

REDIMENSIONAMENTO DE UMA TURBINA MODELO PELTON PARA APLICAÇÃO EM ÁREAS REMOTAS: ESTUDO TEÓRICO APLICADO A DISCIPLINA DE MÁQUINA DE FLUXO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4332

Gabriel Angelo Dal Posso Panisso - gabrielpanisson@alunos.utfpr.edu.br
UTFPR GP

Joao Lucas De Lima - joaolucaaslima@gmail.com
UTFPR GP

Joao Victor Garcia - joaovictorgarcia@alunos.utfpr.edu.br
UTFPR GP

Rafael Balbino Antunes - antunesr@alunos.utfpr.edu.br
UTFPR GP

Rogério Ivanski - rogerioivanski@alunos.utfpr.edu.br
UTFPR GP

Raquel da Cunha Ribeiro da Silva - raqueld@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente para obter informações relevantes sobre as características físicas dos rios de baixo/médio porte e as principais considerações técnicas envolvidas no projeto de turbinas hidrelétricas de baixo custo. Essa revisão permitiu identificar os parâmetros críticos necessários para o redimensionamento da turbina Pelton. Em seguida, foram aplicados os métodos de cálculo e dimensionamento preconizados pelas normas da ABNT para garantir a eficiência e a segurança do projeto. Esses métodos incluíram a análise das características hidráulicas do rio, como vazão, altura de queda e potência disponível, além da seleção adequada dos componentes da turbina, como o diâmetro do jato d'água, o número de bocais e a forma das pás. Durante o processo de redimensionamento, foram levadas em consideração as restrições econômicas, visando desenvolver uma turbina de baixo custo, com materiais acessíveis e facilmente encontrados no mercado. Além disso, foram implementadas melhorias de projeto para aumentar a eficiência da turbina e

"ABENGE 50 ANOS: DESAFIOS DE ENSINO, PESQUISA E
EXTENSÃO NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA"

18 a 20 de setembro
Rio de Janeiro-RJ



51º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia
VI Simpósio Internacional de Educação em Engenharia

minimizar possíveis impactos ambientais. Ao final do estudo, os resultados obtidos foram analisados e comparados com os padrões estabelecidos pelas normas da ABNT. Verificou-se que a turbina Pelton redimensionada atendeu aos requisitos técnicos e apresentou um desempenho satisfatório para a aplicação em rios de baixo/médio porte, proporcionando uma solução viável e econômica para a geração de energia hidroelétrica nesses ambientes.

Palavras-chave: metodologias ativas, turbina pelton, baixo custo , areas remotas

Realização:



Organização:



REDIMENSIONAMENTO DE UMA TURBINA MODELO PELTON PARA APLICAÇÃO EM ÁREAS REMOTAS: ESTUDO TEÓRICO APLICADO A DISCIPLINA DE MÁQUINA DE FLUXO.

1. INTRODUÇÃO

O acesso à energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento de uma determinada região, além de proporcionar melhor qualidade de vida para seus habitantes. Em áreas remotas e de difícil acesso, como no caso de alguns locais da Amazônia Legal, o acesso à energia elétrica é muito restrito, e isso é decorrente da grande dificuldade e do alto custo para levar a energia até esses locais. Segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), em uma análise feita em 2021 mostra que nos estados pertencentes à Amazônia Legal, mais de 990.000 brasileiros não têm acesso a esse serviço público.

Os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), segundo as Nações Unidas no Brasil, são um conjunto de ações que buscam acabar com a pobreza, além de proteger o meio ambiente. Com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas por meio de energia limpa e renovável, o presente trabalho abordará a ODS de número 7, onde o objetivo é "garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos." (IPEA, 2019).

A utilização de fontes de energias renováveis pode ser uma grande alternativa para solucionar esse problema, pois em áreas de difícil acesso a utilização de recursos naturais para a geração de energia pode ser a melhor solução. Em regiões com acesso a rios, por exemplo, a geração de energia pode ser feita por meio de usinas hidrelétricas em escala reduzida.

As micro usinas hidrelétricas, podem ser construídas utilizando diversos modelos de turbinas, como as turbinas Pelton, Kaplan e Francis, e entre esses modelos a turbina Pelton têm vantagem em relação às demais, ela possui um menor custo de manutenção e pode operar com baixas vazões, assim pode ser aplicada em regiões próximas a rios ou até mesmo riachos.

Desta forma, pensando na acessibilidade e na qualidade de vida dos habitantes dessas regiões, o presente artigo realizará o redimensionamento de uma turbina Pelton a partir de uma já produzida, buscando uma solução viável para implementação deste modelo

em áreas remotas, gerando energia de forma eficiente e preservando o meio ambiente em volta do local de instalação da turbina.

O desenvolvimento deste artigo feito por alunos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), apresentado na disciplina de Máquinas de Fluxo, ministrada pela professora Raquel da Cunha R da Silva, tendo como base o desenvolvimento e aplicação de uma turbina Pelton, trará benefícios não apenas para o público-alvo, habitantes em locais remotos, mas também proporcionará um melhor entendimento sobre o assunto aos escritores dele. A implementação do modelo de sala de aula invertida, onde é proposto o desenvolvimento de um artigo científico, por exemplo, pode trazer um maior entendimento sobre o assunto, além proporcionar um trabalho mais dinâmico, onde os alunos conseguem ver a aplicação direta dos assuntos abordados.

2. MÉTODOS

Neste capítulo será apresentada a metodologia em que o artigo foi empregado para o redimensionamento da turbina hidráulica do tipo Pelton. A elaboração deste projeto se baseou no artigo [1], onde os autores utilizando materiais de baixo custo, como colheres de aço inoxidável, disco de madeira e outros componentes de PVC, confeccionaram a turbina com o objetivo de realizar o cálculo de rendimento energético.

Todo o estudo se baseou em uma vazão constante para o Rio Jordão, situado entre o estado de São Paulo e Paraná. A razão da escolha se dá de acordo com as dimensões do rio, considerado de pequeno/médio porte, encontrado em todas as regiões do país. A vazão média do Rio Jordão é de aproximadamente 2,6 m³/segundo. Vale ressaltar que todo estudo apresentado neste artigo é de forma teórica, sem validação experimental aplicada.

Figura 1 – Turbina modelo Pelton construída com materiais de baixo custo.



Fonte: Construção e avaliação de uma turbina "tipo pelton", 2003

Observando a Figura 1, a construção da turbina foi realizada sem nenhum estudo prévio, segundo Timm e col. (2003, p. 283): "Os resultados proporcionaram um rendimento máximo em torno de 46% (...)", ainda segundo Timm e col. (2003, p. 286): "(...) para a melhoria do protótipo alguns estudos como ângulo de entrada do jato, diâmetro do bocal, inclinação das colheres e resistência do dinamômetro seriam necessários", logo com base nas melhorias apresentadas pelos autores do artigo, será realizado um redimensionamento da turbina para incremento da eficiência total.

Para um redimensionamento eficaz, além da pesquisa dos materiais empregados na construção final da turbina, um passo imprescindível é a formulação da base matemática necessária para tal dimensionamento. A formulação desenvolvida pelos autores, e utilizada neste artigo se encontram abaixo:

- Cálculo da potência no eixo da turbina:

$$Pot_{mec} = \frac{(\Delta F) \cdot R \cdot 2 \cdot \pi \cdot rpm}{60} [W] \quad (1)$$

Onde ΔF é a diferença de forças entre os dois dinamômetros, em N e R é o raio da polia medido na canaleta, em m.

- Torque:

$$T = \Delta F \cdot R [Nm] \quad (2)$$

- Potência hidráulica:

$$Pot_{hid} = h \cdot \gamma \cdot Q [W] \quad (3)$$

Onde h é a carga hidráulica, em m.c.a.; γ é o peso específico da água, em Nm^{-3} ; e Q a vazão, em m^3s^{-1} .

Tendo ambas as potências, mecânica e hidráulica, pode-se encontrar o rendimento da turbina:

$$\eta = \frac{Pot_{mec}}{Pot_{hid}} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde η é o rendimento da turbina em %.

Como se trata de um estudo teórico de análise e redimensionamento de acordo com o artigo [1], alguns dados iniciais serão delegados por meio de suposições prévias. Os dados iniciais podem ser observados através da Tabela 1:

Tabela1: Dados de entrada

DESCRIÇÃO	SIMBOLO	VALOR	UNIDADE
Peso específico da água	γ	1000	kg/m ³
Constante Pi	π	3,141592...	-
Raio da Polia	R	0,5; 1,0; 1,5; 2,0, 3,0	m
Vazão	Q	2,6	m ³ /s
Diferença entre forças	ΔF	100; 150; 200; 250; 300	N
Cargas hidráulicas	h	40; 45; 50; 55; 60	m.c.a.
Rotações por minuto	RPM	1000	rpm

Fonte: Autoria própria

Na sequência utilizou-se o software Colab para o desenvolvimento dos cálculos informados anteriormente, os resultados podem ser encontrados na Figura 2:

Figura 2: Desenvolvimento dos cálculos através do software Colab

```
[ ] import math

gama = 1000 # Peso específico da água (kg/m³)
pi = math.pi
R = [0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0] # Raios das polias (m)
Q = 2.6 # Vazão (m³/s)
deltaf = [100, 150, 200, 250, 300] # Diferença entre forças (N)
h = [40, 45, 50, 55, 60] # Cargas hidráulicas (mca)
rpm = 1000 # Rotações por minuto

# Cálculo da potência mecânica (POTmec)
POTmec = []
for i in range(len(R)):
    POTmec_i = (deltaf[i] * R[i] * 2 * pi * rpm) / 60
    POTmec.append(POTmec_i)

# Cálculo da potência hidráulica (POTHid)
POTHid = []
for i in range(len(h)):
    POTHid_i = h[i] * gama * Q
    POTHid.append(POTHid_i)

# Cálculo do rendimento (N)
N = []
for i in range(len(R)):
    N_i = (POTmec[i] / POTHid[i]) * 100
    N.append(N_i)

# Imprimir a tabela
print("Carga hidráulica | Potência hidráulica | Potência mecânica | Rendimento")
print("-----")
for i in range(len(h)):
    print("{:.2f} mca | {:.2f} W | {:.2f} W | {:.2f} %"
          .format(h[i], POTHid[i], POTmec[i], N[i]))
```

Fonte: Autoria própria

3. RESULTADOS

Partindo da Figura 2, obtemos os resultados para os diferentes raios da polia, como a carga hidráulica, potência hidráulica, potência mecânica e seus respectivos rendimentos:

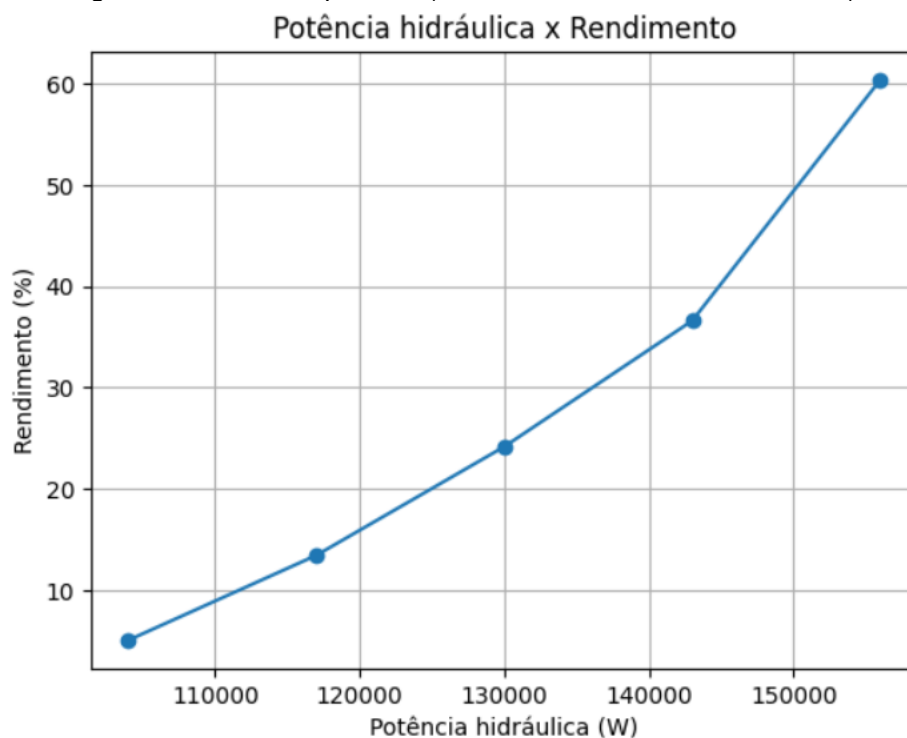
Tabela 2: Resultados obtidos

Raio da polia [m]	Carga hidráulica [m.c.a.]	Potência hidráulica [W]	Potência mecânica [W]	Rendimento [%]
0,5	40	104000	5235,99	5,03
1,0	45	117000	15707,96	13,43
1,5	50	130000	31415,93	24,17
2,0	55	143000	52359,88	36,62
3,0	60	156000	94247,78	60,42

Fonte: Autoria própria

Por fim, resultou um gráfico comparativo entre potência hidráulica e o rendimento calculado para os diferentes raios da polia. Nota-se que a medida que a potência é aumentada, por consequência o rendimento sobe consideravelmente, como já era esperado.

Figura 3: Gráfico comparativo (Potência hidráulica x Rendimento)



Fonte: Autoria própria

4. CONCLUSÃO

Com base no resultado dos dados apresentados no gráfico comparativo, pode-se concluir que há uma relação positiva entre a potência hidráulica e o rendimento do sistema, e a escolha de raios da polia de maiores dimensões resulta no aumento da potência gerada, consequentemente em rendimentos maiores.

A partir do gráfico, é possível observar que a turbina dimensionada apresenta um desempenho satisfatório, considerando sua construção de baixo custo e a baixa vazão do rio Jordão utilizado como referência, indicando que pode ser uma solução eficiente e econômica para a geração de energia elétrica em zonas rurais e de difícil acesso.

Entretanto, com a escolha de raios maiores a dificuldade na construção, como também o peso final do conjunto, vai aumentar consideravelmente e esse fator deve ser analisado posteriormente com outros cálculos para garantir a eficiência da turbina.

O rendimento final ainda está longe de um valor mínimo aceitável em grandes turbinas hidráulicas construídas com o mais alto padrão tecnológico, porém já garante uma potência gerada maior que motores à combustão e pode levar energia suficiente para um consumo básico em residências como a luz de lâmpadas de led, melhorando o padrão de vida dessas populações.

O desenvolvimento deste artigo para a disciplina de Máquina de Fluxo resultou em um conhecimento aprofundado sobre o redimensionamento teórico da turbina modelo Pelton. Os alunos adquiriram habilidades analíticas para avaliar as relações entre potência hidráulica e rendimento do sistema, além de identificar a eficiência da turbina em condições específicas e avaliar suas possíveis aplicações em áreas remotas. Essa experiência proporcionou aos alunos uma aprendizagem significativa e uma compreensão prática sobre o uso de energias renováveis para melhorar a qualidade de vida das comunidades isoladas. Como resultado, os alunos melhores preparados para enfrentar desafios reais na área de geração de energia, contribuindo para um futuro mais sustentável e consciente.

5. REFERÊNCIAS

Amazônia Legal: quem está sem energia elétrica. **Instituto de Energia e Meio Ambiente**. Energia Elétrica. Disponível em: <<https://energiaeambiente.org.br/produto/amazonia-legal-quem-esta-sem-energia-eletrica>>. Acesso em: 06 maio. 2023.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 06 maio. 2023.

ODS 7 Energia Acessível e Limpa. **Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada**. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods7.html>>. Acesso em: 06 maio. 2023.

TIMM, C. L.; GOMES, M. T.; ATARASSI, T. R.; BOTREL, A. T. Construção e avaliação de uma turbina “tipo Pelton”. **Universidade Estadual Paulista**. Disponível em: <<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3143/1935>>. Acesso em: 7 maio. 2023.

CASTRO, G. G. P. D. et al. Dimensionamento de turbina pelton para aplicações sustentáveis / Size of a pelton turbine for application in rural areas. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 27590–27601, 29 nov. 2019.

CASTRO, G. G. P. D. et al. Aplicação de hidro geradores em propriedades rurais / Application of hydro generators in rural properties. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 27541–27550, 29 nov. 2019.

CASTRO, G. G. P. D. et al. Aplicação da turbina pelton como opção sustentável em regiões rurais / Pelton turbine application as sustainable option in rural regions. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 27438–27447, 28 nov. 2019.

TIMM, L. C. et al. Construção e avaliação de uma turbina “tipo Pelton”. **IRRIGA**, v. 8, n. 3, p. 283–289, 4 dez. 2003.

ROSA, H. M. P.; ABREU, K. M. DE M. Algoritmo para determinação de grandeza geométricas de uma turbina Pelton. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 2, p. 0229–0233, 4 jul. 2018.

BERGAMO, P. DA R. Especificações de turbinas hidráulicas. **Repositório Institucional Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, 23 nov. 2018. Acesso em: 24 abr. 2023.

BÓÇON, F. Turbinas a vapor. **Universidade Federal do Paraná setor de tecnologia departamento de engenharia mecânica**. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC037/Prof_Bocon/Apostila_Turbinas.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023.

Estudo das bombas aplicação da análise dimensional e da teoria da semelhança. **Universidade de São Paulo**. Disponível em: <https://edisiplinas.usp.br/pluginfile.php/5759860/mod_resource/content/1/Experiencia_Bombas.pdf>. Acesso em: 7 maio. 2023.

BRASIL, N. A. Máquinas Termohidráulicas de Fluxo. **Universidade Federal do Paraná**. Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/capitulo2_toriageral__MAQUINAS%20DE%20FLUXO.PDF>. Acesso em: 19 abr. 2023.

OST, P. A; KRAULICH, V. C. Dimensionamento e modelagem de um rotor de turbina Pelton para ser aplicado em uma bancada didática. **Fahor Faculdade Horizontina**. Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em: <http://baja.fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2013/Mec_Ana_Claudia.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2023.

Resizing a Pelton Model Turbine for Remote Area Application: Theoretical Study Applied to the Fluid Machinery Discipline

Initially, a comprehensive literature review was conducted to obtain relevant information on the physical characteristics of small to medium-sized rivers and the key technical considerations involved in the design of low-cost hydroelectric turbines. This review allowed for the identification of critical parameters necessary for resizing the Pelton turbine. Subsequently, calculation and sizing methods recommended by ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) standards were applied to ensure project efficiency and safety. These methods included the analysis of hydraulic characteristics such as flow rate, head height, and available power, as well as the appropriate selection of turbine components such as water jet diameter, number of nozzles, and blade shape. During the resizing process, economic constraints were taken into account to develop a low-cost turbine using readily available materials found in the market. Additionally, design improvements were implemented to enhance turbine efficiency and minimize potential environmental impacts. At the end of the study, the obtained results were analyzed and compared against the standards established by ABNT. It was found that the resized Pelton turbine met the technical requirements and demonstrated satisfactory performance for application in small to medium-sized rivers, providing a viable and economical solution for hydroelectric power generation in these environments.

Keywords: active methodologies, Pelton turbine, low-cost, remote areas.