

## BANCADA DIDÁTICA DE TURBINA PELTON NO ENSINO COMPLEMENTAR EM ENGENHARIA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4293

Luiz Carlos Cordeiro Jr - luiz.cordeiro@fat.uerj.br  
UERJ

Leonardo Tomaz Arrighi Senra - leonardoarrighiserra@hotmail.com  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Douglas Ximenes Marozzi Cirne - j.marozzi@hotmail.com  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

João Pedro de Andrade Largura - joapedrolargura@hotmail.com  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

**Resumo:** *O presente trabalho tem como objetivo entregar aos discentes da graduação de engenharia mecânica da UERJ - Resende (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) um suporte didático complementar, conciliando conceitos teóricos e atividades experimentais. Este processo é possível devido às aplicações multidisciplinares da bancada, que exigem dos discentes conhecimentos das disciplinas de instalações industriais, máquinas de fluxos e hidráulica. As análises propostas estimulam o conhecimento por meio da inversão do ensino tradicional, fazendo com que o discente seja o protagonista das atividades, o que torna o conhecimento teórico uma realidade mais próxima dos alunos frente aos resultados experimentais, uma vez que são estimulados a buscar soluções por intermédio do registro de propriedades, através do uso de diversos instrumentos de medições, beneficiando, desta forma, a autoconfiança e agregando, também, ganhos comportamentais.*

**Palavras-chave:** *turbina Pelton, máquinas de fluxo, bancada hidráulica*

## BANCADA DIDÁTICA DE TURBINA PELTON NO ENSINO COMPLEMENTAR EM ENGENHARIA

---

### 1. INTRODUÇÃO

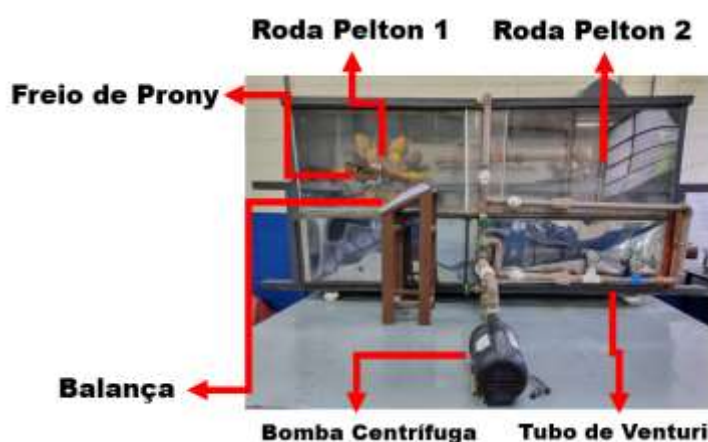
Uma Bancada didática equipada com duas Rodas Pelton, foi desenvolvida com o objetivo de apresentar aos alunos de graduação em Engenharia Mecânica, uma metodologia sistemática por intermédio de técnicas através de aplicações experimentais em complemento ao aprendizado teórico obtido em sala de aula das disciplinas de máquinas de fluxos, hidráulica e instalações industriais. Esta proposta facilita o aprendizado, e motiva os discentes na medida em que materializam os conceitos teóricos em validações reais a partir da coleta de dados e de resultados experimentais, mostrando que as equações em sala de aula tornam-se ferramentas de trabalho na análise do desenvolvimento e na construção dos projetos atuais e futuros.

Neste trabalho, serão apresentados conceitos aliados as propostas pedagógicas que buscam inserir o estudante como protagonista do processo de aprendizagem, ou seja, ele é incentivado a participar ativamente da construção do próprio conhecimento, como relacionados (Villas-Boas - 2011). Ao contrário do modelo tradicional de ensino, em que o professor é o detentor do conhecimento e o transmite de forma unilateral, na metodologia ativa, o docente assume o papel de facilitador, auxiliando os alunos a descobrirem e a aprimorarem os talentos em habilidades.

### 2. METODOLOGIA

A bancada de ensino, conforme figura 1, foi desenvolvida com a utilização de recursos de baixo custo e montada no próprio Laboratório de Motores, Hidráulica e Pneumática (Lab. MHP) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Campus Regional de Resende. A utilização de bancadas didáticas no ensino superior, sempre abre uma discussão em relação a custos e investimentos, por mais que existam diversas empresas especializadas na fabricação e comercialização destas bancadas, as mesmas tornam-se muitas vezes inviáveis devido ao alto custo de investimento, e ou apresentam limitações devido a questões pedagógicas, conforme discutido por Pavani (et al.,2019).

Figura 1 – Bancada de ensino Turbina Pelton.



Fonte: Próprio autor

Um dos benefícios desta bancada, é ser multidisciplinar e ainda ser de baixo custo de manutenção, auxiliando no ensino por intermédio de atividades experimentais em complemento as seguintes disciplinas:

- **Hidráulica:** cálculos de escoamento, monitoramento de pressão, número de Reynolds, compreensão das relações de perda de carga induzida e localizada, comprimento equivalente, análise de cavitação, levantamento de altura manométrica total (AMT), entre outras;
- **Máquinas de fluxo:** relação do triângulo de velocidades aplicado as máquinas de fluxo, através da equação fundamental das máquinas na definição do trabalho específico, relações de torque no eixo e potência líquida produzida na máquina de fluxo;
- **Instalações Industriais:** meios de ligação entre tubos, cálculo de diâmetros, utilização de equipamentos segurança (multímetros, amperímetros e tacômetros), curva de bomba d'água;

Conforme discutido por (Pavani, et.al, 2019), quanto maior a integração dos conteúdos tecnológicos, melhor será a formação dos engenheiros, é o que sintetiza o somatório das propostas acima, e desta forma o desenvolvimento desta bancada também teve a preocupação de possibilitar a variação de algumas características de funcionamento, evitando a repetitividade de dados e resultados, para isto duas características foram implementadas:

1. Opção de variar a pressão e a vazão do sistema, através de um mecanismo denominado "by pass", na saída da bomba, conforme figura 2, e muito discutida em literatura, como exemplo (Macyntire -1997);

Figura 2 – Sistema bombeamento com recirculação.



Fonte: Próprio autor

2. No sistema propulsor da Roda Pelton, existe a opção de variar a área do bocal de saída da água, através da troca dos tubos terminais, para os diâmetros de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  e 1", conforme figura 3, discutido por Bran (1969).

Figura 3 – Bocal de saída de água.



Fonte: Próprio autor

As variáveis propostas acima, impactam diretamente em todas as atividades que serão desenvolvidas pelos discentes, ampliando o número de amostragens. Desta forma, a quantidade de resultados é maior e contribui para evitar a sua repetitividade.

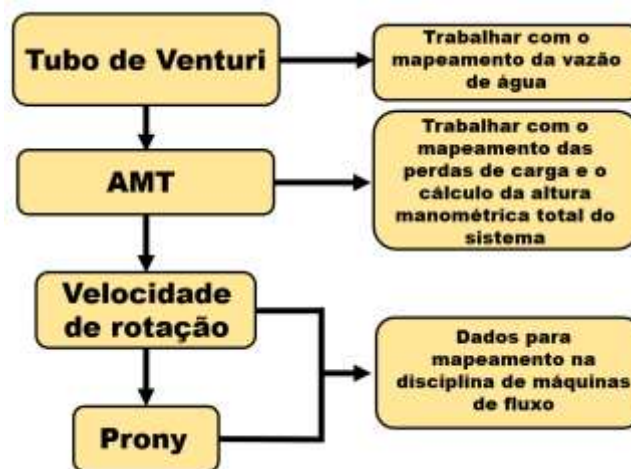
Outro benefício em estudar numa bancada multidisciplinar, está em poder trabalhar contra o retro analfabetismo dos discentes, uma vez que ocorrem diversos eventos físicos em paralelo ao experimento, aliado ao conteúdo de outras disciplinas, desenvolvendo nos discentes estímulos ao pensamento crítico, a observação e a discretização dos fenômenos. Sendo assim, auxilia no indivíduo a razão em ser Engenheiro desde cedo, a pensar por si,

a construir teorias científicas e a fundamentar a sua conduta profissional, conforme discutido por Matos (et al., 2004).

Para melhor auxiliar na compreensão da dinâmica nas atividades, a figura 4 representa didaticamente a sequência do desenvolvimento dos conteúdos junto aos discentes, desta forma evita a geração de zonas de conflito frente a tantas atividades:

Fluxograma de atividades na bancada Pelton:

Figura 4 – Fluxograma.



Fonte: Próprio autor

A partir do fluxograma acima proposto, os discentes identificam nas atividades experimentais o desafio oferecido, e as amplitudes no âmbito do processo de ensino/aprendizagem e as expectativas de resultados. Das avaliações a serem exigidas, destacam-se os relatórios individuais, considerando os demonstrativos de cálculos e a geração de gráficos comparativos nas análises. É importante registrar que cada grupo de alunos exige uma individualidade, e para que o processo de aprendizagem possa ser otimizado os alunos são convenientemente auxiliados pelo docente para que tenham a melhor eficiência de ensino e ganho em suas habilidades comportamentais frente a metodologia ativa proposta (Villas-Boas, 2011).

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As atividades práticas/experimentais estão diretamente associadas a eficácia do ensino. Um laboratório precisa oferecer atividades que motivem e desenvolvam o conhecimento, permita preencher lacunas de saber acadêmico e ou de ensino médio, embora limitado aos reais recursos disponíveis é importante que os discentes entendam os principais objetivos das atividades, cabe ao docente deixar claro estas expectativas. Dentre os objetivos dos discentes nas atividades estão:

- Familiarizar o uso de equipamentos e instrumentos de medidas;
- Saber interpretar os dados registrados;
- Desenvolver relatórios manuscritos, demonstrando clareza e domínio nas análises;
- Saber contribuir no experimento através de críticas e sugestões que permitam enriquecer o legado acadêmico.

Além dos objetivos acima, e conforme questionado por (Matos, et al 2004), cabe o docente desenvolver atividades que incentivem a assimilação e a acomodação dos novos conceitos, assim como a construção individual de repertórios, trazendo aos discentes maturidade e autoconfiança. Um dos estímulos a estas ações, está em desenvolver trabalhos em grupos de alunos, favorecendo o desenvolvimento da criação das zonas de desenvolvimento proximal.

Conforme comentado por Rosa (et al.-2007), o laboratório (bancadas) é entendido como um espaço no qual o estudante deverá conseguir transpor o conhecimento teórico apresentado nos livros para as situações práticas. Através de atividades auto direcionadas, a transposição deste conhecimento ocorre em um processo dinâmico, por intermédio de etapas como apresentado no fluxograma. Como o grupo executa estas atividades gradativamente, incentiva o diálogo e a discussão na construção dos eventos observados.

### 3.1 Tubo de Venturi

Um tubo Venturi (figura 5), é um recurso hidráulico que através da equação de Bernoulli, apresentada na equação (1), auxilia na especificação da vazão de um líquido em uma tubulação. Este dispositivo, no decorrer das atividades desenvolvidas será de extrema importância na definição da vazão volumétrica na tubulação de descarga do tubo junto a Turbina Pelton, e posteriormente auxiliará no levantamento da altura manométrica do sistema e no desenvolvimento das equações fundamentais na modelagem das máquinas de fluxo motoras.

O sistema de Venturi, funciona basicamente através de um diferencial de pressão que ocorre em função do estreitamento de tubulação fazendo a ligação entre um manômetro e outro. Este sistema é comumente utilizado em aplicações industriais para medir a vazão de líquidos em tubulações, como em sistemas de distribuição de água, estações de tratamento de águas residuais, sistemas de aquecimento e resfriamento na indústria química e petroquímica. É uma excelente oportunidade para o aluno de Engenharia possa se desenvolver, trabalhando em um conceito tão próximo ao que acontece na vida profissional, atribuindo ganhos cognitivos.

Figura 5 – Manômetros para análise de Venturi.



Fonte: Próprio autor

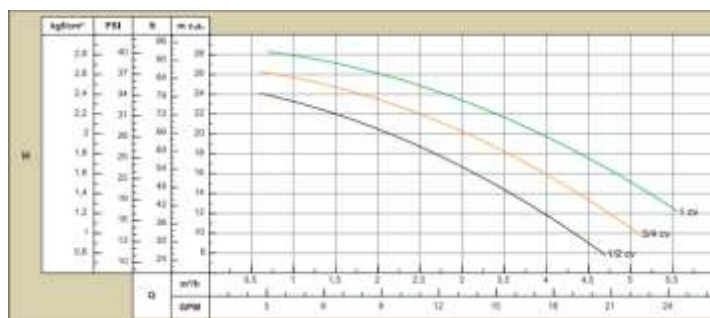
$$P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} \quad (1)$$

Onde  $V_1$  e  $V_2$  são as velocidades de escoamento no primeiro e no segundo trecho,  $\rho$  a massa específica da água e  $P_1$  e  $P_2$  a pressão registrada no trecho 1 e 2 através dos manômetros instalados.

### 3.2 Bomba Centrífuga e AMT para o circuito hidráulico

A bomba centrífuga, é extremamente utilizada na indústria, apresenta grande interface operacional com diversos equipamentos, assim como a flexibilidade de aceitar diversas interfaces/ controles externos que se adequam ao funcionamento deste equipamento. A bomba centrífuga, classificada como uma máquina de fluxo geradora, tem como característica o deslocamento de grande quantidade de fluidos sob baixos regimes de pressão. As bombas, para que sejam devidamente utilizadas, exigem do usuário o conhecimento das condições no qual a mesma será submetida, para isto, a preocupação no desenvolvimento da bancada está em apresentar a curva característica de uma bomba representada pela maioria dos fabricantes pela relação HxQ (altura manométrica x vazão), Figura 6, no qual a altura manométrica é a energia que a bomba deverá ceder para vencer a altura do sistema, e para esta especificação deve-se levar em consideração os desníveis geométricos de sucção, recalque e as perdas de carga por atrito em conexões e tubulações (MACINTYRE, 1997). Em complemento a bancada de turbina Pelton, os discentes são estimulados a estudar em uma segunda bancada de AMT, específica para o mapeamento da altura manométrica, Figura 7, também construída no Lab.MHP.

Figura 6 – Curva Característica da Bomba.



Fonte: Schneider Motobombas

Para o dimensionamento do AMT, os discentes são estimulados a compreender diversos detalhes, que estão relacionados a definição da vazão volumétrica, condições relacionadas a posição geométrica da bomba, as dimensões das tubulações de sucção e recalque dos fluidos e o mapeamento dos devidos acessórios para o cálculo da perda de carga, comprimento equivalente e, por fim, o dimensionamento de NPSH (Net Positive Suction Head) e cavitação.

Para o cálculo de AMT é utilizada a equação apresentada na equação (2).

$$AMT = A_s + A_r + PC_s + PC_r \quad (2)$$

Onde  $AMT$  é a altura manométrica total,  $A_s$  é a altura de sucção,  $A_r$  é a altura de recalque,  $PC_s$  é a perda de carga de sucção,  $PC_r$  é a perda de carga de recalque.

Figura 7 – Bancada de AMT.



Fonte: Próprio Autor



### 3.3 Registro de Rotação

Para registro da velocidade de rotação da turbina, foi utilizado o "Tacômetro" (figura 8), instrumento que trabalha com a emissão e recepção de um feixe de luz-infravermelha. Previamente, antes da aquisição dos valores, é necessário inserir na roda Pelton, um papel refletivo, pois de acordo com a frequência de luz emitida pelo aparelho é registrado em monitor do equipamento o valor da velocidade de rotação, estes valores são necessários para complementar modelagem analítica das equações fundamentais de máquinas de fluxo.

Figura 8 – Tacômetro.



Fonte: Próprio autor

### 3.4 Freio de Prony

Solução extremamente simples e prática, utilizada pelos discentes para o cálculo da potência aplicada no eixo de uma máquina de fluxo. Embora não seja eficiente, o sistema basicamente é baseado no atrito do eixo principal do rotor da turbina que gera uma reação de momentum que é mensurada sobre uma balança, figura 9. Essa potência medida é extremamente importante no auxílio do modelo analítico de dimensionamento de máquinas de fluxo. Utilizando como base a equação (3) é realizado o cálculo da potência medida experimentalmente no eixo da turbina Pelton.

$$Pe = \frac{PRN}{716,2} \quad (3)$$

Onde " $Pe$ " é a potência no eixo da turbina, " $P$ " o peso medido na balança em Kg, " $R$ " o comprimento do braço medido em metros e " $N$ " rotação da turbina medida em Rpm. Este

valor também é de extrema importância na finalização da modelagem analítica em máquinas de fluxo, frente ao trabalho proposto.

Figura 9 – Freio de Prony



Fonte: Próprio autor

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As bancadas experimentais garantem ser um excelente gerador de conteúdo técnico e de fundamental importância na formação das competências. Instigar os discentes a mudança na forma de analisar as informações e gerar conteúdo a partir de amostragens é um diferencial, extremamente positivo, frente aos tradicionais modelos de atividades guiadas em salas de aula. Por intermédio das tarefas apresentadas a seguir, os discentes são estimulados a desenvolver as análises, associando os conhecimentos adquiridos em sala de aula com técnicas experimentais na aquisição de dados, buscando a validação das modelagens analíticas com os resultados experimentais.

### 4.1. Tubo de Venturi

Após as leituras realizadas no primeiro e no segundo manômetro do Tubo de Venturi é calculado a vazão e a velocidade de escoamento do fluido no sistema utilizando a equação de Bernoulli, onde os discentes são incentivados a realizar várias medidas de amostragens, para posterior estatística das médias registradas, aumentando a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos experimentalmente. Na tabela 1, pode se observar as pressões registradas nos manômetros das seções de diâmetros de 25,4 e de 19,1 mm e o resultado dos cálculos realizados no experimento para determinação da vazão e da velocidade de escoamento do fluido.

Tabela 1 – Resultados Venturi

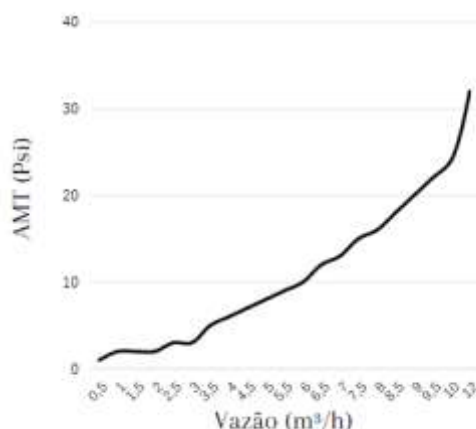
Venturi 1/2"		
Tubulação (m)	0,0254	0,0191
Pressão(PSI)	12,4	11,2
Pressão(MCA)	8,720	7,876
Velocidade(m/s)	4,065	2,299
Vazão (M <sup>3</sup> /h)	4,19	

Fonte: Próprio autor

## 4.2. AMT

O cálculo da AMT de um sistema hidráulico, possui grande importância, pois é essencial para o dimensionamento e seleção de uma correta bomba centrífuga, além disso o cálculo garante que a bomba opere de forma eficiente e segura. Ao utilizar a equação (2), foi gerado um gráfico da curva característica do sistema hidráulico pela relação HxQ (altura manométrica x vazão), apresentado na figura 10.

Figura 10 – Curva característica do sistema



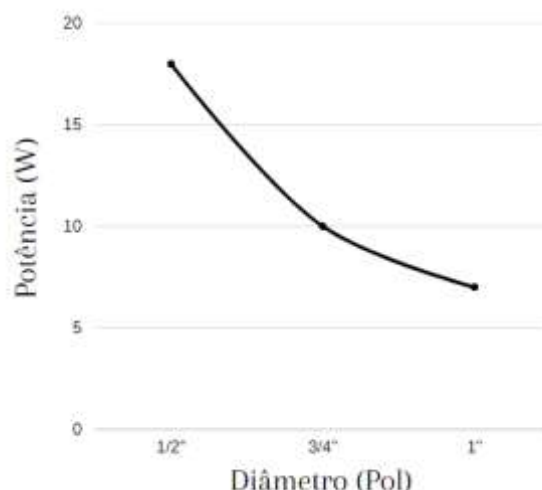
Fonte: Próprio autor

## 4.3. Definição de Potência

Foi utilizado o freio de Prony para calcular experimentalmente a potência gerada no eixo da turbina usando cada diâmetro de bocal, é gerado um gráfico de relação entre

diâmetro e a potência gerada pelo seu eixo, apresentado na figura 11, este cálculo é um indicador muito importante de eficiência e auxilia na avaliação do desempenho da turbina.

Figura 11 – Gráfico Bocal x Potência



Fonte: Próprio autor

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente exigência de competências e atribuições dos profissionais de Engenharia, exige das Universidades e demais entidades reformulações das formas tradicionais do ensino. Estimular nos discentes um caráter técnico embasado na observação, registro e representação dos eventos é um incentivo ao crescimento das habilidades técnicas e comportamentais.

O trabalho em bancadas experimentais garante aos discentes um melhor entendimento das fundamentações teóricas. O registro dos eventos através das medições por intermédio de equipamentos digitais e ou analógicos, auxiliam na compreensão das suas aplicações, e estimulam os futuros engenheiros a explorar melhor os conteúdos teóricos.

## 6. REFERÊNCIAS

BRAN, Richard; SOUZA, Zulcy de. Maquinas de Fluxo Turbinas, bombas e ventiladores. Ao livro técnico Editora, 1969.

MACINTYRE, Archibald Joseph. Equipamentos Industriais e de Processo. LTC,1997.

MACINTYRE, Archibald Joseph, Bombas e Instalações de Bombeamento, LTC, 1997.

MATOS JORGE, Regina Maria; TVRZSKÁ DE GOVÊA, Miriam; LOPES CASELLA, Esleide. **A importância da realização de experimentos para a construção de conceitos na**

**formação de um engenheiro autônomo.** In: XXX II Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia. Brasília, 2004.

PAVANI, Sergio Adalberto; POZZER, Cezar Tadeu; COLUSSO, Paulo Roberto. **Bancada virtual para laboratórios de automação pneumática, hidráulica, acionamento de motores e controladores de processo - um caso em evolução.** Revista de Ensino de Engenharia, v. 1, ISSN 2236-0158. Disponível em: <http://revista.educacao.ws/revista/index.php/abenge/article/view/1755/961>. Acesso em: 19

abr. 2023.

VILLAS-BOAS, V.; MATTASOGLIO NETO, O. **“Aprendizagem ativa na educação em engenharia”.** In: Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Ensino em

Engenharia. Blumenau. Sessão dirigida. 2011.

ROSA, Cleic Werner da; BECKER DA ROSA, Alvaro. **O Ensino da física na universidade de passo fundo: uma investigação nos objetivos das atividades experimentais.** Educere, vol. 11 núm. 37 pp. 327-332, 2007.

## DIDACTIC PELTON TURBINE BENCH IN COMPLEMENTARY ENGINEERING EDUCATION

**Abstract:** This work aims to provide students of the mechanical engineering graduation at UERJ - Resende (University of the State of Rio de Janeiro) with a complementary didactic support, reconciling theoretical concepts and experimental activities. This process is possible due to the multidisciplinary applications of the workbench, which require students to have knowledge of industrial installations, flow machines and hydraulics. The proposed analyzes stimulate knowledge through the inversion of traditional teaching, making the student the protagonist of the activities, which makes theoretical knowledge a reality closer to the students in view of the experimental results, since they are encouraged to seek solutions through the registration of properties, through the use of various measuring instruments, thus benefiting self-confidence and also adding behavioral gains.

**Keywords:** Pelton turbine, hydraulic bench, flow machines.