



Gabriel Turra

**DESENVOLVIMENTO DE UM DINAMÔMETRO
PARA A BANCADA DIDÁTICA DO TIPO TURBINA PELTON**

**Horizontina
2014**

Gabriel Turra

**DESENVOLVIMENTO DE UM DINAMÔMETRO
PARA A BANCADA DIDÁTICA DO TIPO TURBINA PELTON**

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: Richard Thomas Lermen, Dr.

Horizontina

2014

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Desenvolvimento de um Dinamômetro
Para a Bancada Didática do Tipo Turbina Pelton”**

Elaborada por:

Gabriel Turra

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

**Aprovado em: 18/11/2014
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Prof. Dr. Ademar Michels
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Prof. Me. Anderson Dal Molin
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Horizontalina
2014**

Dedico este trabalho a minha família e a
Mateus Dallago Tietz (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Aos amigos pela ajuda prestada, aos meus pais, Ivanor e Lenir, e a minha amada Thamires, pelo apoio moral e por permitir a minha ausência em determinados momentos, aos professores Ademar Michels, Anderson Dal Molin, Valmir Beck e Vilmar Silva pelo apoio, amizade e pelos conhecimentos repassados, em especial ao professor Richard Lermen pela amizade, orientação e pelos conhecimentos repassados, e principalmente a Deus o Mestre que nos rege.

“... Até aqui nos ajudou o SENHOR.”

(1 Samuel 7:12)

RESUMO

Existem vários modelos de dinamômetros, embora todos utilizem o mesmo conceito para o seu funcionamento, neste trabalho optou-se por se utilizar os apenas dinamômetros de fricção. O trabalho tem por objetivo a construção de um dinamômetro em uma bancada didática, sendo que na mesma há uma turbina do tipo Pelton, sendo possível a partir desta construção, a realização da medição de potência para a mesma. A partir da construção do dinamômetro foi possível a realização das medições do torque e da potência deste equipamento. Inicialmente utilizou-se um freio de Prony para a realização dos testes na turbina Pelton, posteriormente foi utilizado um dinamômetro com um freio de motocicleta. No freio de Prony realizaram-se os testes utilizando a pressão exercida pelo fluxo d'água, a rotação do eixo da turbina e o valor de força apresentado pelo dinamômetro; com esses valores, encontraram-se os resultados de potência. Para o desenvolvimento do dinamômetro com o freio de motocicleta foram construídos suportes para a fixação dos componentes, os resultados de potência e torque foram medidos realizando variações de vazão no fluxo d'água da turbina Pelton, na rotação do eixo da turbina e na pressão exercida pelas pastilhas do freio de motocicleta no disco. Com a utilização dos dois dinamômetros foi possível encontrar os valores de torque e de potência, o maior valor de potência encontrado para o freio de Prony foi de 196,22 W, enquanto que no freio de motocicleta o maior valor de potência encontrado foi de 1287 W. O motivo desta ocorrência deve-se ao fato de que houve modificações na tubulação do equipamento, e supostamente, na vazão e na pressão do jato d'água. Pode-se concluir que o dinamômetro com o freio de motocicleta alcançou os objetivos esperados, pois comparando-se os resultados alcançados com o freio de motocicleta e com a potência calculada a partir da tubulação da bancada, os valores de potência foram coincidentes, possibilitando afirmar que os mesmos estão corretos.

Palavras-chave: Dinamômetro. Freio de Motocicleta. Potência.

ABSTRACT

There are several models of dynamometers, although everyone uses the same concept for its operation, for the development of this work, it was used dynamometers friction. Such work has as subject the construction of the dynamometer in a learning workbench with a Pelton turbine, making it possible to perform power measurement for it. From the construction of the dynamometer was possible to perform measurements of the torque and power of this machine. Initially we used a Prony brake for the tests on the bench Pelton, later a dynamometer was used with a motorcycle brake. In Prony brake tests were performed using the pressure of the water flow, the rotation of the turbine shaft and the torque value shown by the dynamometer; with these values, the results were found for power. For the development of the dynamometer with motorcycle brake brackets for fixing the components were developed, the results of power and torque were measured by performing flow variations in water flow turbine Pelton, the rotation of the turbine shaft and the pressure exerted the brake pads motorcycle on disk. With the use of the two dynamometers were unable to find the values of torque and power, the highest power value found for the Prony brake was 196,22 W, while in the largest motorcycle brake power output of 1287 W was found. the reason for this occurrence is due to the fact that there were changes in the pipe, the flow and pressure of water didactic bench Pelton. It can be concluded that the dynamometer with motorcycle brake achieve the expected goals because comparing the results achieved with the brake and the power calculated from the pipe bench, power values remained.

Keywords: Dynamometer. Motorcycle brake. Power.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Classificação dos Dinamômetros | 14 |
| Figura 2: Dinamômetro de Prony..... | 15 |
| Figura 3: Típica Instalação de um Dinamômetro de Correntes Parasitas | 16 |
| Figura 4: Dinamômetro de Inércia | 17 |
| Figura 5: Manômetro de Burton | 18 |
| Figura 6: Bancada Didática Pelton | 19 |
| Figura 7: Freio de Prony Utilizado para as Medições de Torque e Potência | 24 |
| Figura 8: Dinamômetro de Prony Acoplado no Eixo da Turbina | 25 |
| Figura 9: Componentes do Dinamômetro com Freio de Motocicleta: (a) disco, (b) conjunto pinça e pastilhas, (c) manete, (d) conjunto montado | 26 |
| Figura 10: Dinamômetro com Freio de Motocicleta Montado | 27 |
| Figura 11: Potência efetiva em função da rotação para uma pressão de 68,95 kPa (linha azul), e de 103,42 kPa (linha vermelha) no bico injetor | 28 |
| Figura 12: Potência efetiva em função da rotação para uma pressão de 137,9 kPa (linha azul), e de 172,37 kPa (linha vermelha) no bico injetor | 29 |
| Figura 13: Potência efetiva em função da rotação para uma pressão de 206,84 kPa (linha azul), e de 275,79 kPa (linha vermelha) no bico injetor | 30 |
| Figura 14: (a) Relação de Vazão e Pressão, (b) Relação de Tensão e Rotação .. | 32 |
| Figura 15: Potência efetiva em função da rotação para uma Vazão de 6,5 m ³ /h (linha azul), e de 7,5 m ³ /h (linha vermelha) | 33 |
| Figura 16: Potência efetiva em função da rotação para uma Vazão de 9 m ³ /h (linha azul), e de 10 m ³ /h (linha vermelha) | 34 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1. JUSTIFICATIVA..... | 12 |
| 1.2. OBJETIVOS..... | 12 |
| 2. REVISÃO DA LITERATURA..... | 13 |
| 2.1. DINAMÔMETRO..... | 13 |
| 2.1.1. DINAMÔMETRO DE FRICÇÃO..... | 14 |
| 2.1.2. DINAMÔMETROS HIDRÁULICOS..... | 15 |
| 2.1.3. DINAMÔMETROS ELÉTRICOS..... | 16 |
| 2.1.4. DINAMÔMETRO DE INÉRCIA E DINAMÔMETROS DE CHASSI..... | 18 |
| 2.2. VARIÁVEIS DA ROTAÇÃO..... | 20 |
| 2.3. SISTEMAS DE FREIO A DISCO . | 21 |
| 2.3.1. DISCO | 21 |
| 2.3.2. PINÇA DE FREIO | 22 |
| 2.3.3. PASTILHA DE FREIO | 22 |
| 2.4. MANÔMETROS..... | 24 |
| 2.4.1. MANÔMETRO DE BOURDON..... | 24 |
| 2.5. BANCADA PELTON..... | 25 |
| 3. METODOLOGIA..... | 27 |
| 3.1. FREIO DE PRONY..... | 27 |
| 3.2. DINAMÔMETRO COM FREIO DE MOTOCICLETA..... | 29 |
| 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 32 |
| 4.1. RESULTADOS DO DINAMÔMETRO DE PRONY..... | 32 |
| 4.2. RESULTADOS DO DINAMÔMETRO COMO FREIO DE MOTOCICLETA... .. | 34 |
| 4.3. RESULTADOS DO RENDIMENTO DA TURBINA..... | 37 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 38 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 39 |

1. INTRODUÇÃO

Os dinamômetros são equipamentos desenvolvidas com o intuito de medir as forças atuantes em determinados equipamentos, tais como: motores, caixas de engrenagens, eixos finais de veículos (observando o rendimento final), molas de compressão e de tração. Após a medição das forças atuantes no equipamento, é possível avaliá-lo de uma forma mais completa, baseando-se nos valores obtidos.

Há basicamente dois tipos de dinamômetros, os lineares e os rotativos. Os lineares são utilizados para medições de forças atuantes sobre algo que possui movimento linear ou sem movimento algum, ou seja, que há apenas a força gravitacional atuando no mesmo. Já os rotativos, por sua vez, são utilizados para equipamentos que possuem movimento de rotação.

Com a evolução tecnológica foi possível desenvolver novos modelos de dinamômetros, modelos com leituras eletrônicas e mais precisas do que as leituras mecânicas, como por exemplo, os dinamômetros elétricos e os dinamômetros de inércia, porém o custo de fabricação de um dinamômetro desse tipo é encarecido, justamente por sua parte elétrica envolvida.

Os dinamômetros são compostos de várias partes, sendo que, é comumente encontrado nos dinamômetros rotativos (que foi o objeto de estudo para o presente trabalho), uma parte girante e um elemento de leitura do torque. Em alguns casos utiliza-se uma alavanca para a transmissão do movimento de rotação para o equipamento de leitura (dinamômetro de Prony), em outros utiliza-se corrente elétrica para a realização da leitura do elemento girante (dinamômetros elétricos) e ainda há modelos que utilizam sistemas hidráulicos para esta frenagem (dinamômetros hidráulicos).

Com tudo, foi desenvolvido um dinamômetro utilizando o sistema de um freio de motocicleta, o mesmo foi utilizado para a retirada dos dados de torque e potência de uma bancada didática com uma turbina do modelo Pelton.

1.1. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento do dinamômetro teve por finalidade realizar as medições de torque e potência da turbina Pelton, possibilitando assim, a verificação da capacidade de carga (rendimento) do equipamento em questão.

A importância da medição do torque, da potência e do rendimento da turbina, deve-se a necessidade do redimensionamento do gerador elétrico acoplado à turbina. Também sendo possível avaliar pequenas avarias no sistema de tubulação ou até mesmo na bomba d'água.

O dinamômetro também tem a finalidade de trazer melhorias para a bancada Pelton, sendo que, a partir dessas melhorias, a instituição poderá utilizar a bancada didática para outros fins, tais como: publicidade, para atrair mais acadêmicos para a instituição e para a utilização em outras matérias, para um melhor aprendizado nas mesmas.

1.2. OBJETIVOS

Desenvolver um dinamômetro, utilizando um freio de motocicleta, para ser acoplado a uma bancada didática com uma turbina do tipo Pelton, tornando possível a determinação da curva característica.

- Elaborar os desenhos, em três dimensões, do freio de motocicleta para ser utilizado como dinamômetro.
- Desenvolver um sistema de dinamômetro compatível com as demais partes da bancada Pelton;
- Calibrar o sistema para que este apresente os valores corretos na medição de torque e potência.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 DINAMÔMETRO

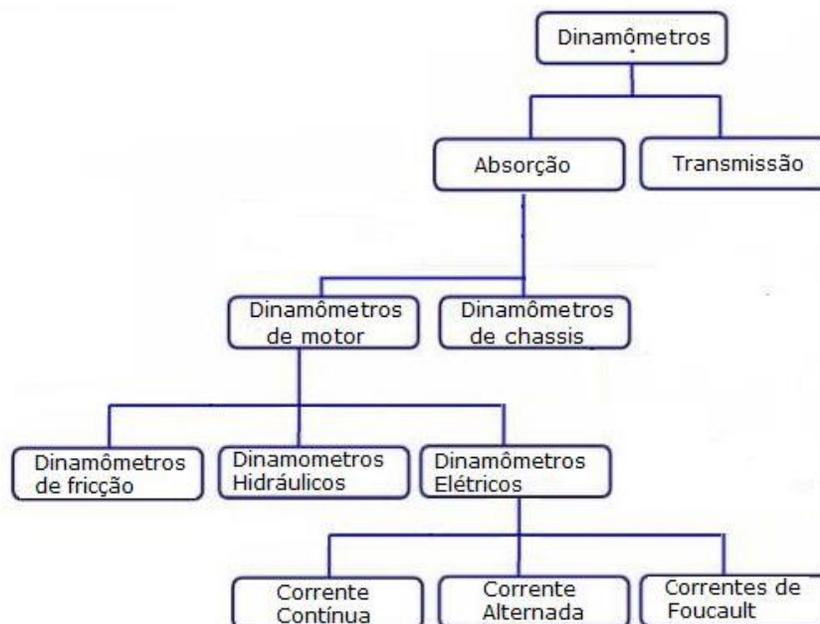
No estudo experimental da turbina Pelton, buscou-se conhecer as características de desempenho para posterior aplicação de forma a torná-lo mais eficiente, além de fornecer informações relevantes sobre suas condições de funcionamento, podendo gerar curvas que irão caracterizá-la individualmente (BRUNETTI, 2012).

Para medir o torque numa dada rotação é necessário impor ao eixo um momento externo resistente de mesmo valor que o produzido pelo motor. Caso contrário, a rotação irá variar, aumentando ou diminuindo na medida em que o momento torçor resistente aplicado torna-se menor ou maior que o produzido pelo eixo (BRUNETTI, 2012).

Esse efeito pode ser obtido com o uso de um freio popularmente denominado freio dinamométrico ou simplesmente dinamômetro (BRUNETTI, 2012).

Os dinamômetros podem ser classificados de acordo com o fluxograma da Figura 1, na qual se observam diversos modelos de dinamômetros. Sendo assim, estes têm a sua finalidade baseada nos mesmos princípios uns dos outros, ou seja, de realizar a medição de torque e potência. Porém o modo de funcionalidade é o que os difere, como por exemplo, os dinamômetros de fricção, os hidráulicos e os elétricos, funcionam de modos diferentes, pois todos estes são dinamômetros que podem ser utilizados em motores, ou até mesmo em equipamentos que possuem o eixo principal em um local de fácil acesso ao dinamômetro. Já para a medição do torque e da potência de um veículo terrestre, utiliza-se um dinamômetro de chassi ou de inércia, sendo possível realizar as medições a partir das rodas.

Figura 1 – Classificação dos Dinamômetros

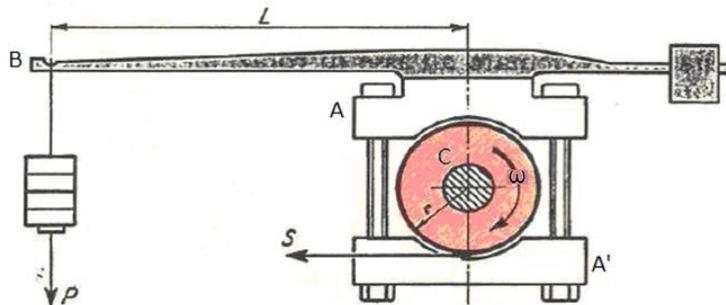


Fonte: VIANA, 2011

2.1.1 Dinamômetros de Fricção

O dispositivo mais antigo, utilizado até os dias de hoje, para medir a potência do motor é constituído de um volante circundado por uma cinta conectada a um braço, cuja extremidade se apóia sobre a plataforma de uma balança. O volante, acionado pelo motor, tem o seu movimento restringido pela pressão, aplicada à cinta, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre o dinamômetro. A partir das leituras do dinamômetro, calcula-se o esforço despedido pelo motor. Esse dispositivo é conhecido como Freio de Prony (Figura 2) (PEREIRA, 1999).

Figura 2 - Dinamômetro de Prony



Fonte: VIANA, 2011

O freio de Prony apresenta vários inconvenientes operacionais, destacando-se o fato de manter a carga constante independente da carga empregada. Então, se a rotação cai, em virtude do motor não suportá-la, a rotação irá diminuir até a parada total do mesmo (PEREIRA, 1999).

O braço e a balança, embora possam ser empregados nesse tipo de equipamento, foram substituídos por uma célula de carga. As células de carga, por sua vez, são constituídas por um cristal de quartzo, cujo efeito piezelétrico, resultante da compressão exercida pela extremidade do braço, é transformado em leitura para um instrumento. Em alguns casos, em vez de cristal de quartzo, utiliza-se uma câmara de pressão acoplada a um transdutor que executa a mesma função (PEREIRA, 1999).

2.1.2 Dinamômetros Hidráulicos

O dinamômetro hidráulico é constituído de uma carcaça metálica estanque apoiada em dois mancais coaxiais com os mancais do eixo. Isso permite que a carcaça fique livre para oscilar em torno de seu eixo, sendo equilibrada pelo braço que se apoia na balança ou célula de carga. Um rotor provido de uma série de conchas em ambas as faces laterais do mesmo está montado no seu eixo. Na face interna da carcaça há uma série de conchas iguais e montadas, em oposição às do rotor. As conchas do rotor estão viradas para o sentido de rotação e as da carcaça no sentido oposto (BRUNETTI, 2012).

O espaço interno deste freio é preenchido por água. Em funcionamento, o rotor impele água obliquamente, com componentes nas direções do eixo de rotação do rotor e do movimento radial da água da concha do rotor. A água entra na concha da carcaça tentando arrastá-la no sentido da rotação. Como a carcaça está presa, a água entra em violento movimento turbulento, transformando a energia hidráulica, principalmente em calor e em esforço torsor. É então, conduzida pelo formato da concha da carcaça de volta ao rotor na parte da concha mais próxima do eixo, e o ciclo se repete. Para remover o calor assim gerado, a água quente é drenada continuamente pela parte superior da carcaça e a água fria de reposição é introduzida através de pequenos orifícios nas conchas do estator. Na saída existe uma válvula de regulação de fluxo para manter o nível de água dentro da carcaça, e uma temperatura adequada desta, dentro do dinamômetro (BRUNETTI, 2012).

Os fluxos de água são conduzidos por mangueiras flexíveis para não introduzir em esforços adicionais e afetar o equilíbrio da carcaça oscilante (BRUNETTI, 2012).

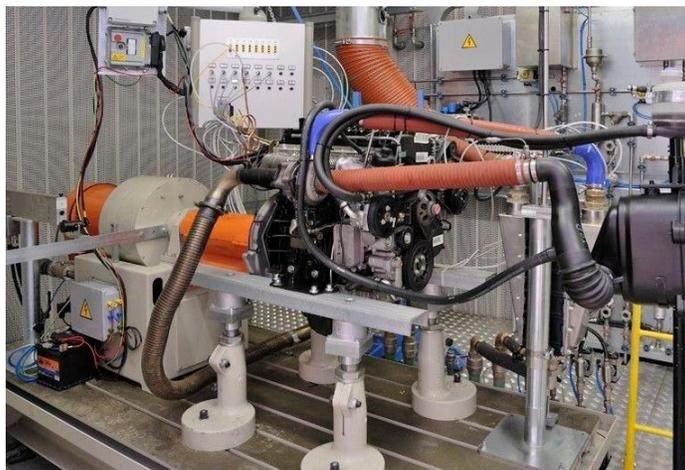
Nem toda a potência é absorvida em turbulência da água, uma parte é perdida nos retentores e rolamentos do eixo principal. Entretanto, como o sentido de ação dessas resistências é o mesmo, e a medição é feita por meio de uma balança ou célula de carga, sobre a qual atua o braço de alavanca, a precisão da medida não é comprometida (BRUNETTI, 2012).

2.1.3 Dinamômetros Elétricos

Os dinamômetros elétricos podem ser separados em três tipos: os de corrente parasita ou corrente de Foucault, os de corrente alternada ou misto, e ainda os de corrente contínua.

O dinamômetro de correntes parasitas ou de correntes de Foucault (Figura 3) tem o rotor em forma de uma grande engrenagem feita de material de alta permeabilidade magnética. No centro do estator existe uma bobina que é alimentada por corrente contínua (BRUNETTI, 2012).

Figura 3 – Típica Instalação de um Dinamômetro de Correntes Parasitas



Fonte: BURNETTI, 2012

Quando energizada, a bobina gera um campo magnético que é concentrado nos “dentes do rotor”. Quando o rotor se move, gera correntes parasitas nos anéis que, portanto, se aquecem (BRUNETTI, 2012).

O calor gerado é absorvido pelo estator e removido deste pela água utilizada como fluido de resfriamento. Esse dinamômetro é bastante simples e regulado pela intensidade de corrente que passa pela bobina. Isso permite a construção de dinamômetros de grande porte (BRUNETTI, 2012).

Os freios de correntes parasitas são máquinas que permitem:

- Realização de testes: cíclicos e rápidos.
- Utilização para o desenvolvimento de motores e componentes.
- Realização de testes com baixo custo de operação.

(BRUNETTI, 2012)

Há também os dinamômetros mistos ou de corrente alternada que podem funcionar como motor ou como gerador. O campo desse dinamômetro é de excitação independente e, portanto, variando a alimentação de campo e rotor, consegue-se ampla variação de velocidades e de potências absorvidas (BRUNETTI, 2012).

Essas máquinas, quando operando como freio (gerador), permitem que a energia elétrica gerada seja devolvida à rede por meio de uma bancada de tiristores (BRUNETTI, 2012).

E ainda há os dinamômetros de corrente contínua, que possuem o mesmo princípio de funcionamento do dinamômetro corrente alternada. Funcionando tanto como gerador ou como motor e tem a função de frear ou acionar a máquina, por outro lado, é muito volumoso e tem um custo muito alto, por isso estão sendo substituídos por sistemas de corrente alternada (HAICAL, 2009).

2.1.4 Dinamômetros de Inércia e Dinamômetros de Chassi

Os dinamômetros de inércia (Figura 4) consistem de massas inerciais, comumente cilindros com inércia conhecida, que são submetidas à força motriz do motor ou veículo ensaiado. O motor pode estar diretamente acoplado ao dinamômetro através do seu volante ou o veículo pode ser montado com suas rodas motrizes postas diretamente sobre os cilindros de inércia. Neste caso, são também determinadas a inércia do sistema de transmissão e a inércia das rodas (MARTINS, 2006 apud GESTEIRA, 2014).

Figura 4 - Dinamômetro de Inércia.



Fonte: VIANA, 2011

Os dinamômetros de inércia são utilizados em motores ou veículos que podem desenvolver rápidas acelerações. São vantajosos por serem fáceis de usar, por não necessitarem de controle e resfriamento adicional. Proporcionam curvas de torque e potência mecânica em poucos segundos (MARTINS, 2006 apud GESTEIRA, 2014).

Medindo-se a velocidade angular, uma vez conhecido o momento de inércia do conjunto, o torque pode ser calculado pelo produto do momento de inércia e da aceleração angular (primeira derivada da velocidade angular). A potência é obtida a partir do produto do torque pela velocidade angular (MUÑOZ et al., 2008 apud GESTEIRA, 2014).

Este tipo de dinamômetro não é capaz de medir potência mecânica em velocidade constante ou simular condições de rodagem. Outra limitação, que impede que os dados produzidos no dinamômetro sejam estendidos ao mundo real, reside no fato de que a inércia do veículo automotivo deve ser assumida como constante. Contudo, um veículo em campo tem inércia variável devido a sua aerodinâmica, resistência à rolagem e 21 partes girantes, mesmo sabendo que o peso total do veículo permanece constante (BETTES et al., 2008 apud GESTEIRA, 2014).

A diferença entre os dinamômetros de chassi e os dinamômetros de inércia é de que: os dinamômetros de chassi operam com freios dinamométricos são instrumentados para medir torque e velocidade de rotação do rolo, enquanto que, dinamômetros de inércia devem ser instrumentados para medir somente velocidade de rotação e não medem o torque, sendo a potência e o torque obtidos através da relação entre potência, torque e velocidade (BETTES et al., 2008 apud GESTEIRA, 2014).

Este equipamento serve para avaliar o desempenho dos veículos, porém, esta tarefa pode se tornar complexa quando se considera os mais variados fatores ambientais, como: a velocidade e a direção do vento, a temperatura, a subida e a descida de ladeiras, entre outros. A presença de cada um destes fatores representa diferentes desafios que podem ser superados com o uso de um dinamômetro de chassi, o qual é um dispositivo capaz de medir diretamente as forças que atuam nas rodas de um veículo automotivo. Além disso, alguns dinamômetros de chassi modernos

são controlados por computador, o que os torna capaz de simular a condução sob condições reais (WAGER et al., 2014 apud GESTEIRA, 2014).

Para que esse tipo de dinamômetro funcione, as rodas de acionamento do veículo devem ser posicionadas na parte superior de um rolo, que, durante o funcionamento, é utilizado para dissipar e medir a potência mecânica fornecida pelas rodas do veículo (BETTES et al., 2008 apud GESTEIRA, 2014). O rolo resiste à força das rodas graças a um freio dinamométrico (elétrico, hidráulico ou de fricção) ou dinamômetro de inércia (BETTES, 2010 apud GESTEIRA, 2014).

2.2 AS VARIÁVEIS DA ROTAÇÃO

Segundo WALKER et al(2012), as definições de corpo rígido e de eixo fixo para a rotação é: **corpo rígido** que gira com todas as partes ligadas entre si e sem mudar de forma, **eixo fixo** é um eixo que não muda de posição.

Para a realização das medições de força, e supostamente, de potência foi necessário a medição da pressão exercida pelo dispositivo de frenagem no disco, sendo assim, BRUNETTI (2008), afirma que, se a pressão for uniforme, sobre toda a área, ou se o interesse for à pressão média, então: (“p” em MPa, “F” em N e “A” em cm²) (Equação 1)

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Torque “ τ ” é o momento exercido por uma força “F” (N) a uma determinada distância “r” (m) do centro de rotação de um eixo. (Equação 2) (OLIVEIRA 2010)

$$\tau = F \cdot r \quad (2)$$

Potência “P” (W) é definida como o trabalho realizado, por unidade de tempo “t” (s). Tem-se então pela Equação 3:

$$P = \frac{\tau}{t} \quad (3)$$

2.3 SISTEMA DE FREIO A DISCO

O Sistema de freio a disco (elemento móvel) é composto de um disco, que pode ser sólido ou duplo (ventilado), solidário ao eixo, e de uma pinça de freio em forma de “U” (elemento fixo), solidária à estrutura. Essa pinça possui duas pastilhas (material de atrito), e o disco se movimenta entre elas com uma pequena folga. Quando for gerada a pressão no sistema, os êmbolos da pinça empurrarão as pastilhas contra o disco, comprimindo-o e reduzindo a sua velocidade (PRIETO, 2014).

Segundo PRIETO (2014) o freio a disco possui três versões: freio a disco com pinça fixa, freio a disco com pinça flutuante e freio a disco com pinça deslizante. Porém para o presente trabalho será abordado apenas o freio a disco com pinça flutuante.

2.3.1 Pinça Flutuante

A carcaça da pinça de freio é fixada e possui, além do corpo flutuante, apenas um pistão de freio. Ao acionar o dispositivo de acionamento do freio, a pressão gerada pelo mesmo atua, fazendo-o pressionar a pastilha de freio interna contra a superfície de atrito do disco de freio. Ao mesmo tempo a pressão atua na carcaça da pinça de freio e ela desloca a pinça flutuante sobre o suporte no sentido contrário ao movimento do pistão, pressionando a pastilha de freio externa contra a superfície de atrito do disco. O pistão é fechado por um anel de vedação e protegido de fuligem e água por uma capa de proteção. A força com que as pastilhas comprimem o disco depende da força aplicada ao dispositivo de acionamento do freio. Ao soltar o dispositivo de acionamento do freio, a pressão hidráulica deixa de existir, e o pistão é puxado para trás graças à deformação elástica do anel de vedação permitindo que o disco de freio gire livremente. Caso a folga entre as pastilhas e o disco seja maior que a especificada, o pistão desliza sobre o anel de vedação para reestabelecer a folga especificada (PRIETO, 2014).

Por conta da sua construção o ar externo consegue refrigerar melhor os componentes, e o fato de ser compacta faz essa pinça ser indicada para equipamentos com raio de rolagem negativo ou com espaços limitados (PRIETO, 2014).

2.3.2 Pastilhas de Freio

É constituída por uma placa metálica revestida em uma de suas faces pelo material de atrito que entrará em contato com as faces do disco de freio quando o sistema for acionado (PRIETO, 2014).

Normas internacionais estabelecem seis níveis de coeficiente de fricção que variam de 0,15 a 0,55 (PRIETO, 2014).

Algumas pastilhas possuem indicador de desgaste mecânico, que entra em contato com o disco de freio no momento da frenagem quando o material de atrito esta com uma espessura muito pequena, gerando ruído (PRIETO, 2014).

Outras possuem um sensor indicador de desgaste que, quando entra em contato com o disco de freio, pelo fato de a espessura do material de atrito ter atingido o limite especificado, faz acender um dispositivo luminoso (PRIETO, 2014).

2.3.3 Disco de Freio

É solidário ao eixo, portanto, é o elemento móvel. Pode ser sólido ou duplo ventilado, para uma redução de peso nesse componente já foram testados discos de freio fabricados com fibra de carbono. Discos de cerâmica, que possuem a metade do peso dos discos convencionais, trabalhando em conjunto com novas concepções de pastilhas de freio (PRIETO, 2014).

Segundo DIULGHEROGLO(2007), O disco de freio pode ser definido de maneira bem simples, como sendo “Um disco plano que propicia a superfície de atrito necessária para um freio a disco efetuar seu trabalho. Quando a pressão hidráulica é aplicada aos pistões do caliper, as pastilhas de freio são pressionadas contra ambos os lados do disco de freio ocasionando através desse par de contatos, a redução de sua rotação através do atrito, e conseqüente geração de calor”(DIULGHEROGLO, 2007).

Os discos de freios ou rotores possuem varias configurações construtivas e de acabamento, a começar pelo disco solido, o disco ventilado (aletado), o disco perfurado, o disco ranhurado, e finalmente uma combinação dos últimos três (DIULGHEROGLO, 2007).

Discos de freios perfurados equipam alguns freios de alto desempenho. Os primeiros discos com furos cruzados foram originalmente utilizados no ano de 1960 em carros de corrida da época. As pastilhas de freio em função das altas temperaturas geradas liberavam gases em sua superfície, e também, não raramente, deposição de material da pastilha sobre o disco (proveniente da resina utilizada). A superfície do disco ficava superaquecida por efeito desses gases, e a deposição de material prejudicava sensivelmente o desempenho do freio. Desta forma a geração de furos nos mesmos foi um recurso desenvolvido para que esses gases fossem dissipados, além de propiciar a limpeza e renovação da superfície de atrito do par de contatos (DIULGHEROGLO, 2007).

Hoje, as pastilhas de freios são fabricadas com materiais mais resistentes às altas temperaturas, com resinas mais termoestáveis, porem os discos furados continuam sendo utilizados igualmente para promover maior escoamento de água quando o veiculo trafega em condições de pista molhada, evitando assim que o filme de água formado entre a pastilha e o disco prejudique a frenagem. Entretanto, o motivo primário para a continuidade da utilização atual e propiciar maior dissipação térmica do rotor. Entretanto há quem alegue que os furos nos discos são na realidade grandes fontes de stress mecânico que ocasionam trincas profundas aos mesmos em condições muito severas de utilização (DIULGHEROGLO, 2007).

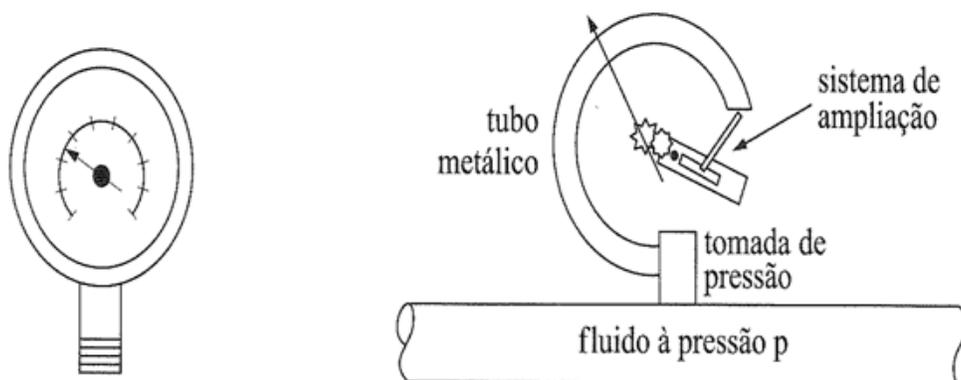
2.4 MANÔMETROS

Para o presente estudo foi abordado apenas o estudo do manômetro de Bourdon, pois este será utilizado no experimento com o freio de motocicleta, sendo assim, os manômetros de Coluna Piezométrica e Coluna em “U”, não foram relatados no presente trabalho.

2.4.1 Manômetro de Bourdon

Pressões ou depressões são comumente medidas pelo manômetro (Figura 5). Esse nome provém do fato de que a pressão é medida pela deformação do tubo metálico indicado na figura. Ao ligar o manômetro pela tomada de pressão, o tubo fica internamente submetido a uma pressão “ p ” que o deforma, havendo um deslocamento de sua extremidade que, ligada ao ponteiro por um sistema de alavancas, relacionará sua deformação com a pressão do reservatório (BRUNETTI, 2008).

Figura 5 – Manômetro de Burton



Fonte: BRUNETTI, 2008, p. 26.

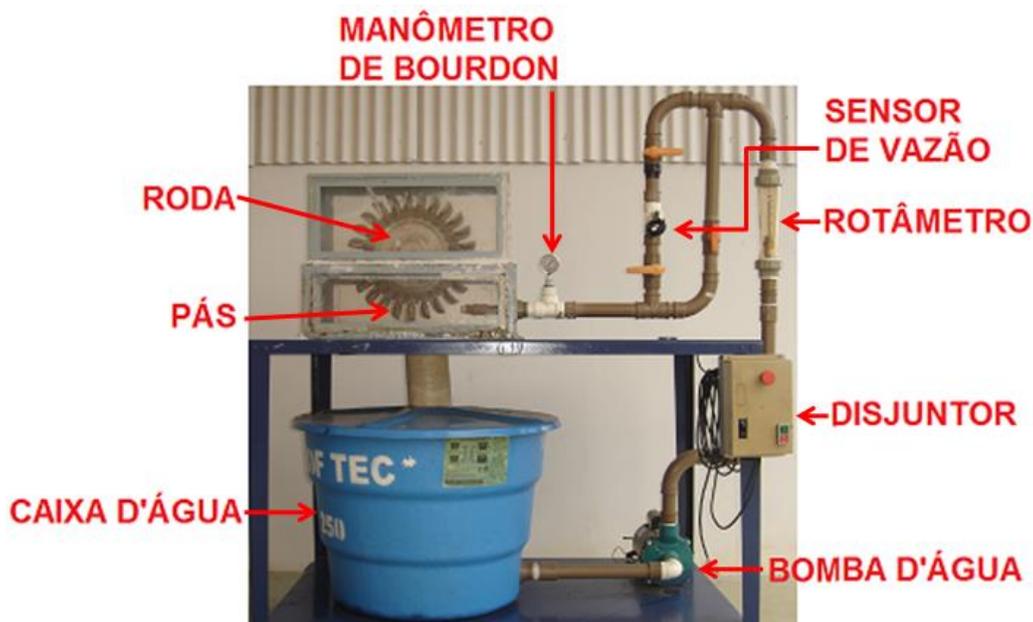
A leitura da pressão, na escala efetiva, será feita diretamente no mostrador, quando a parte externa do manômetro estiver exposta à pressão atmosférica.

Nesse caso a parte interna do tubo metálico está sujeita à pressão “ p_1 ”, e a externa, à “ p_2 ”. Dessa forma, o manômetro indicará não a pressão “ p_1 ”, mas a diferença “ p_1-p_2 ” (BRUNETTI, 2008).

2.5 BANCADA PELTON

A bancada didática Pelton (Figura 6) é constituída de uma bomba d’água de 2,2 kW de potência, que permanece afogada; de uma tubulação de 4 m, que vai da caixa d’água até o bico injetor da turbina, sendo que por essa tubulação há um rotâmetro para a medição da vazão e um manômetro para a medição da pressão exercida pela água; de um rotor Pelton com 25 pás e um diâmetro total de 436,39 mm; e de uma caixa d’água de 0,5 m³ para armazenagem da água utilizada. Também é importante salientar que a turbina esta dentro de um local específico para o seu funcionamento adequado.

Figura 6 – Bancada Didática Pelton



É possível analisar os dados calculados (Tabela 1) através da tubulação da bancada didática Pelton.

Tabela 1 – Dados da Bancada Didática Pelton

| Dados Variáveis | |
|-------------------------|---------|
| Potência da turbina | 1000 W |
| Altura da turbina | 20 m |
| Rotação do motor | 500 rpm |
| Coefficiente de pressão | 5 |
| Número de jatos | 1 |
| Rendimento | 90% |

Fonte: OST, KRAULICH, 2013

3. METODOLOGIA

Para a realização das medições de potência e torque na turbina Pelton foram utilizados dois tipos de dinamômetros, o dinamômetro de Prony e um dinamômetro desenvolvido a partir de um freio de motocicleta.

3.1 FREIO DE PRONY

As medições de torque realizadas a partir do dinamômetro de fricção foram executadas utilizando-se de um freio de Prony (Figura 7), de um dinamômetro para a obtenção do valor do torque atuante, e de um tacômetro para a verificação da rotação da turbina. A partir dessas informações, fornecidas pelo dinamômetro e pelo tacômetro, foi possível calcular a potência da turbina Pelton.

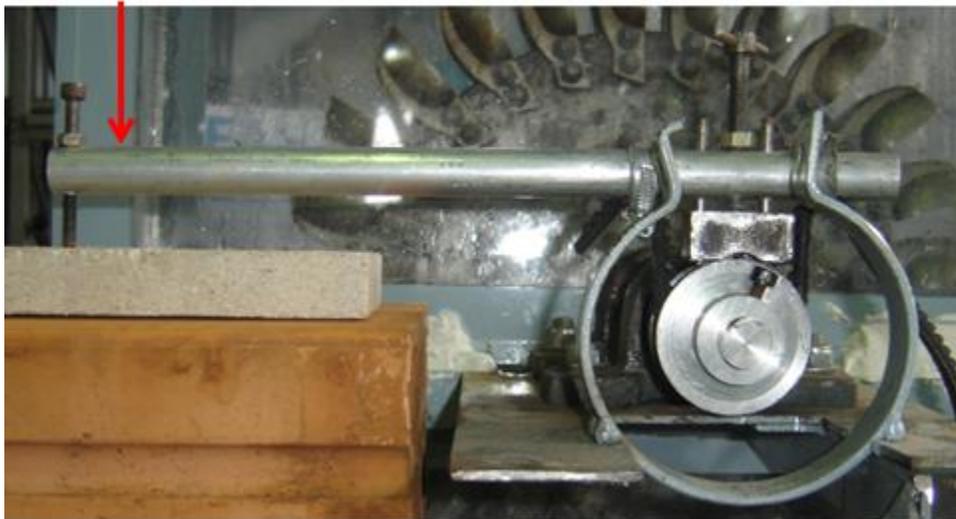
Figura 7 - Freio de Prony Utilizado para as Medições de Torque e Potência



O freio de Prony foi acoplado na extremidade do eixo da turbina, fazendo com que o seu braço de reação permanecesse ao lado (em uma posição radial) e este apoiado a superfície do dinamômetro (Figura 8).

Figura 8 – Dinamômetro de Prony Acoplado no Eixo da Turbina

BRAÇO DE REAÇÃO APOIADO NO DINAMÔMETRO



Com todos os equipamentos montados na turbina, iniciaram-se as medições de rotação e de torque. Os valores de pressão d'água mantiveram-se em uma variação uniforme, pois se abria a válvula da linha mantendo um valor fixo de pressão, permitindo, a retirada dos valores de torque e de rotação para a pressão atuante nas pás da turbina naquele momento. Posteriormente abria-se a válvula da linha d'água, aumentando a pressão encontrando-se novos valores de rotação e de torque. Para as medições realizadas com o freio de Prony, o diâmetro do bico injetor era de 10 mm.

O braço de reação do freio de Prony contava com uma distância de 0,265 m, do ponto de apoio até o centro do eixo da turbina.

Para a obtenção dos valores de torque foi utilizada a Equação 4. Sendo “ τ ” o torque (Nm), “ F ” a força (N) exercida no dinamômetro e “ x ” a distância (m) do braço de reação.

$$\tau = F \cdot x$$

(4)

Já para a obtenção da potência utilizou-se a Equação 5. Aonde que “Pot” é a potência (W), “ ω ” a velocidade angular (rad/s) e “ τ ” o torque (Nm).

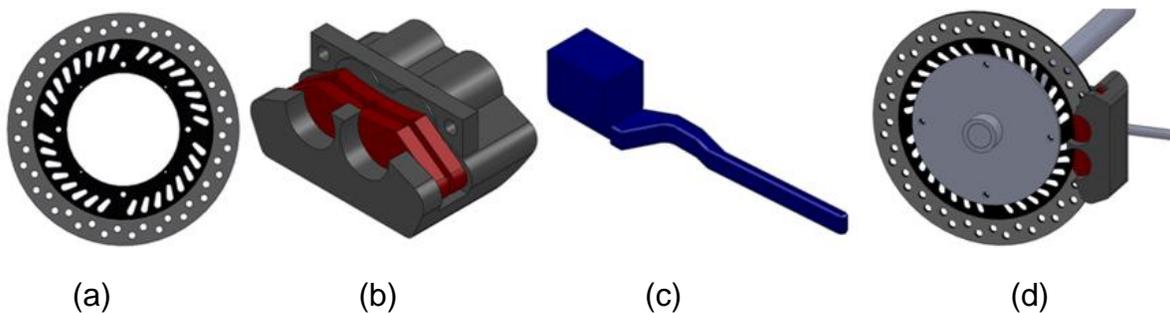
$$\text{Pot} = \omega \cdot \tau \quad (5)$$

3.2 DINAMÔMETRO COM FREIO DE MOTOCICLETA

O dinamômetro desenvolvido a partir do freio de motocicleta baseia-se em um dinamômetro de fricção, mas não como o freio de Prony, o qual utiliza um braço de reação para a realização das medições de torque. Já o dinamômetro com o freio de motocicleta utiliza um disco e um conjunto de pastilhas e pinças para a realização da frenagem do equipamento.

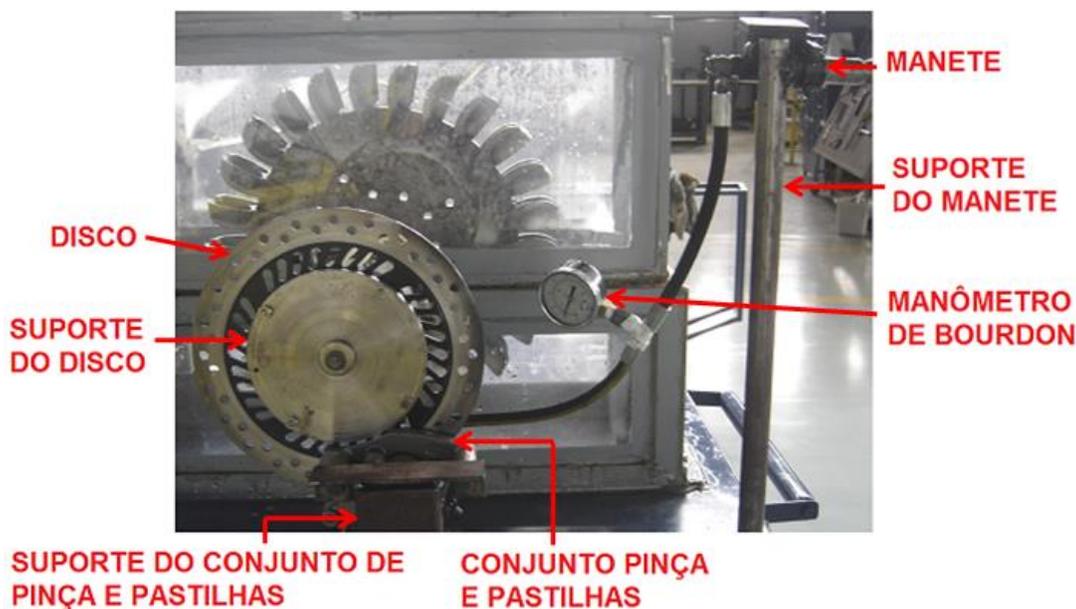
Por meio de um manete (Figura 9c) aciona-se a pinça (Figura 9b), mandando fluido de freio para os cilindros, que, por sua vez, fazem com que o conjunto de pastilhas vá de encontro um com o outro, fazendo com que o mesmo execute um movimento de frenagem sobre o disco (Figura 9a). Para o desenvolvimento virtual do dinamômetro com freio de motocicleta, utilizou-se o software de desenho Solidworks (Figura 9d), aonde foi possível analisar o comportamento de todo o conjunto e o modo com que se deveria montá-lo na bancada para um bom funcionamento.

Figura 9 - Componentes do Dinamômetro com Freio de Motocicleta: (a) disco, (b) conjunto pinça e pastilhas, (c) manete, (d) conjunto montado



O disco foi montado no eixo da turbina de modo radial e o conjunto de pastilhas e pinça junto deste. Para que o disco pudesse ser preso no eixo, a pinça e o manete no restante do equipamento, foram desenvolvido suportes para fixar os mesmo como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Dinamômetro com Freio de Motocicleta Montado



A partir da montagem dos componentes foi possível a realização da frenagem do conjunto no disco, a medição da pressão exercida pelas pastilhas foi feita por um manômetro de Bourdon localizado no canal que liga o manete e a pinça. A partir dos valores de pressão encontrados pela frenagem do disco foi possível obter resultados de torque e potência para a turbina.

Para a realização das medições com o freio de motocicleta foram feitos dois testes, nestes variou-se constantemente a vazão do fluxo d'água (com o auxílio de uma válvula instalada na linha d'água), utilizando este valor de vazão como o valor de referencia para a realização dos testes. Na realização desses dois testes o diâmetro do bico injetor era de 34 mm.

No primeiro teste realizado, além dos valores de vazão serem variados constantemente, manteve-se também os valores da pressão do freio variados constantemente, sendo possível a partir dos valores da vazão e da pressão exercida pelo freio encontrar os valores de rotação, que foram medidos através de um multímetro conectado ao dínamo da turbina, tendo-se assim valores de rotação em função da pressão.

No segundo teste com o freio de motocicleta, além dos valores de vazão variados constantemente também foi mantido os valores de rotação variados constantemente, com o objetivo de se encontrar valores de pressão em função da rotação.

Calibrou-se o dinamômetro com o freio de motocicleta baseando-se nos valores anteriormente encontrados, tais como na Tabela 1, utilizando-os para a formulação dos novos dados encontrados a partir do dinamômetro com freio de motocicleta.

Foi utilizado o valor de 0,1065 m para o valor do braço de alavanca no cálculo do torque, também utilizou-se uma área de 0,001452 m² para as pastilhas, utilizando, assim, da informação da pressão exercida pelo freio, para transformar esses valores na força exercida.

Para realizar o cálculo de torque e potência utilizou-se as Equações 4 e 5, já para o cálculo de rendimento foi utilizado a Equação 6, sendo “ η ” o rendimento (Adimensional), “Pot” a potência (W), “Q” a vazão (m³/s), “Y” a energia disponível (J/kg) e “ ρ ” a massa específica (kg/m³).

$$\eta = \frac{\text{Pot}}{Q \cdot \rho \cdot Y}$$

(6)

Tanto nos testes realizados com o freio de Prony, quando nos realizados com o freio de motocicleta, foi utilizado o software Excel para a plotagem gráfica.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

As aferições da turbina Pelton, utilizando o freio de Prony, foram feitas sem os sensores elétricos para a medição da vazão (Figura 6), apenas com o manômetro conectado na linha de fluxo d'água. Já para as medições realizadas com o freio de motocicleta, os sensores elétricos de vazão já estavam montados na tubulação da bancada didática, juntamente de um manômetro e de um rotâmetro.

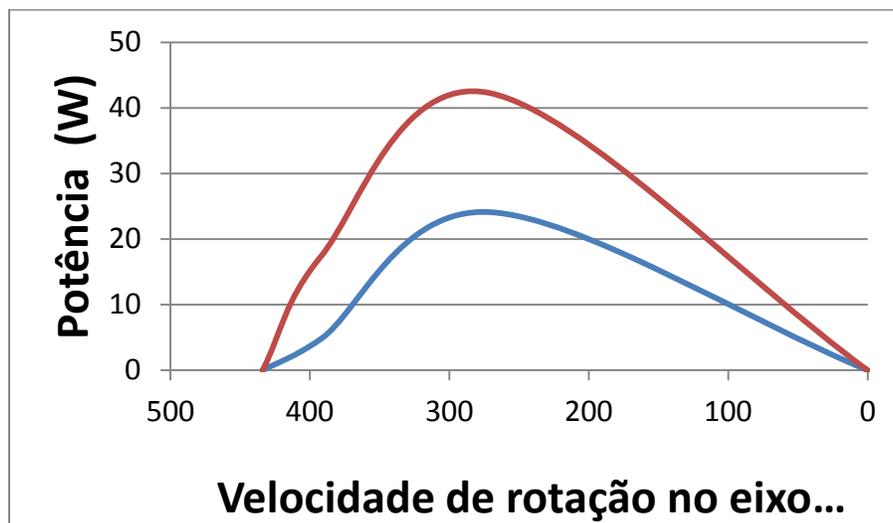
4.1 RESULTADOS DO DNAMÔMETRO DE PRONY

Plotou-se os gráficos das aquisições dos dados (Figuras 11, 12, 13), baseando-se na pressão exercida pelo jato de água, de maneira que este valor permanecesse em uma variação constante durante as medições, posteriormente variando a pressão e se encontrando novos valores para a rotação e para a força.

A potência, de todos os gráficos, foi calculada utilizando a Equação 5, sendo que para o cálculo do torque (utilizado para a potência), foi utilizado a Equação 4.

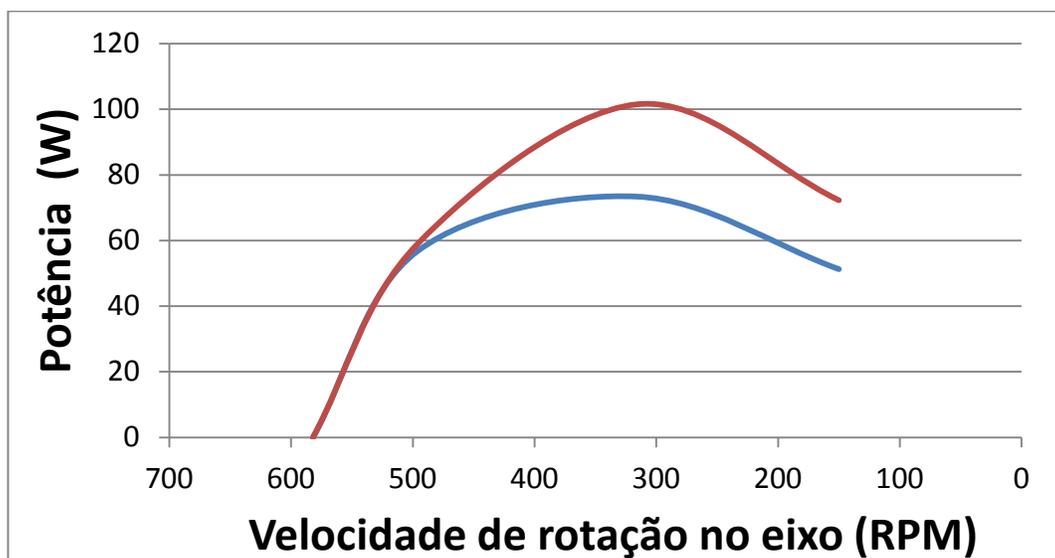
A maior potência encontrada, para a pressão no bico injetor de 68,95 kPa, foi de 24,11 W a uma rotação de 206 RPM (Figura 11 linha azul), já na análise para um pressão de 103,42 kPa, encontrou-se a máxima potencia de 42,27 W a uma rotação de 271 RPM (Figura 11 linha vermelha).

Figura 11 – Potência efetiva em função da rotação para uma pressão de 68,95 kPa (linha azul), e de 103,42 kPa (linha vermelha) no bico injetor



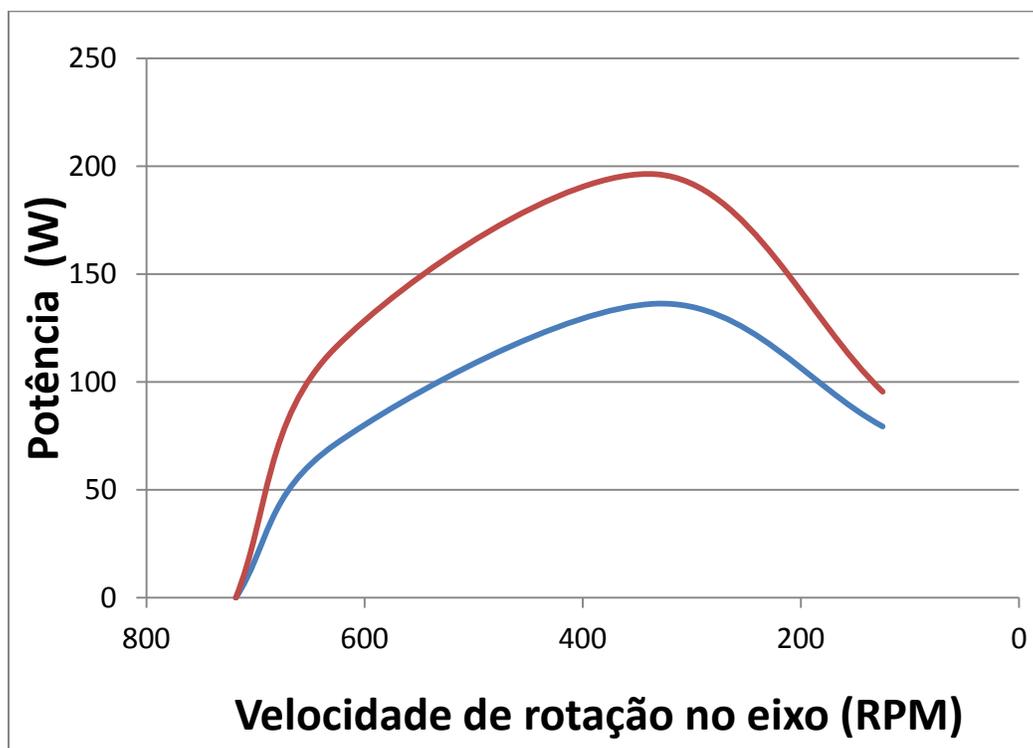
Para a pressão no bico injetor de 137,9 kPa, a máxima potência foi de 73,4 W a uma rotação de 244 RPM (Figura 12 linha azul), e para a pressão de 172,37 kPa, encontrou-se uma máxima potência de 101,51 W a uma rotação de 316 RPM (Figura 12 linha vermelha).

Figura 12 - Potência efetiva em função da rotação para uma pressão de 137,9 kPa (linha azul), e de 172,37 kPa (linha vermelha) no bico injetor



Encontrou-se uma potência de 136,26 W para uma rotação de 403 RPM, com uma pressão no bico injetor de 206,84 kPa (Figura 13 linha azul). O maior valor de potência encontrado utilizando o freio de Prony foi de 196 W a uma rotação de 332 RPM, para uma pressão no bico injetor de 275,79 kPa (Figura 13 linha vermelha).

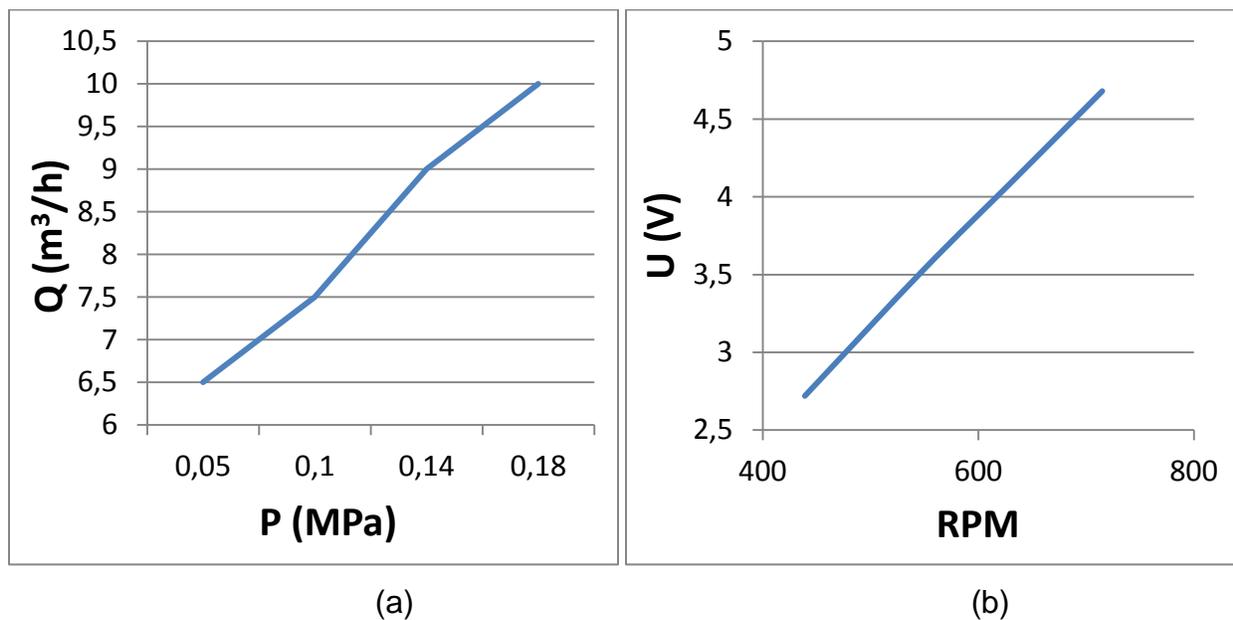
Figura 13 - Potência efetiva em função da rotação para uma pressão de 206,84 kPa (linha azul), e de 275,79 kPa (linha vermelha) no bico injetor



4.2 RESULTADOS DO DINAMÔMETRO COMO FREIO DE MOTOCICLETA

Para a realização das medições de torque e potência com o dinamômetro de freio de motocicleta, utilizou-se a pressão do fluxo d'água, que posteriormente se relacionou com a vazão, como pode ser analisado no gráfico da Figura 14a; para a medição de rotação utilizou-se a tensão elétrica (medindo-a através de um multímetro) que foi apresentada pelo dínamo, localizada na extremidade do eixo, sendo que em seguida, foram relacionados os valores de tensão com os de rotação, como também pode ser visto no gráfico da Figura 14b.

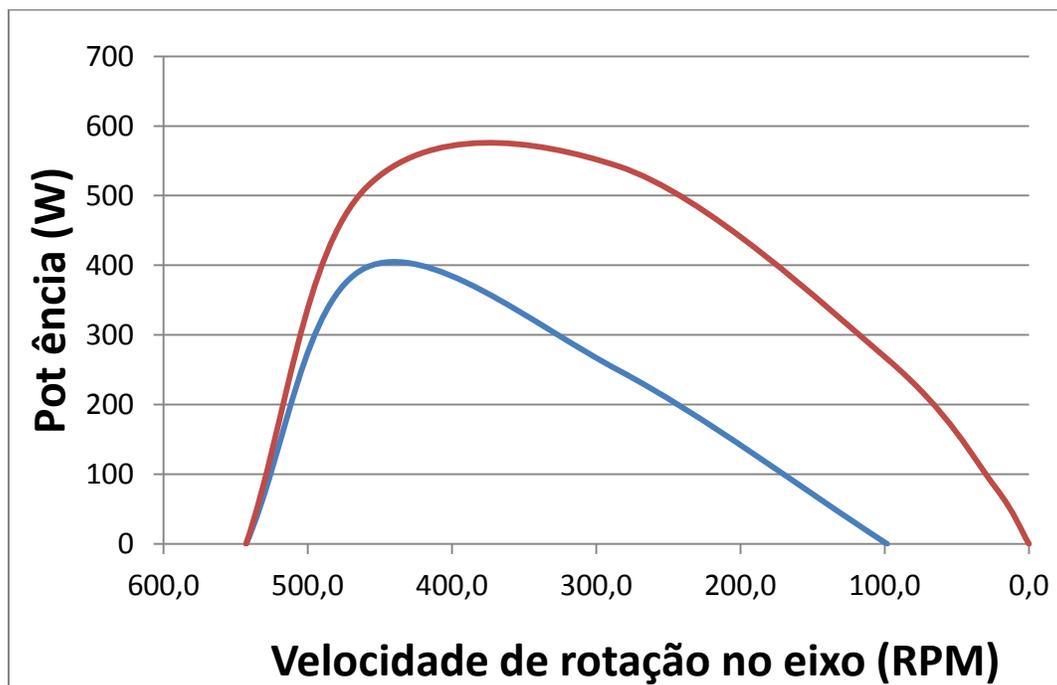
Figura 14 – (a) Relação de Vazão e Pressão, (b) Relação de Tensão e Rotação



A utilização da pressão em função da vazão, e da tensão elétrica em função da rotação, deve-se a facilidade na retirada dos dados da bancada Pelton. Pois a leitura da pressão foi facilitada, devido ao local em que se encontrava o manômetro da pressão do fluxo d'água. Do mesmo modo para a rotação, pois conectando-se o multímetro no dínamo os valores de tensão elétrica permaneciam visíveis durante a realização do teste, este fato não seria possível se fosse utilizado o tacômetro, pois havia a necessidade de acioná-lo toda a vez que era preciso medir a rotação da turbina, tornando este trabalho com demoras desnecessárias.

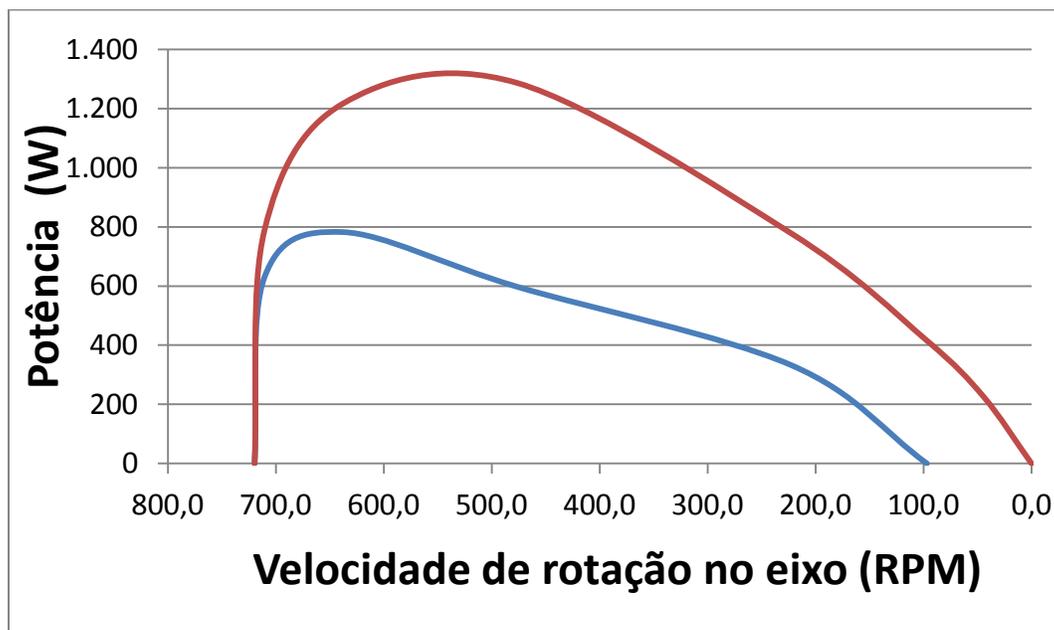
Utilizando uma vazão de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (Figura 15 linha azul), encontrou-se uma potência máxima de 397 W a uma rotação de 356,7 RPM. E para uma vazão de $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (Figura 15 linha vermelha), foi encontrado a potência máxima de 542 W numa rotação de 284,5 RPM.

Figura 15 - Potência efetiva em função da rotação para uma Vazão de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (linha azul), e de $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (linha vermelha)



Para uma vazão de $9 \text{ m}^3/\text{h}$ (Figura 16 linha azul), foi encontrado uma potência máxima de 782 W em uma rotação de $410,6 \text{ RPM}$. E na Figura 16 linha vermelha, foi encontrado o maior valor de potência da turbina Pelton, sendo esta de 1287 W em uma vazão no fluxo d'água de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ e uma rotação de $476,7 \text{ RPM}$.

Figura 16 - Potência efetiva em função da rotação para uma Vazão de $9 \text{ m}^3/\text{h}$ (linha azul), e de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (linha vermelha)



4.3 RESULTADOS DO RENDIMENTO DA TURBINA

A capacidade de carga da turbina apresenta-se de acordo com a potência dos gráficos das Figuras 18 e 19, também pode-se observar os valores de maior e de menor potência encontrados na turbina. O rendimento da turbina foi calculado utilizando a Equação 6.

- $Q=6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ têm se a potência máxima calculada de 402 W, e um rendimento de 45%;
- $Q=7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ têm se a potência máxima calculada de 548 W, e um rendimento de 50%;
- $Q=9 \text{ m}^3/\text{h}$ têm se a potência máxima calculada de 782 W, e um rendimento de 60%;
- $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$ têm se a potência máxima calculada de 1287 W, e um rendimento de 90%.

O rendimento para o freio de Prony não foi calculado devido às alterações realizadas no bico injetor, sendo que o mesmo passou de um diâmetro de 10mm para 34mm.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho proposto apresentou o desenvolvimento de um dinamômetro utilizando um freio de motocicleta, com o objetivo de utilizá-lo para a medição da potência na turbina da bancada didática Pelton.

A partir dos desenhos feitos graficamente foi possível analisar a montagem do conjunto, servindo estes de auxílio para a realização da montagem física do conjunto na bancada Pelton.

Com a ajuda de suportes, utilizados para prender os aparatos do freio de motocicleta, e de instrumentos adequados (tacômetro, rotâmetro, manômetros, multímetro e de um dinamômetro) para a aquisição dos dados, foi possível desenvolver um dinamômetro capaz de determinar a potência efetiva da turbina Pelton.

O dinamômetro foi calibrado baseando-se nos valores de potência e rendimento encontrados pelo grupo que projetou a bancada didática Pelton, sendo que estes valores foram calculados observando apenas a tubulação do equipamento, como foram vistos anteriormente na Tabela 1.

Os resultados de potência encontrados para o freio de Prony basearam-se na rotação e no torque desenvolvido pelo braço de reação. Porém os valores do rendimento utilizando o freio de Prony não foram realizados devido aos valores de potência estarem abaixo do valor esperado (em torno de 900 W).

Esse fato deve-se as modificações realizadas na bancada Pelton, ou seja, na troca do bico injetor de uma medida de 10 mm para 34 mm.

Já para o resultado de potência com o dinamômetro com o freio de motocicleta, utilizaram-se os valores da pressão exercido pelo freio, os valores de vazão e os valores de rotação. O rendimento foi calculado em função da potência calculada, da altura de queda que a bomba proporciona e da vazão no bico injetor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNETTI, F. **Mecânica dos Fluidos**. 2º ed. rev. São Paulo: Pearson, 2008.

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. Vol 1. 3º ed. São Paulo: Blucher, 2012.

DIULGHEROGLO, P. **Sistema de Freio**. Disponível em: <<http://www.ironracers.com/downloads/Mec%E2nica/Freio/Freios.pdf>>. Acesso em: 28 de abril de 2014.

GESTEIRA, L. **Sistema de Aquisição de Dados Baseado em LabVIEW para um Dinamômetro de Chassi**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial/Mecânica) Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

HAICAL, R. **Desenvolvimento de um Sistema de Controle de Dinamômetro para Testes de Motores de Combustão Interna**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica/Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

OLIVEIRA, A. **Instrumentação de Dinamômetro de Rolos Portátil**. 2010. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica/Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OST, A; KRAULICH, C. **Dimensionamento e Modelagem de um Rotor de um Rotor de Turbina Pelton para ser Aplicado em uma Bancada Didática**. 2013. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica/Mecânica) Faculdade Horizontina, Centro Tecnológico Frederico Jorge Logemann, Horizontina, 2013.

PEREIRA, J. **Dinamômetros Hidráulicos**. 1999. Disponível em: <<http://www.perfectum.eng.br/PDF/dinos.pdf>>. Acesso em 19 de outubro de 2014

PRIETO, R. **Freios Hidráulicos**. 1 ed. São Paulo: SENAI-SP, 2014

VIANA, J. **Plataforma de Testes de Desempenho Veicular para Dinamômetros Inerciais em Linguagem Labview**. 2011. Monografia (Bacharelado em Eletrônica Automotiva/Eletrônica) Faculdade de Tecnologia de Santo André, Centro Paula Souza, Santo André, 2011.

WALKER, J.; HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos da Física**. Vol 1. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.