

# REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

## Turbina Axial para Condições de Ultra-Baixa Queda<sup>1</sup>

Antonio Carlos Barkett Botan<sup>2</sup>, Geraldo Lucio Tiago Filho<sup>3</sup>, Ramiro Gustavo Ramirez Camacho<sup>3</sup>, Camila Rocha Galhardo<sup>2</sup> e Tiago Martins de Azevedo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Aceito para Publicação no 3º Trimestre de 2016.

<sup>2</sup>Mestre pela Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI (MG), [acbotan@yahoo.com.br](mailto:acbotan@yahoo.com.br), [camila.galhardo@gmail.com](mailto:camila.galhardo@gmail.com).

<sup>3</sup>Professores Doutores na Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI (MG), [tiago@unifei.edu.br](mailto:tiago@unifei.edu.br), [ramires@unifei.edu.br](mailto:ramires@unifei.edu.br).

<sup>4</sup>Engenheiro da Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI (MG), [tiago.deazevedo@yahoo.com.br](mailto:tiago.deazevedo@yahoo.com.br)

### Resumo

As turbinas axiais convencionais são turbinas que operam em condições de baixa-queda, ou seja, alturas de queda entre 70 e até 5 metros. São máquinas que operam com baixas alturas de queda e altas vazões. Para alturas de queda abaixo de 5,0 metros, ainda estão sendo desenvolvidas máquinas para operação dentro desse parâmetro. Máquinas desse porte geram viabilidade econômica e devido à facilidade de sua manutenção e o não emprego de grandes obras civis, podendo ser instaladas em pequenos canais em propriedades rurais e comunidades. Um termo de cooperação científica entre Canadá e Brasil favoreceu para que um modelo de turbina desenvolvido por uma instituição canadense e fosse ensaiada nas dependências da Universidade Federal de Itajubá fosse realizado.

**Palavras-chave:** turbina axial, ultra-baixa queda, ensaio de eficiência mecânica.

## Ultra Low-Head Axial Turbine

### Abstract

Conventional axial turbines are turbines that operate in a low-head conditions, ie, heads between 70 and up to 5 meters. These machines operate with low pressureheights and high flow rates. For heads below 5.0 meters, the machines to operate in these conditions are still being developed. This type of machines generate economic viability, because of the facility in maintenance and non-employment of large civil works and can be installed in small channels in rural properties and communities. A scientific cooperation term between Canada and Brazil favored for a turbine model developed by a Canadian institution to be tested on the premises of the Federal University of Itajubá.

**Keywords:** axial turbine, ultra-low head, mechanical efficiency test.

### 1. Introdução

O Brasil é um país que possui uma das mais ricas bacias hidrográficas do mundo. A participação da energia hidráulica dentro da matriz energética nacional ainda é de grande significância. Mesmo em época de condições hidrológicas desfavoráveis, como vem sendo desde o ano de 2013, onde sua participação foi de 65,2% após queda (EPE, 2015).

Considerando que a geração de energia elétrica por fontes hidráulicas dentro da matriz nacional seja totalmente por hidrelétricas e pch's convencionais, com o uso de barragens, podemos afirmar que existe abertura para outras tecnologias de aproveitamento do potencial hidráulico. Dentre estas tecnologias podemos citar o aproveitamento do potencial hidráulico de quedas inferiores a 5,0 metros de altura. Geralmente quedas naturais do terreno, sem necessidade de grandes obras civis, criação de barragens e reservatórios. A estrutura básica para a instalação dessas máquinas favorecem ao empreendimento em comunidades isoladas e/ou rurais afastadas das linhas de transmissão.

As turbinas geradoras para operarem condições abaixo de 5,0 metros são tecnologias que se encontram em fase de desenvolvimento. São máquinas direcionadas

para operarem locais onde não há possibilidades de se criar reservatórios, e sim, aproveitar quedas naturais a fio d'água. Sendo assim, não exigem grandes obras civis, o que pode favorecer para o custo do empreendimento (FRASER et al, 2007).

Sua facilidade de instalação, e o fato de não comprometer com grandes impactos ao ambiente, sendo o conceito “fish-friendly” ser amplamente empregado no sistema de pás são fatores bastante favoráveis na implantação dessa tecnologia.

Devido os termos do Acordo de Cooperação Científica firmado entre a FAPEMIG e o International Science and Technology Partnership Canada – ISTP, a Universidade Federal de Itajubá, através do Centro Nacional de Referências em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH – para compor, em cooperação com a University of New Brunswick – UNB – e as instituições proponentes do Canadá e do Brasil para apresentar a proposta para o projeto de desenvolvimento e inovação tecnológica intitulada *Development of Innovative Ultra Low-head Mini-hydro Turbine-generator System*.

O modelo de turbina foi desenvolvido por uma equipe de pesquisa e desenvolvimento Canadense. Sua estrutura constitui-se de:

- Rotor de fluxo axial, sem regulação das pás, com distribuidor constituído por aletas diretrizes fixas.
- Um aspecto inovador é de que o rotor foi projeto de maneira que apresente características amigáveis aos peixes “fish-friendly hydro turbine”;
- Utiliza Gerador de Excitação Magnético Permanente (GEMP), operando em velocidade variável, podendo ser acionado por correia ou diretamente, sem caixa de amplificação de velocidades, de forma a resultar em um equipamento de custo mais baixo e mais econômico.
- Uso de duplo tubo de sucção como difusor, o qual minimiza cavitação e custos de instalação civil;
- O conjunto resulta num arranjo compacto que pode ser pré-fabricado para facilitar a instalação de unidades simples ou múltiplas;
- Para alturas de queda abaixo de 0,5m ou próxima à zero, pode ser operado como hidrocínética ou em fluxo-livre (free-stream system).

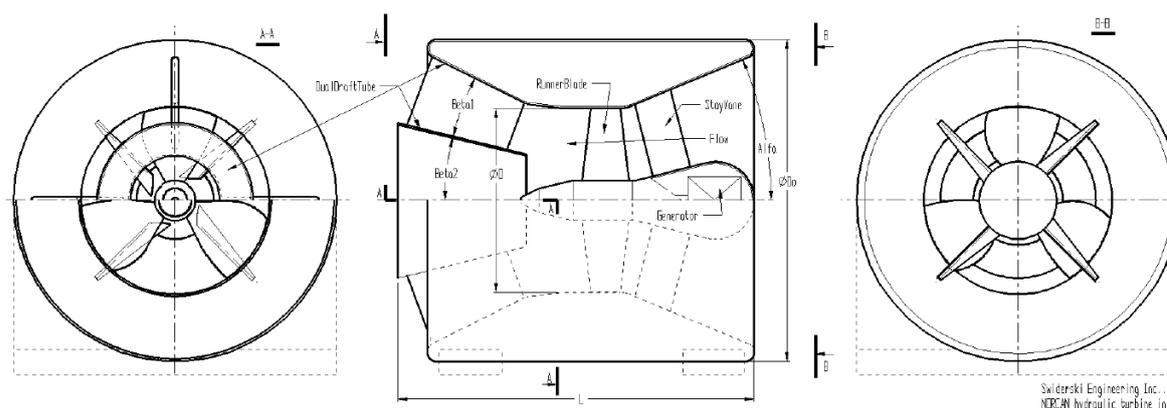


Figura 1. Conjunto do modelo de turbina (SWIDERSKI, 2014).

## 2. Materiais e Métodos

O modelo de turbina foi desenvolvido pela empresa Swiderski Engineering Inc. e manufaturado pela empresa Norcan Hydraulic Turbine Inc., ambas canadenses. Os ensaios seriam então realizados pela equipe brasileira representada por pesquisadores da Universidade Federal de Itajubá, no Laboratório Hidromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas (LHPCH).

Para a realização dos ensaios, deveriam ser adequados os sistemas de ensaio para a instalação da turbina. Com isso, foi construído um sistema de tubulação alimentado por duas bombas da marca Imbil linha ITAP-250.290, com vazão de 900 m<sup>3</sup>/h cada. A tubulação predominante possui como dimensão o diâmetro de 26,75". O modelo de turbina é montado entre um conjunto tipo Venturi, possuindo rotor com 360 mm de diâmetro.

Como mostrado na Figura 1, os tubos de sucção de recuperação de energia foram projetados em cones duplos, seguindo modelos utilizados na década de 1960. Os cones interno e externo propiciarão fluxo uniforme final sem que ocorra a separação da camada limite no final do tubo de sucção. Este conceito de projeto proporcionará menor comprimento de tubo em comparação com um único tubo de cone normal, o que economizará no custo de obras civis total da estrutura. Este conceitogarante a máxima eficiência energética do conjunto, a estabilidade hidráulica do escoamento e uma operação da turbina com o mínimo de cavitação.

A tubulação tem como saída para o retorno da água ao tanque de alimentação das bombas, um canal já existente no laboratório. Dentro deste canal há uma barreira

regulável para controle de nível e um vertedor para aferição da vazão. A instrumentação é composta por transdutores de pressão a montante e a jusante da turbina, transdutor de temperatura, e um transdutor de vazão magnético, todos interligados por uma placa de aquisição de dados. O torque é medido através de um torquímetro com display para a leitura. A rotação é medida com o uso de um tacômetro digital.

O conjunto gerador é composto por um gerador síncrono magnético permanente modelo TYF132 de 10 kW de potência nominal, conectado via acoplamento direto ao eixo do modelo de turbina. O sistema de freio se baseia em um banco de resistência líquida diretamente ligado ao gerador. Compõe ainda o sistema elétrico um inversor de frequência, ligado diretamente à rede.

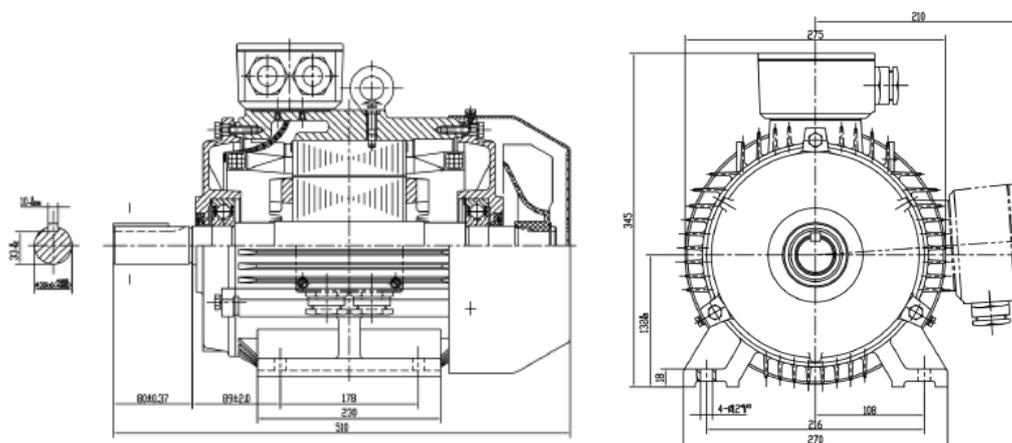
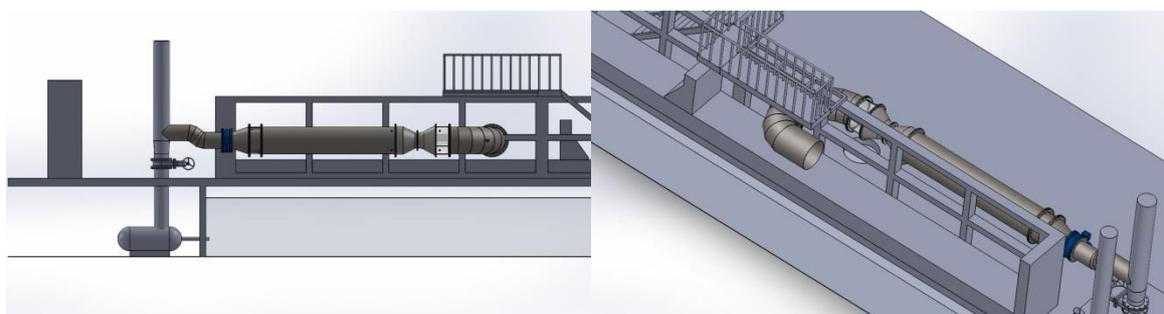


Figura 2. Gerador síncrono magnético permanente.

Tabela 1. Dados do gerador PMSG.

MODELO:	TYF 132
TIPO:	Permanent Magnet Synchronous Generator
FASES:	3 fases
POTENCIA MÁXIMA:	11 kW
POTENCIA NOMINAL:	10 kW
TENSÃO MÁXIMA:	300V
TENSÃO NOMINAL:	280V

VELOCIDADE MÁXIMA:	1630 rpm
--------------------	----------



(a)

(b)

**Figura 3.** Vistas do “lay out” da bancada de ensaios



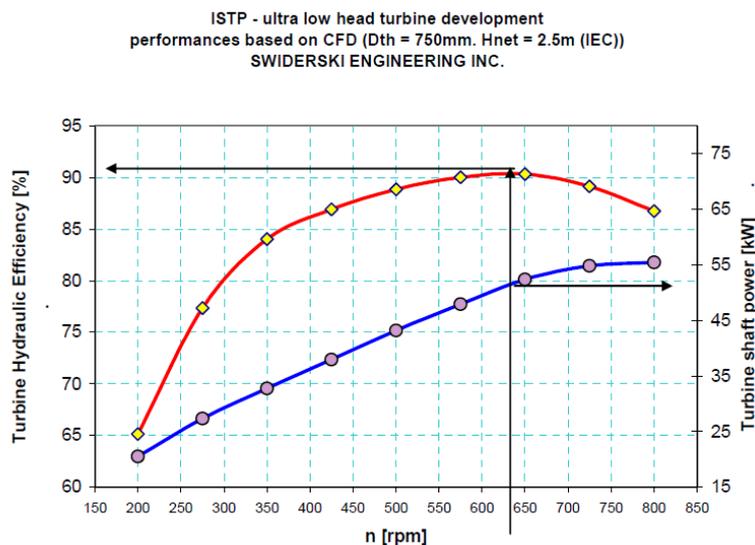
**Figura 4.** Modelo de turbina montado na bancada de ensaios.

### 3. Resultados e Discussão

O modelo de turbina foi desenvolvido inicialmente para a dimensão de 750 mm de diâmetro em seu rotor. Por ser de dimensões bastante elevadas para testes em laboratório, visto que para tal seria necessário um elevado valor de vazão e grande comprimento de tubulação para a normalização do escoamento, o seu diâmetro foi reduzido para 360mm.

No entanto, o modelo computacional já havia sido realizado e experimentado. O modelo atenderia alturas de queda entre 2,5 e 0,5 metros, e foi ensaiado tendo a altura  $H = 2,5$  metros como parâmetro fixo. Os resultados são apresentados na curva da Figura 5. A eficiência máxima atingida é de cerca 91% para uma rotação de 650 rpm.

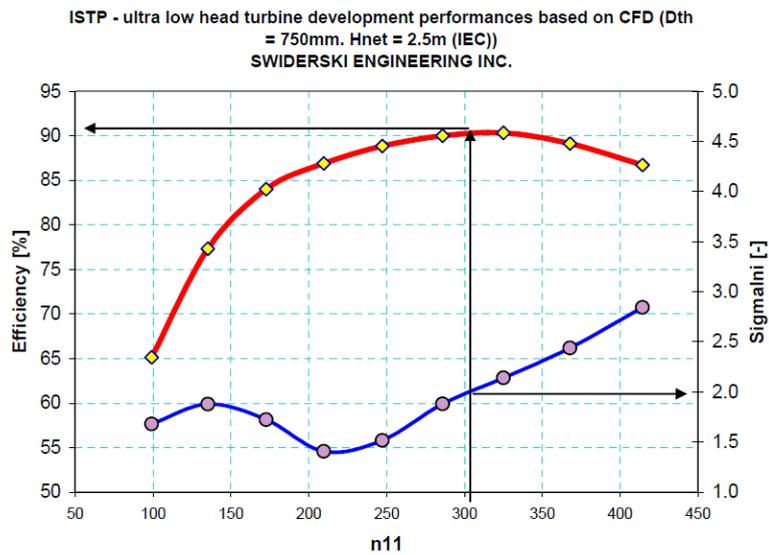
Para se determinar os parâmetros a serem adotados nos ensaios na bancada utiliza-se de transposição dos valores para máquina unitária, onde o diâmetro unitário  $D_{11} = 1$  e a altura unitária  $H_{11} = 1$ . As Equações 1 e 2 (SOUZA, 2011) resultam na obtenção da vazão unitária  $Q_{11}$  e da rotação unitária  $n_{11}$ , respectivamente. As Figuras 6 e 7 apresentam os gráficos das curvas de eficiência para uma máquina unitária, em função da rotação unitária e vazão unitária, respectivamente.



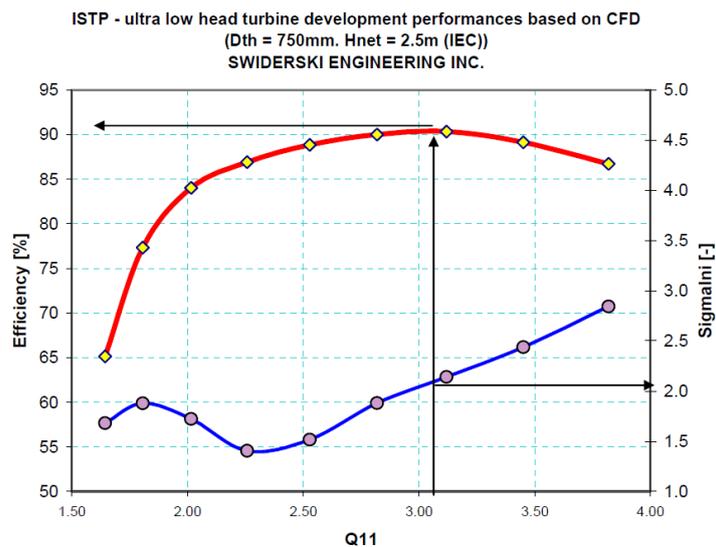
**Figura 5.** Gráfico de eficiência e potência mecânica de eixo para o modelo de 750 mm de diâmetro, na altura de queda de  $H = 2,5$  metros (SWIDERSKI, 2014).

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$n_{11} = \frac{n \cdot D}{\sqrt{H}} \quad (\text{Equação 2})$$



**Figura 6.** Gráfico de eficiência para uma máquina unitária em função da rotação unitária (SWIDERSKI, 2014).



**Figura 7.** Gráfico de eficiência para uma máquina unitária em função da vazão unitária (SWIDERSKI, 2014).

Sendo assim, utilizando-se dos cálculos para a máquina unitária e de regras de semelhança entre turbomáquinas, torna-se possível determinar os parâmetros de ensaio para o modelo de 360 mm de diâmetro. Como resultado, o modelo de turbina seria ensaiado dentro da faixa de rotações de 200 à 1500 rpm e vazões de 0,160 à 0,650 m<sup>3</sup>/s.

#### 4. Conclusão

Este trabalho tem como objetivo apresentar em sua parcialidade um projeto inovador para um aproveitamento pouco explorado ainda. Dentro do que foi desenvolvido até o momento, apresentou resultados bastante promissores para uma máquina que trabalha em condições não convencionais, com eficiência mecânica de até 91%. Quanto aos ensaios em laboratório, a bancada já foi construída e instrumentada.

Os ensaios até então realizados apresentaram resultados satisfatórios, porém, ainda não podem ser divulgados.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapemig e à equipe canadense desenvolvedora deste projeto.

#### 6. Referências Bibliográficas

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Balanço Energético Nacional 2015 – Relatório Final. Nota Técnica. EPE. Rio de Janeiro, 2016.

FRASER, R., DESCHENES, C., O'NEIL, C, LECLERC, M. “VLH : Development of a new turbine for Very Low Head sites”. Waterpower XV, 2007.

SOUZA, Z. “Projeto de máquinas de fluxo: tomo I, base teórica e experimental”. 1 Ed. Rio de Janeiro: Interciência/Acta, 2011.

SWIDERSKI ENGINEERING INC. “Development of Innovative Ultra Low-head Mini-hydro Turbine-generator System [Ultra Low-head Mini-hydro]”. Turbine design optimization - Summary Report, 2014.