic Dynamometer**. Illinois Institute of Technology, 1917, p.1-10.

WHITE, Frank M. **Mecânica dos fluidos**. 6. ed. Porto Alegre, AMGH, 2011.