

Projeto de uma pá de uma Turbina Kaplan

Fabício Luz de Almeida¹

Giancarlo Zardin Dias¹

Rogério Brittes da Silva¹

Ademar Michels²

Resumo

A turbina Kaplan é muito utilizada em usinas hidrelétricas de pequenas quedas e de grandes vazões. Devido ao grande impacto ambiental que usinas de grande porte causam, as pequenas centrais vem sendo uma solução à solicitação energética do país. Este estudo teve por objetivo desenvolver a pá de um rotor do tipo Kaplan, bem como desenvolver um memorial de cálculos da pá do rotor, calcular e dimensionar o comprimento e os ângulos de entrada e de saída. Os dados para o desenvolvimento do presente projeto consistem de uma altura de 40 m, vazão de 160 m³/s e rotação de 138,46 rpm. Também foram feitos os respectivos desenhos no software Solid Works.

Palavras-chave: Rotor. Kaplan. Turbina.

Abstract

The Kaplan turbine is widely used in hydroelectric power plants of small falls and large flows. Due to the large environmental impact that large power plants cause, small hydroelectric power plants have been a solution to the country's energy request. This study aims to develop a blade of a Kaplan turbine. As well as to develop a memorial to the calculations of the runner blade. Calculate the size and length, angle of entry and exit of the blade. The data for the development of this project consists of a height of 40 m, flow of 160 m³/s and rotation of 138.46 rpm. The design was done using the solid works software.

Keywords: Impeller. Kaplan. Turbine.

1 Introdução

Turbinas hidráulicas são máquinas de fluxo de longa história que vêm sendo projetadas, construídas e colocadas em operação há cerca de duzentos anos. Inicialmente, foram utilizadas como substitutas das milenares rodas d'água no acionamento de moinhos, teares e pequenas manufaturas. As turbinas hidráulicas são

hoje, quase que exclusivamente, destinadas à geração de energia elétrica.

Para este fim específico, qualquer motor hidráulico moderno deve preencher os seguintes requisitos técnicos básicos (QUANTZ, 1976):

1º) deve possibilitar o aproveitamento da diversidade de saltos do sistema, cobrindo ampla faixa de alturas e vazões disponíveis;

¹ Alunos do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria. E-mail: fabricioalmeida.eng@gmail.com; rogeriobs@weg.net; gianzardin@msn.com

² Professor Doutor do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria. E-mail: michels@ct.ufsm.br

2º) o aproveitamento deve efetuar-se com bons valores de rendimento e com boas características hidrodinâmicas, permitindo o acoplamento do motor hidráulico às máquinas geradoras, ainda que sejam variáveis as condições do salto (altura e vazão), de modo que a instalação seja rentável;

3º) o eixo/árvore poderá dispor-se horizontal, inclinado ou verticalmente, segundo a exigência do acoplamento às máquinas geradoras;

4º) a velocidade angular deve ser a mais elevada possível para que se consigam, dessa forma, acoplamentos diretos ou transmissões com poucas multiplicações;

5º) deve apresentar boa regulagem a fim de que sejam tão adequados quanto outros tipos de motores (turbinas a vapor e a gás, motores diesel) para o serviço nas centrais elétricas;

6º) todos os elementos importantes, especialmente os órgãos de regulagem e mancais, devem ser de fácil manutenção.

As modernas turbinas hidráulicas dos tipos Pelton, Francis, Kaplan e Hélice cumprem bem todas essas condições, superando largamente outros tipos de motores hidráulicos e competindo economicamente com outras máquinas motoras, como os motores diesel e as turbinas a vapor e a gás.

O aproveitamento dos recursos hídricos no Brasil para a geração de energia elétrica foi iniciado no final do século XIX, inicialmente com o aproveitamento através de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Porém intensificou-se após o término da Segunda Guerra Mundial, pois houve no país um grande processo de industrialização, ocasionando o aumento da demanda por energia elétrica (ELETROBRÁS, 2000).

Essa grande demanda por energia fez com que surgissem grandes empresas estatais (estaduais e federais) e construções de usinas de grande porte. Só depois de esgotados os principais aproveitamentos dos grandes recursos hídricos, com políticas de proteção ambiental restringindo a construção de grandes reservatórios, é que as chamadas PCH's (Pequenas Centrais Hidrelétricas) voltaram a

ser opção de geração de energia elétrica, com ênfase para o atendimento a comunidades isoladas ou para substituição de usinas termelétricas (MICHELS, 1999).

O trabalho proposto visa o desenvolvimento de um projeto de uma pá de uma turbina axial do tipo Kaplan. O estudo parte dos seguintes dados: vazão (160 m³/s), altura de queda (40 m) e rotação (138,6 rpm), dados encontrados em rios equivalentes ao Rio Jacuí - RS.

2 Materiais e métodos

Devido aos constantes e recentes estudos na área de geração de energia elétrica e à grande ênfase dada às fontes alternativas e renováveis, desenvolveu-se um método de projetar a pá de um rotor tipo Kaplan. O método desenvolvido nesse trabalho pode servir de referência a futuros projetistas.

A proposta de um roteiro para o cálculo de um rotor axial pela teoria clássica não pretende reduzir o projeto a uma simples seqüência de cálculos. Modernos procedimentos da aplicação do cálculo numérico do fluxo em rotores axiais permitem resultados bastante rápidos e precisos. Mesmo esses sofisticados métodos não conduzem a uma única solução (HENN, 2001).

Portanto, o objetivo é mostrar um método, de forma simples, com os conceitos teóricos abordados por vários autores reunidos de maneira a constituírem um referencial básico e de fácil aplicação para o projeto de uma máquina de fluxo axial.

Para esse tipo de máquina de fluxo os melhores resultados são obtidos pela aplicação da teoria aerodinâmica, que considera as pás como perfis aerodinâmicos isolados, imersos na corrente fluida (MATAIX, 1975).

3 Cálculos dos perfis

Para a determinação dos perfis, tomaram-se como base de cálculo as várias etapas do cálculo do rotor de uma turbina axial, do tipo Kaplan, pelo método do vórtice potencial (SOUZA, 1991). Inicialmente, calcularam-se

os diâmetros externo e interno da pá do rotor, para as condições pré-estabelecidas, obtendo-se 5,20 m e 1,21 m, respectivamente.

Para o traçado do perfil da pá, dividiu-se o diâmetro em cinco partes iguais (tabela 1). A partir dos cinco diâmetros, determinaram-se as dimensões padronizadas dos perfis Göttingen (tabela 2). Nesta tabela, estão indicadas a abscissa cartesiana X da pá, a

ordenada cartesiana superior Y^s da pá e a ordenada cartesiana inferior Y^i da pá. Uma vez determinada a forma do perfil e sua inclinação, ele será desenvolvido sobre a superfície cilíndrica correspondente. Com os cinco diâmetros considerados e a união dos diversos perfis por uma superfície tangente a eles, estará construída uma pá do rotor axial calculado (figura 1).

Diâmetro (m)	5,2	4,62	4,03	3,45	2,86	1,121
Passo - t (m)	2,04	1,81	1,58	1,35	1,12	0,44
Comprimento da pá - L (m)	2,99	3,00	2,95	2,79	2,54	1,26
Velocidade periférica u - (m/s)	37,68	33,48	29,20	25,0	20,73	8,12
Componente periférica da velocidade absoluta -	18,10	21,0	25,22	31,6	42,9	-34,39
Coefficiente de sustentação - C_s	0,43	0,49	0,59	0,76	1,09	1,82
Ângulo de ataque -	1,86	1,48	1,34	1,72	3,22	-0,51
Ângulo do perfil - β	16,19	19,52	23,88	29,88	39,68	-33,88
Fator de engrossamento	1	2,96	4,44	4,01	7,29	7,35
Ângulo de deslizamento - α	0,78	0,96	1,1	1,06	1,2	1,37
Rendimento de perfil - η_p	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	1,09
Confirmação da altura de sucção máxima - $H_{sgm\acute{a}x}$ (m)	-10,53	-8,35	-6,44	-4,79	-3,38	-14,8
Perfil Göttingen utilizado	622	622	623	364	387	387

Tabela 1 – Determinação de perfis

Diâmetro D = 5,2 m

%	0	2,5	5,0	10	20	30	50	70	90	100
y^s	0,024	0,045	0,055	0,066	0,077	0,08	0,071	0,05	0,02	0,002
y^i	0,024	0,011	0,006	0,003	0,001	0	0	0	0	0
X	0	0,0732	0,1465	0,293	0,586	0,879	1,465	2,051	2,637	2,98

Diâmetro D = 4,62 m

%	0	2,5	5,0	10	20	30	50	70	90	100
y^s	0,072	0,135	0,164	0,198	0,231	0,240	0,213	0,150	0,059	0,006
y^i	0,072	0,032	0,018	0,008	0,002	0	0	0	0	0
X	0	0,075	0,150	0,300	0,600	0,900	1,500	2,100	2,700	3,0

Diâmetro D = 4,03 m

%	0	2,5	5,0	10	20	30	50	70	90	100
y^s	0,096	0,190	0,233	0,292	0,341	0,354	0,314	0,217	0,083	0,009
y^i	0,096	0,044	0,027	0,006	0,001	0	0	0	0	0
X	0	0,074	0,148	0,295	0,590	0,885	1,475	2,065	2,655	2,95

Diâmetro D = 3,45 m

%	0	2,5	5,0	10	20	30	50	70	90	100
y^s	0,024	0,152	0,204	0,269	0,331	0,349	0,310	0,211	0,081	0,003
y^i	0,024	0,001	0,010	0,018	0,036	0,047	0,050	0,035	0,013	0,003
X	0	0,070	0,140	0,279	0,558	0,837	1,395	1,953	2,511	2,79

Diâmetro D = 2,86 m

%	0	2,5	5,0	10	20	30	50	70	90	100
y^s	0,081	0,194	0,239	0,304	0,366	0,382	0,339	0,226	0,083	0,004
y^i	0,081	0,027	0,014	0,003	0	0,005	0,011	0,011	0,004	0,004
X	0	0,06	0,13	0,25	0,51	0,76	1,27	1,78	2,29	2,54

Diâmetro D = 1,121 m

%	0	2,5	5,0	10	20	30	50	70	90	100
y^s	0,05	0,11	0,14	0,19	0,23	0,25	0,22	0,15	0,05	0
y^i	0,05	0,02	0,01	0,001	0	0	0	0	0	0
X	0	0,03	0,6	0,13	0,25	0,38	0,63	0,88	1,13	1,26

Tabela 2 – Valores dos diversos diâmetros para construção do perfil da pá Göttingen e desenho dos perfis

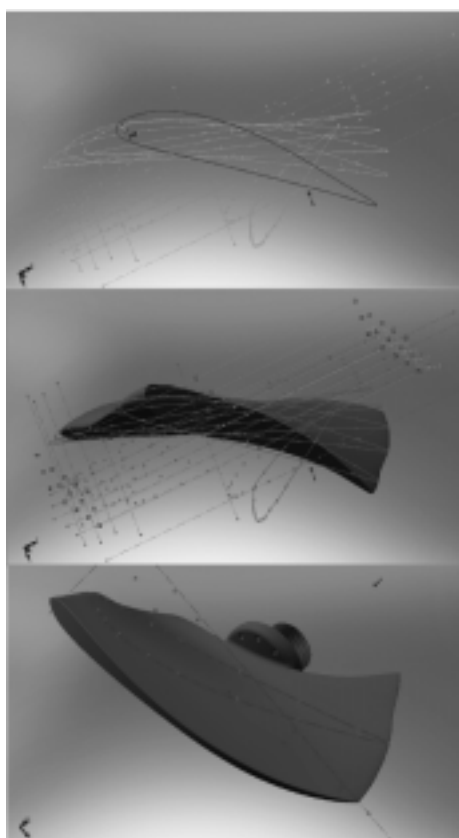


Figura 1 – Desenho dos perfis da pá

4 Resultados e discussões

Devido ao grande potencial hidroenergético ainda não explorado em nosso estado e tendo em vista o grande número de propriedades rurais de difícil acesso que ainda, em pleno século XXI, não possuem os benefícios do uso da energia elétrica, é interessante a difusão da idéia de construção de pequenas centrais hidrelétricas, com um impacto ambiental mínimo. A construção dessas usinas hidrelétricas, entre outros benefícios, mantém o agricultor no meio rural e com a energia elétrica é possível agregar valores a sua produção, incentivando a agricultura-familiar (MICHELS, 1991).

Os resultados obtidos com esse trabalho mostram a possibilidade do projeto do rotor dessas usinas. Este tipo de turbina possui, como característica principal, um alto rendimento, mesmo em baixas quedas e variações de vazões, pelo fato de ter pás móveis, o que é bastante favorável devido aos nossos rios não possuírem um fluxo de água constante durante o ano.

5 Conclusão

O princípio básico adotado para a elaboração do presente trabalho foi pesquisar as atividades que devem ser desenvolvidas para o projeto de uma pá de uma turbina do tipo Kaplan, desde sua fase de identificação ao desenvolvimento de cálculos e desenhos.

A turbina Kaplan foi escolhida, porque apresenta grandes rendimentos e tem pás móveis, possuindo um ótimo aproveitamento do fluxo da queda d'água.

Nesse artigo, adotou-se um roteiro descrito na literatura para o cálculo dos perfis deste tipo de turbina.

Outro ponto a considerar é o fato de os rendimentos calculados estarem dentro do esperado conforme a bibliografia pesquisada.

Através deste foi possível observar que o projeto de uma pá de uma turbina Kaplan, é um projeto de pesquisa e de aperfeiçoamento, envolvendo profissionais da área da engenharia habilitados e com objetivos bem claros para a obtenção de um equipamento funcional e eficaz.

Referências

ELETROBRÁS. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas,**

E. Rio de Janeiro: Centrais Elétricas Brasileiras, 2000.

HENN, E. L. **Máquinas de fluido.** Santa Maria: Ed. UFSM, 2001.

MATAIX, C. **Turbomáquinas Hidráulicas.** Madrid: ICAI, 1975.

MICHELS, A. **Sistemática para Implantação e Avaliação do Funcionamento de Micro-Usinas Hidrelétricas no Interior do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em PROMEC) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1999.

MICHELS, A. **Proposta de Modelo para Pequeno Aproveitamento Hidroenergético em Pequena Bacia Sujeito a Condicionantes Ambientais e de uso Múltiplo da Água.** Porto Alegre. Tese (Doutorado em PROMEC) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1999.

QUANTZ, L. **Motores hidráulicos.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1976

SOUZA, Z. **Dimensionamento de máquinas de fluxo.** São Paulo: E. Blücher, 1991.

