



PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA COM TURBINA DO TIPO PELTON PARA APLICAÇÃO EM ENSINO DE ENGENHARIA

Camila Pereira Lisboa – cl001526@fahor.com.br
Ademar Michels – ademar@fahor.com.br
Richard Thomas Lermen – richard@fahor.com.br
Cláudia Vanessa Kraulich – ck000979@fahor.com.br
Faculdade Horizontina - FAHOR
Avenida dos Ipês, 565, bairro Esquina Eldorado
98920-000 – Horizontina – RS

Ana Paula Ost – ost.anapaula@yahoo.com.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Rua Sarmiento Leite, 425, Centro
90050-170 – Porto Alegre – RS

Maria Aparecida Berwanger de Andrade – andrademariaa@cfjl.com.br
Centro Tecnológico Frederico Jorge Logemann
Rua Buricá, 725, bairro Centro
98920-000 – Horizontina – RS

Resumo: *A utilização de bancadas didáticas como método que venha a ampliar e facilitar a qualificação de futuros Engenheiros que sejam capacitados à dimensionar, projetar e analisar máquinas de fluxo, tem evoluído significativamente frente à complexidade do funcionamento das turbinas hidráulicas, sendo assim, o principal objetivo deste trabalho foi projetar e construir uma bancada didática com turbina do tipo Pelton acoplada a um gerador de energia elétrica. Essa bancada foi desenvolvida para ser utilizada em atividades didáticas dos cursos de Engenharia Mecânica e de Produção da FAHOR, em eventos e em feiras envolvendo alunos do ensino médio e graduação, onde o funcionamento de centrais hidrelétricas e a importância do uso racional da água e energia foram abordados.*

Palavras-chave: *Bancada Didática, Turbina Pelton, Hidrelétrica, Ensino em Engenharia.*

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e aplicação de uma bancada didática de ensaios de turbinas de ação estão voltados para a melhoria do ensino de disciplinas da área de engenharia e ciências exatas. É reconhecida a importância do estudo prático e experimental de turbinas hidráulicas nos cursos de nível médio, técnico e superior reforçado pelo contexto atual em termos de geração e aproveitamento de energia (Martinez & Nascimento, 2001).

O princípio de uma turbina é converter a energia de fluidos em energia mecânica rotacional. A turbina Pelton é classificada como uma turbina de impulsão, sua estrutura é



constituída de um bico injetor, um rotor e um envoltório. O rotor apresenta várias pás fixas ao redor de sua circunferência (Macintyre, 1983; Fox, 2010).

O movimento das pás ligadas ao rotor garante a produção de energia. Em condições ideais, a turbina Pelton chega a apresentar uma eficiência de até 90%, limitando-se em 80% na prática. Resistência do ar, atrito mecânico, fluxo não uniforme nas pás e os jatos expelidos pelo impacto são os principais responsáveis por esse decréscimo (Pfleiderer, 1979).

Uma das particularidades que um rotor Pelton apresenta reside no formato da pá, que se assemelha a um par de conchas dispostas simetricamente. Um dos processos utilizados para a fabricação dos rotores é o fresamento, a fundição ou a metalurgia do pó, até mesmo a injeção, dependendo se a aplicação for industrial ou didática (Pfleiderer, 1979).

O objetivo geral deste trabalho foi projetar e construir uma bancada didática utilizando uma turbina do tipo Pelton. O estudo foi realizado, envolvendo estudantes de ensino-médio e estudantes de graduação em engenharia, com o intuito de motivar e dar condições para esses estudantes na formação em áreas tecnológicas. Para que o objetivo geral fosse alcançado os seguintes objetivos específicos foram seguidos: Estudar as características da Turbina Pelton; pesquisar as metodologias disponíveis para projeto da Turbina Pelton; estabelecer as especificações técnicas da Turbina Pelton através de correlações entre as partes constituintes da turbina (pás, rotor, etc.); dimensionar e construir as pás e o rotor; definir o processo de fabricação da Turbina Pelton; e projetar e construir a bancada didática;

2. METODOLOGIA

A metodologia é dividida em cinco partes, onde a primeira apresenta a equipe de trabalho para o desenvolvimento do trabalho, a segunda mostra como foi realizado o projeto das pás e do rotor para a turbina Pelton, a terceira apresenta o projeto da bancada didática, a quarta descreve os procedimentos de testes experimentais e a quinta apresenta os dispositivos e as técnicas utilizadas na aquisição de dados.

2.1. Equipe de trabalho

Os participantes no desenvolvimento do presente projeto foram professores de ensino superior, professores de ensino médio, estudantes de graduação e estudantes de ensino médio. Os professores de ensino superior tiveram a função de elaborar estratégias de atrair e manter os interesses dos alunos pela área tecnológica.

Os professores de ensino médio se aproximaram do ambiente universitário, fazendo com que eles pudessem ser agentes para a redução da distância entre o ensino e a pesquisa e entre a formação básica e a formação superior.

Os estudantes de engenharia, dos anos iniciais, dedicaram-se a vivenciar um problema aplicado, onde puderam perceber claramente a interação entre a teoria e prática. Já os estudantes de final de curso, que também fizeram parte deste trabalho, puderam aplicar todos os conhecimentos adquiridos durante o curso de engenharia no desenvolvimento de um projeto.

Os alunos de ensino médio foram os executores deste trabalho, onde lidaram com responsabilidades, prazos e tecnologias aplicadas, além de interagirem com ambiente universitário e de pesquisa. Tiveram a oportunidade de observar e formar sua opinião sobre a universidade e a pesquisa científica.

2.2. Projeto e Fabricação das Pás e Rotor

As pás e a roda da turbina Pelton são as partes que exigem maiores cuidados no projeto e execução, pois delas dependerá o bom funcionamento da máquina. A pá possui duas partes côncavas onde a água age para transformar energia cinética em trabalho mecânico. No centro existe um gume, para receber a água sem choque, dividindo o jato em duas partes iguais. A roda é a parte onde são fixadas as pás e o eixo de rotação formando o rotor.

Com base nos estudos e pesquisas definiu-se um memorial de cálculo para o dimensionamento das pás da turbina Pelton. Antes de iniciar os cálculos, foi preciso reunir algumas informações com a equipe do projeto.

Para os cálculos iniciais foram utilizado uma velocidade de rotação específica de 11,24, uma altura da queda d'água de 20 m e apenas um jato d'água. Com isso, foi determinado que a velocidade do jato expulso no bico injetor foi de 19,61 m/s. Considerando os valores da velocidade periférica dimensionada em 8,77 m/s e a rotação da máquina de 500 rpm, o diâmetro da roda foi de 335,15 mm. Considerando o diâmetro da roda de 335,15 mm e o diâmetro máximo do jato de 18,02 mm, foi necessário utilizar 25 pás.

Após modelamento em 3D das pás e rotor, foi realizada a simulação do escoamento do fluido no interior da turbina, analisando a trajetória e velocidade do fluido e a pressão do fluido sobre as pás e rotor.

As pás e a roda foram construídas em alumínio através do processo de fundição e usinagem respectivamente. Inicialmente, a ideia foi construir as pás e a roda nos laboratórios da FAHOR, onde caixas para fundição e um forno foram desenvolvidos pelos estudantes (Figura 3).



Figura 3 - Montagem das caixas para fundição e do forno.

Testes iniciais de fundição e de usinagem foram realizados com o objetivo de apresentar algumas técnicas de processos de fabricação para os estudantes. Devido à complexidade e exatidão do molde, das pás e da roda, foi determinado que, esses itens, seriam confeccionados por uma empresa especializada.

2.3. Projeto e construção da bancada

Antes da elaboração do modelamento 3D em solidworks da bancada didática, um breve treinamento sobre o software foi ministrado pela estudante de graduação, Camila, para os estudantes de ensino-médio, dotando-os de conhecimentos básicos do funcionamento do SolidWorks.

A bancada didática foi projetada pensando nas partes que compunham a bancada: uma estrutura metálica com rodízio construída em aço ao carbono; reservatório de água (caixa

d'água de 250 litros); bomba d'água de 3 cv capaz de simular uma altura de queda d'água de 20 m; tubulações em PVC; bico injetor; Painel elétrico com chave liga/desliga e sistema de emergência; caixa isolante em acrílico e aço; rotor Pelton (composto pela roda e pás) em alumínio; medidores de vazão, pressão, velocidade de rotação, potência, e outros; e um gerador (dínamo). Além disso, foi construída uma maquete de cidade para acoplar a bancada didática simulando a geração e transmissão de energia.

Para projetar a bancada foi utilizado o software de modelamento em 3D, SolidWorks, onde foi possível montar os componentes e ter uma visualização prévia da bancada pronta, como pode ser vista na Figura 4.

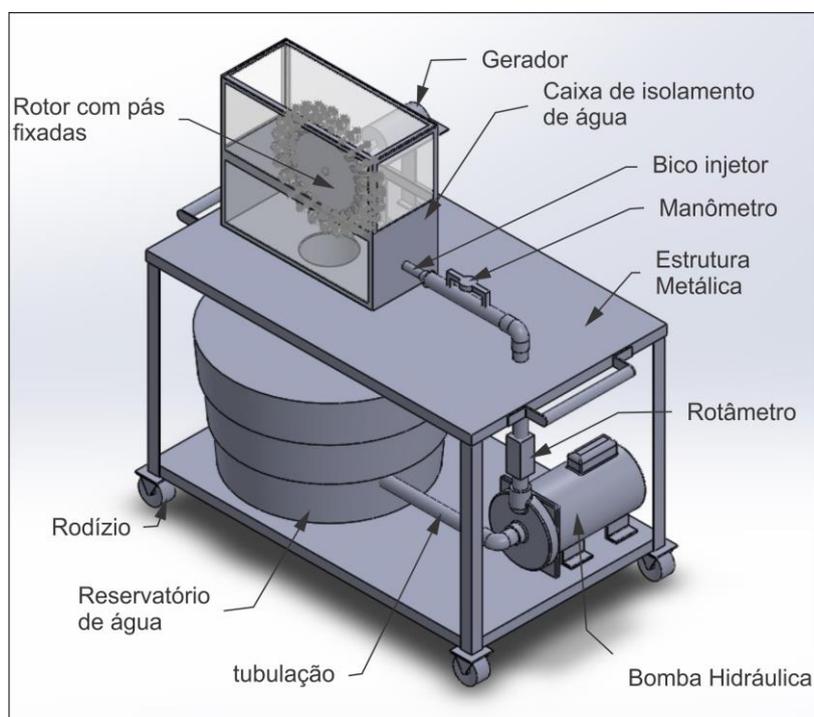


Figura 4 - Modelamento da bancada didática com turbina Pelton

2.4. Testes com a bancada

Os testes iniciais com a bancada consistiram em determinar possíveis problemas de montagem, tais como: vazamentos, balanceamento do rotor; ligações elétricas, etc. Os problemas foram detectados e resolvidos. Sequencialmente, testes de funcionalidades dos sensores foram realizados. Medidas de pressão, vazão, velocidade de rotação do eixo da turbina, corrente elétrica e diferença de potencial elétrico (d.d.p.) na bomba, d.d.p e corrente elétrica no gerador, entre outras grandezas foram realizadas.

2.5. Sensores e Aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados foi formado por uma placa NI USB 6009 com software (Labview), computador, e sensores, tais como: shunt, sensor hall, motor hobby cc, célula de carga, etc. A calibração destes sensores foram realizadas através de multímetros, tacógrafo, cargas conhecidas.

3. RESULTADOS

3.1. Resultados do projeto e construção das Pás e do Rotor

Na Figura 6 pode-se observar a evolução no desenvolvimento da modelagem em 3D do rotor. Primeiramente a pá (Figura 6a), a qual foi considerada o componente principal e de maior complexidade do rotor; na Figura 6b observa-se o modelamento da roda e na Figura 6c tem-se o conjunto final do rotor montado.



Figura 6 - Modelo em 3D da (a) pá, da (b) roda e do (c) rotor.

A simulação computacional apresentou a velocidade de escoamento do fluido sobre a pá, conforme pode ser visto na Figura 7a. Observa-se que o valor máximo encontrado de 19,743 m/s aproxima-se do valor calculado de 19,61 m/s. Na Figura 7b, observa-se a pressão que o fluido exerce sobre as pás do rotor, a região que apresenta as maiores pressões é o interior da pá do rotor com valores de aproximadamente 119 kPa. As altas pressões nesta área justificam-se por esta ser a região direta aonde o fluxo do fluido impacta ao ser liberado pelo bico injetor. As menores pressões estão localizadas na região da fixação da pá ao rotor com valores próximos a 70 kPa.

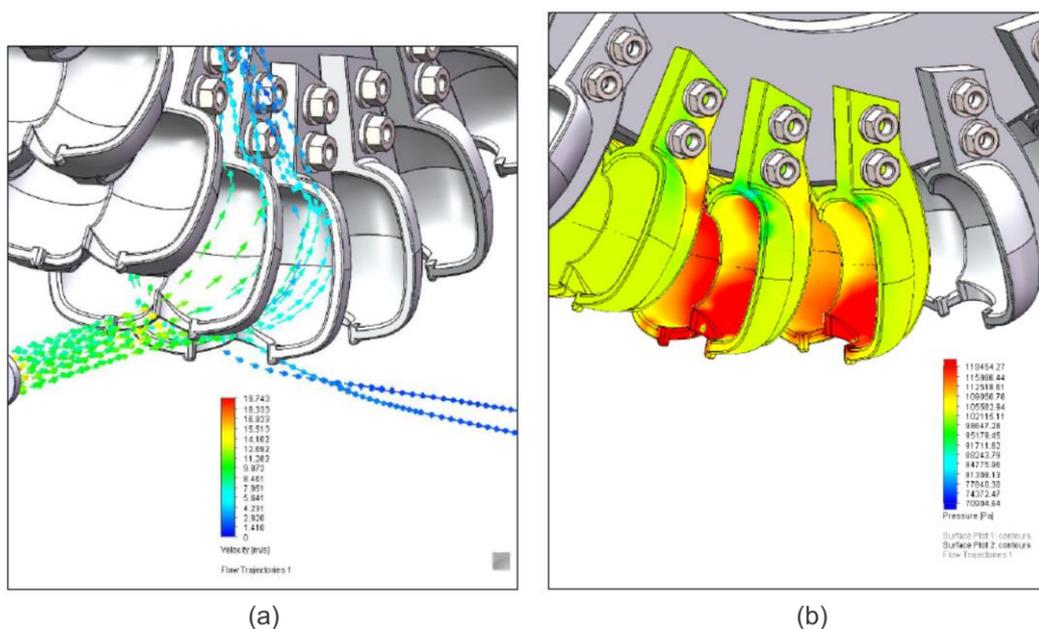


Figura 7 - (a) Variação de velocidade de escoamento do fluido e (b) pressão do fluido sobre as pás do rotor.

As pás e a roda foram fundidas em alumínio, devido ao peso total do conjunto. Através do Software SolidWorks foi possível aplicar ao conjunto 3D diferentes materiais e assim analisar os pesos resultantes. Em alumínio o rotor pesaria aproximadamente 9 kg e em ferro fundido aproximadamente 25 kg. Como o objetivo é aplicar o rotor à uma bancada que possa ser levada, também, à diferentes Instituições de Ensino o peso foi o principal fator levado em consideração na escolha do material, optando-se assim pelo alumínio. Após as pás e rotor acabados, partiu-se para a montagem final do rotor, conforme a Figura 8. Para união das partes (rotor e pás) foi optado por parafusos sextavados M8.



Figura 8 - Protótipo Turbina Pelton

3.2. Montagem, Funcionamento e Aplicação da Bancada Didática

A montagem da bancada acontecia de acordo com a finalização e compra dos componentes. A primeira parte construída foi a estrutura metálica, sequencialmente deu-se início a compra do reservatório de água, da bomba hidráulica e do sistema hidráulico (tubulações). A Figura 9 mostra a estrutura metálica e outros componentes da bancada prestes a serem montados.



Figura 9 - Partes constituintes da bancada.

Na etapa de montagem todos os estudantes participaram, sendo eles orientados pelos professores. A Figura 10 mostra os estudantes trabalhando na confecção (pintura) da caixa de vedação para o rotor.



Figura 10 - Estudantes de ensino-médio atuando na pintura da caixa de vedação do rotor.

Através da Figura 11 as partes da turbina montada são mostradas, onde pode ser observada a caixa de vedação para o rotor, o rotor, o sistema de injeção d'água, o medidor de vazão (Rotâmetro), painel elétrico de acionamento, acoplamento com o reservatório d'água, conexões hidráulicas com a bomba d'água, gerador acoplado ao rotor, vista frontal da bancada, turbina em funcionamento e vista lateral da bancada.



Figura 11 - Partes constituintes e bancada didática com turbina Pelton montada.

Os testes iniciais de funcionamento foram realizados sem a adição dos sensores de pressão, corrente elétrica, e outros. Nestes testes foram constatados grandes problemas de vazamento no sistema hidráulico e, principalmente, na caixa de vedação do rotor. Estes problemas foram resolvidos adicionando veda-rosca nas tubulações e silicone na caixa de vedação do rotor.

A bancada é de simples funcionamento. Inicialmente, deve-se adicionar água ao reservatório (80% do seu volume), depois acionar a chave disjuntora e a chave liga, isto vai fazer com que a bomba entre em funcionamento, e sequencialmente deve-se regular a vazão

através de um registro hidráulico. As medições de pressão, de tensão e corrente elétrica (na bomba e no gerador) e vazão podem ser realizadas manualmente ou com aquisição de dados.

Também, para simular a transmissão de energia de usinas hidrelétricas para cidades, os estudantes construíram uma maquete de uma cidade para conectar a bancada com turbina Pelton. A Figura 12 mostra os estudantes de ensino-médio, orientados pela Prof. Maria, construindo a maquete e a maquete em funcionamento.



Figura 12 - Estudantes construindo a maquete de uma cidade e a maquete conectada a turbina com as luzes ligadas.

Quanto à aplicação da bancada, a mesma vem sendo utilizada para apresentações em feiras regionais, nas quais as instituições de ensino participam, em aulas para graduação, por exemplo, na aula de Fontes Alternativas de Energia (Figura 13), em eventos como escola-aberta, etc.



Figura 13 - Prof. Anderson apresentando o objetivo e explicando o funcionamento da bancada didática para estudantes de engenharia – disciplina: Fontes Alternativas de Energia.

3.3. Participação em eventos

Até agora o projeto foi apresentado em dois eventos, um internacional e outro regional. O evento internacional foi o “I Latin American Hydro Power & Systems Meeting”, onde foi apresentado um artigo referente ao projeto, e o evento regional foi o 15 Jeep Country na cidade de Horizontina, onde os participantes do projeto junto com a bancada didática puderam apresentar o trabalho ao público externo (Figura 14).



Figura 14 - Participação em evento - 15 Jeep Country na cidade de Horizontina.

Outro evento em que houve a apresentação do projeto foi a 20ª Fenasoja, onde o funcionamento da bancada didática foi apresentado através de vídeos, os quais eram expostos constantemente ao público no estande da FAHOR.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi projetada e construída uma bancada didática com turbina do tipo Pelton. O projeto e a construção foram realizados por estudantes de ensino-médio e estudantes de graduação, os quais foram orientados pelos professores participantes do projeto. Para o desenvolvimento do



projeto foi realizada uma extensa revisão bibliográfica, a qual proporcionou o modelamento matemático das pás, do rotor, do bico injetor e outros componentes da turbina. Através desta bancada foi possível simular o funcionamento de uma hidrelétrica equipada com turbina Pelton, onde a simulação consistiu em apresentar todo processo de transformação de energia, isto é, desde a queda d'água até a transformação de energia cinética em energia elétrica pelo gerador. Também foi possível determinar as curvas características da bancada através de um sistema de aquisição de dados. Estas curvas relacionam as principais grandezas físicas envolvidas no projeto, tais como: vazão, pressão, rotação do eixo, potências, etc..

Pode-se dizer que o principal objetivo do edital forma/engenharia foi atingido, pois a aproximação dos estudantes de ensino médio com o ensino superior ajudou-os na decisão de qual curso iriam fazer no futuro. Todos escolheram seguir a área tecnológica, com exceção da Tainá que ainda está cursando o ensino médio.

Portanto, o financiamento de projetos por parte do governo é de extrema importância para o desenvolvimento do país. Este tipo de fomento, que faz a conexão entre o ensino superior e médio, deve ser mantido para que mais estudantes tenham a oportunidade de conhecer e ingressar no ensino superior.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelos recursos financeiros e pelas bolsas de estudo ITI-B, ITI-A e ATP-B. Também agradecem a FAHOR pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FOX, R. W. Introdução à Mecânica dos Fluidos, Rio de Janeiro, 2010.

MACINTYRE, A. J. Máquinas Motrizes Hidráulicas. Rio de Janeiro : Editora Guanabara AS, 1983.

MARTINEZ, C. B. e Nascimento J. F. Módulo didático de ensaios de turbinas de Ação. Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Porto Alegre: PUCRS, 2001.

PFLEIDERER, C. Máquinas de Fluxo. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TEACHING WORKBENCH WITH PELTON TYPE TURBINE FOR APPLICATION IN ENGINEERING EDUCATION

Abstract: *The use of workbenches as didactic method to expand and facilitate the qualification of future engineer, who are trained to scale, design and analyze flow machines, has evolved significantly with the complexity of the operation of hydraulic turbines. Thus being, the main aim objective this work was to design and build a learning workbench with*



Pelton turbine coupled to an electric generator. This bench was developed for use in teaching activities of the courses of Mechanical and Production Engineering of FAHOR, at events and fairs shows, involving high school students and undergraduate, where the hydroelectric plants operation and the rational use of water and energy importance were discussed.

Key-words: *Teaching bench, Pelton turbines, Hydroelectric, Engineering education.*