



De 21/10/2015 a 23/10/2015

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

Gabriel Turra, gt001088@fahor.com.br¹

Richard Thomas Lermen, richard@fahor.com.br¹

Anderson Dal Molin, anderson@fahor.com.br¹

¹FAHOR - Avenida dos Ipês, 565 - Horizontina - RS - CEP: 98.920-000 - Brasil

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 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 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: Dynamomete, motorcycle brake, power.

INTRODUÇÃO

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, sendo que há basicamente quatro tipos de dinamômetros (BRUNETTI, 2012).

Dinamômetros de fricção, que é considerado o dispositivo mais antigo, utilizado até os dias de hoje, para medir a potência do motor é constituído de um volante circundando por uma cinta conectada a um braço, cuja extremidade se apoia 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 (PEREIRA, 1999).

Dinamômetros hidráulicos: são constituídos 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 apóia 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).

Dinamômetros elétricos: que são 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 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).

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).

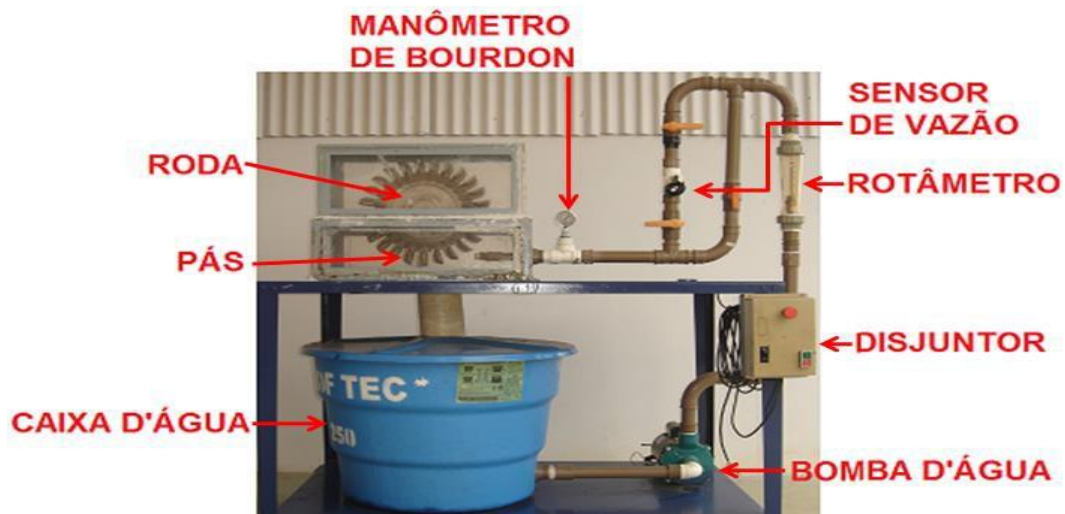
E ainda há os dinamômetros de corrente contínua, que possuem o mesmo princípio de funcionamento do dinamômetro corrente alternada. Funcionando tanto como gerador ou como motor e tem a função de frear ou acionar a máquina, por outro lado, é muito volumoso e tem um custo muito alto, por isso estão sendo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

Dinamômetros de inércia e dinamômetros de chassi: 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).

Para a adaptação de um dinamômetro na turbina Pelton utilizou-se um sistema de freio a disco, que segundo PRIETO (2014) o 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.

Todo o equipamento foi montado na bancada didática Pelton, sendo esta 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 mm; e de uma caixa d’água de 0,5 m³ para armazenagem da água utilizada. Também é importante salientar que a turbina está dentro de um local específico para o seu funcionamento adequado, conforme indicado na Figura 1.

Figura 1. Bancada Didática Pelton



2. MATERIAIS E MÉTODOS

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.

2.1 Freio de Prony

As medições de torque realizadas a partir do dinamômetro de fricção foram executadas utilizando-se de um freio de Prony (Figura 2), 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 2. Freio de Prony utilizado para as medições de torque e potência.



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.

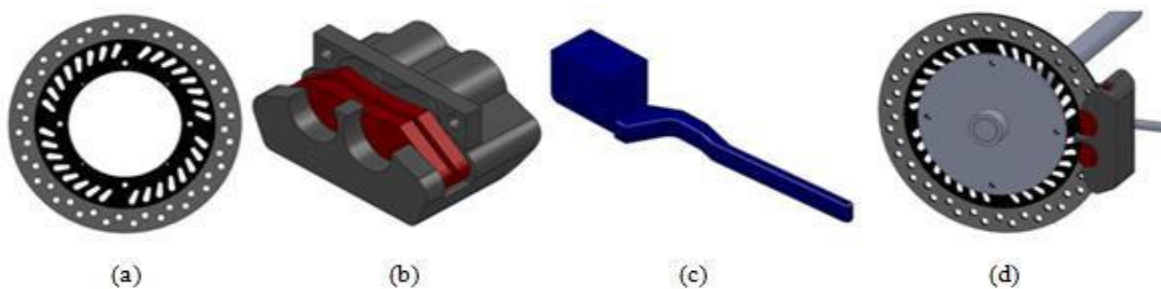
O braço de reação do freio de Prony contava com uma distância de 0,265 m, do ponto de apoio até o centro do eixo da turbina.

2.2 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.

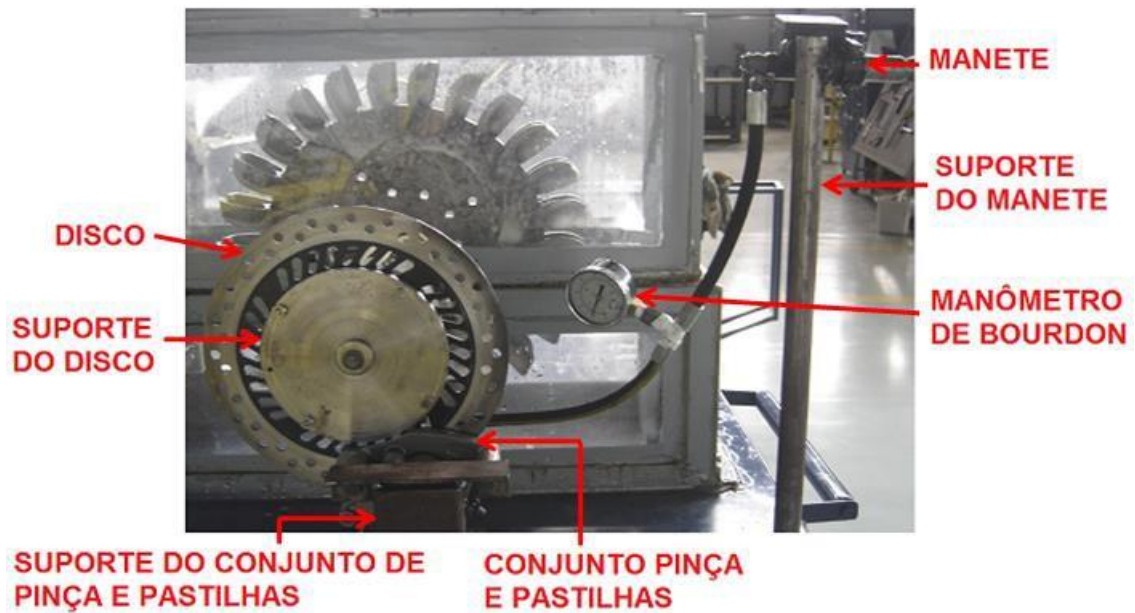
Por meio de um manete (Figura 3c) aciona-se a pinça (Figura 3b), mandando fluido de freio para os cilindros, que, por sua vez, fazem com que o conjunto de pastilhas vá de encontro um com o outro, fazendo com que o mesmo execute um movimento de frenagem sobre o disco (Figura 3a). Para o desenvolvimento virtual do dinamômetro com freio de motocicleta, utilizou-se o software de desenho Solidworks (Figura 3d), 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 3. 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 desenvolvidos suportes para fixar os mesmos como pode ser visto na Figura 4.

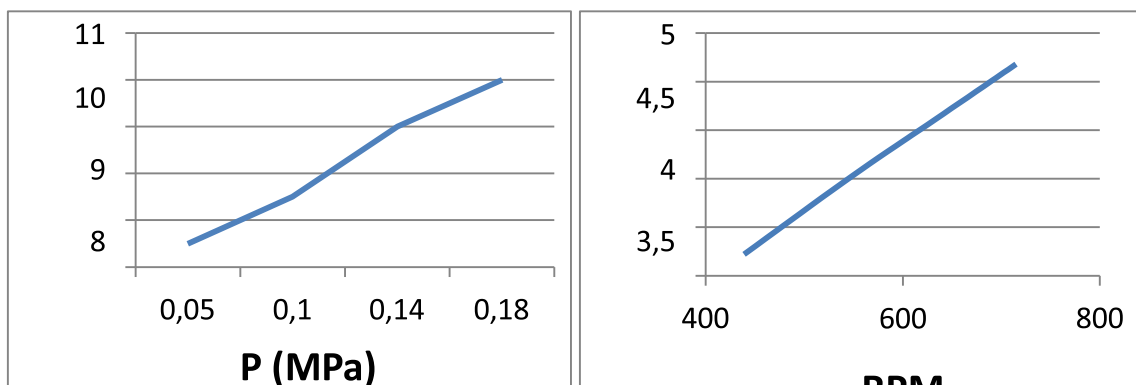
Figura 4. Dinamômetro com freio de motocicleta montado.



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 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 5a; 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 5b.

Figura 5. (a) Relação de Vazão e Pressão, (b) Relação de Tensão e Rotação.



Q (m³/h)

U (V)

(a)

(b)

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 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.

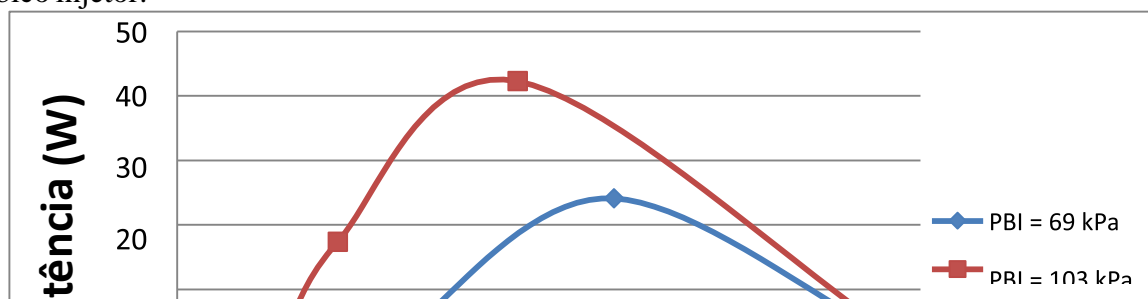
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As aferições da turbina Pelton, utilizando o freio de Prony, foram feitas sem os sensores elétricos para a medição da vazão, 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.

3.1 Resultados do dinamômetro de Prony

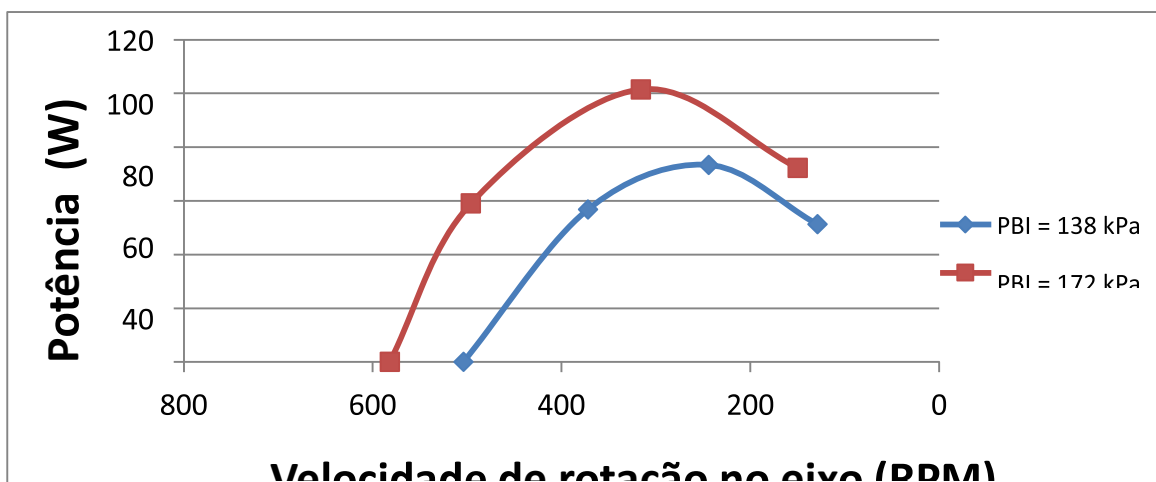
A Figura 6 mostra o gráfico da potência em função da velocidade de rotação no eixo da turbina Pelton para duas diferentes vazões, isto é, diferentes pressões no bico injetor. A maior potência encontrada, para a pressão no bico injetor (PBI) de 69 kPa, foi de 24 W a uma rotação de 206 RPM, já na análise para um pressão (PBI) de 103 kPa, encontrou-se a máxima potência de 42 W a uma rotação de 271 RPM.

Figura 6. Potência efetiva em função da rotação para uma pressão de 69 kPa, e de 103 kPa no bico injetor.



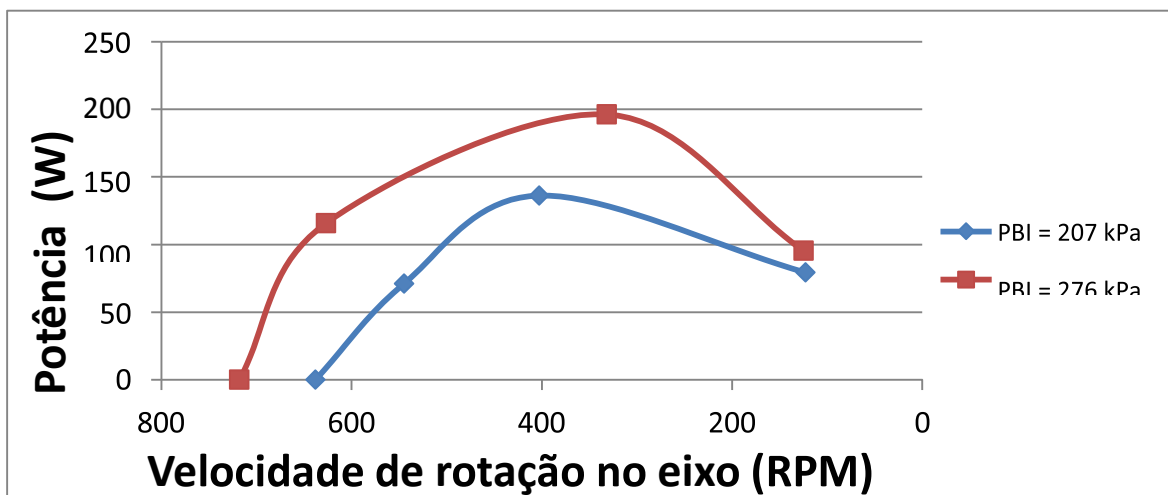
O gráfico da Figura 7 também mostra a potência em função da velocidade de rotação para duas diferentes pressões de saída. Para a pressão no bico injetor (PBI) de 138 kPa, a máxima potência foi de 73 W a uma rotação de 244 RPM, e para a pressão (PBI) de 172 kPa, encontrou-se uma máxima potência de 101 W a uma rotação de 316 RPM.

Figura 7. Potência efetiva em função da rotação para uma pressão de 138 kPa, e de 172 kPa no bico injetor.



Do mesmo modo que foi feito nos gráficos das figuras anteriores, também se realizou o gráfico da Figura 8 utilizando a potência em função da velocidade de rotação para duas diferentes pressões no bico injetor. Sendo assim, encontrou-se uma potência de 136 W para uma rotação de 403 RPM, com uma pressão no bico injetor (PBI) de 207 kPa. 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 (PBI) de 276 kPa.

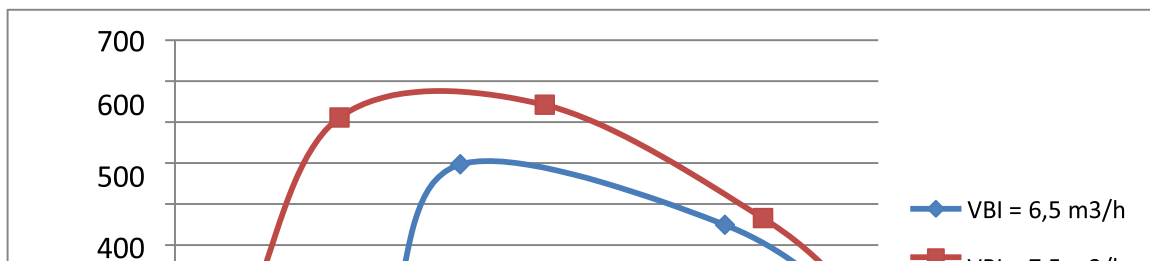
Figura 8. Potência efetiva em função da rotação para uma pressão de 207 kPa, e de 276 kPa no bico injetor.



3.2 Resultados do dinamômetro utilizando um freio de motocicleta

No gráfico de potência da Figura 9 foi utilizada a velocidade de rotação no eixo do rotor em função da vazão no bico injetor. Na vazão (VBI) de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$, encontrou-se uma potência máxima de 397 W a uma rotação de 357 RPM . E para uma vazão (VBI) de $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$, foi encontrado a potência máxima de 542 W numa rotação de 285 RPM .

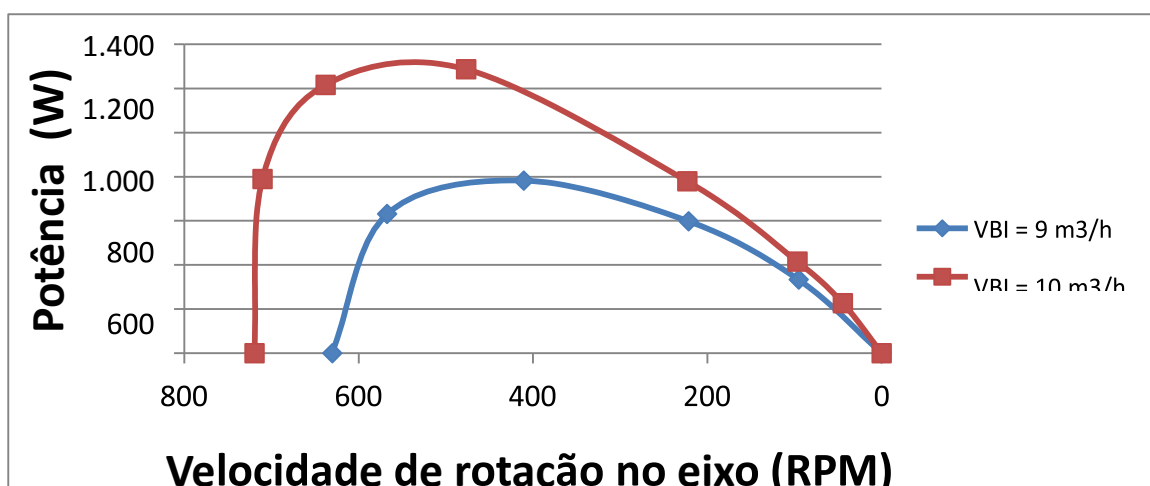
Figura 9. Potência efetiva em função da rotação para uma Vazão de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$, e de $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$



Potência (W)

Do mesmo modo que no gráfico da figura anterior, também se utilizou, no gráfico da Figura 10, a velocidade de rotação em função da vazão. Sendo que para uma vazão (VBI) de $9 \text{ m}^3/\text{h}$, foi encontrado uma potência máxima de 782 W em uma rotação de 411 RPM . E utilizando a vazão (VBI) de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ foi encontrado o maior valor de potência da turbina Pelton, sendo esta de 1287 W em uma rotação de 477 RPM .

Figura 10. Potência efetiva em função da rotação para uma Vazão de $9 \text{ m}^3/\text{h}$, e de $10 \text{ m}^3/\text{h}$.



A capacidade de carga da turbina apresenta-se de acordo com a potência dos gráficos

das Figuras 9 e 10, também se pode observar os valores de maior e de menor potência encontrados na turbina. O rendimento apresentado pela turbina segundo as suas vazões foram os seguintes:

3.2.1 $Q=6,5 \text{ m}^3/\text{h}$ têm se a potência máxima calculada de 402 W, e um rendimento de 45%;

3.2.2 $Q=7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ têm se a potência máxima calculada de 548 W, e um rendimento de 50%;

3.2.3 $Q=9 \text{ m}^3/\text{h}$ têm se a potência máxima calculada de 782 W, e um rendimento de 60%;

3.2.4 $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$ 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 10 mm para 34 mm.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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.

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 estar 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 exercidos 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

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

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.

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

RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.