

# DESENVOLVIMENTO DE UM CÓDIGO DE PROJETO E PROCEDIMENTOS PARA GERAÇÃO DE TURBINAS AXIAIS PARA MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS

**Leonardo de Oliveira Dias – UFPA , [leonardodias22@zipmail.com.br](mailto:leonardodias22@zipmail.com.br)**  
Conjunto Orquídea, rua 2, nº16, Montese, Belém, Pará, CEP: 66070-710

Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Guamá, Rua Augusto Corrêa, 01  
CEP 66075-110 - Caixa postal 479, PABX +55 91 211-2121 - Belém - Pará – Brasil

**Fábio Alfaia da Cunha – UFPA , [alfaia@click21.com.br](mailto:alfaia@click21.com.br)**

Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Guamá, Rua Augusto Corrêa, 01  
CEP 66075-110 - Caixa postal 479, PABX +55 91 211-2121 - Belém - Pará – Brasil

**Resumo:** *Várias pesquisas já vêm sendo desenvolvidas pelo Grupo de Turbomáquinas do Departamento de Engenharia Mecânica (GTDEM), no aspecto de usufruir o grande potencial energético dos rios da Amazônia. Uma das formas é a implantação de hidrelétricas de pequeno porte, usando para isso turbinas apropriadas para baixas quedas d'água, porém, vazões consideráveis, que poderiam ajudar em percentual considerável na geração de energia nacional e não traria muitos danos à natureza, visto que uma minicentral não necessita de uma grande área para implantação. O estudo em seu desenvolvimento teve suas bases no estudo propriamente dito da Linguagem de programação AutoLISP, juntamente com o AutoCAD, onde os dados são obtidos no programa, de forma a permitir fácil acesso ao usuário tendo as informações na tela, e transformados geometricamente para o AutoCAD, usando-se um método de projeto para determinar automaticamente as dimensões da turbina de acordo com os valores de vazão e altura de queda d'água, dados de um fluxo qualquer de água, seja um rio, mar, canal ou até mesmo um igarapé. O presente trabalho é uma ferramenta poderosa capaz de, com a ajuda do usuário, projetar uma minicentral hidrelétrica em um tempo mínimo. Para isso criou-se uma rotina que executa o processo de forma automatizada, e mostra os resultados no AutoCAD com as pás e cubo da turbina formados*

**Palavras-chave:** Turbinas, programação, AutoCAD.

## 1) INTRODUÇÃO

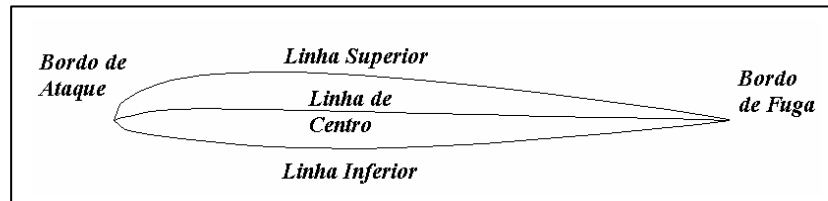
De acordo com as preocupações inerentes à atual crise na geração de energia no Brasil, tem-se como prioridade a idéia de investimento na área de geração energética em rios da Amazônia, que poderiam ajudar em percentual considerável na geração de energia nacional e não traria muitos danos à natureza, visto que uma mini ou microcentral hidrelétrica não necessita de uma grande área para implantação.

Uma ferramenta que a algum tempo já vem sendo desenvolvida em projetos de engenharia e para a visualização de máquinas são os “ambientes CAD”, que, por trabalhar com grande grau de precisão, é amplamente utilizado em projetos que exigem confiabilidade. As turbinas também podem ser visualizadas adotando-se tais ambientes CAD e obtendo-se resultados surpreendentes.

O estudo em seu desenvolvimento teve suas bases no estudo propriamente dito da Linguagem de programação AutoLISP, sendo esta interna ao AutoCAD (programa computacional que trabalha com ambientes CAD) que serve para a manipulação e criação de comandos, desde seus comandos mais básicos de formulação matemática chegando a usar a parte mais importante do estudo, que foi manusear comandos do AutoCAD dentro do AutoLISP, de uma maneira bem prática até utilizar comandos para gerar de uma forma automática um perfil asa (seção transversal das pás de uma turbina – NACA 23012).

Modelando os perfis em questão (ABOTT.A, 1971 “Theory of wing sections”), com os parâmetros (funções) dados, onde se optou por um padrão preestabelecido de perfil, as linhas de

construção da seção da pá: *linha de esqueleto*, que é uma linha ilusória tomada por base como linha central do perfil, dividindo-o exatamente ao meio; *linha superior*, linha que se encontra acima da linha de esqueleto, formando a parte superior do perfil; e *linha inferior*, linha que se encontra abaixo da linha de esqueleto, formando a parte inferior do perfil. (Ver figura I.1)



**Figura I.1: Figura esquemática de um perfil NACA23012**

Com a continuação do estudo, foi possível gerar perfis distintos, todos pertencentes à família NACA (Perfil normalizado que será detalhado posteriormente), dando continuidade a visualização do desenho do perfil, transladando o eixo que se encontrava no bordo de ataque (ponto do perfil onde o fluido incide primeiramente), para o centro geométrico do perfil, que seria o ponto médio na maior espessura do perfil. Foi também dada a opção de giro com um ângulo qualquer de construção, indicado pelo operador ciente do possível ângulo de ataque; o raio da estação também pôde ser escolhido, indicando-se o posicionamento correto da malha em cada pá em relação ao eixo central do cubo do rotor; pôde-se fazer a escolha da dimensão a ser projetada da turbina, como o tamanho do perfil e diâmetros da turbina (interno e externo)

Com essa ferramenta em mãos, o Grupo de Turbomáquinas de Engenharia Mecânica (GTDEM) e qualquer outro usuário interessado é capaz de visualizar esquematicamente a sua turbina projetada, só necessitando de dados como o número de pás, qual perfil usar, diâmetros provenientes da turbina, largura das pás, e ângulo de ataque. Já pode fazê-lo com a segurança do programa em questão, obtendo por conseguinte uma turbina completa.

O que se deseja, é que daqui a diante os projetos de pequenas centrais hidrelétricas se faça de forma automática, que se precise somente de poucos dados (como de altura de queda e vazão), aplicá-los em programas computacionais (software) e obter a turbina mais apropriada com todas as suas dimensões pré-projetadas, evitando-se a perda de tempo em cálculos conhecidos na Engenharia.

Vários estudos já tinham sido realizados com propósitos semelhantes, esperando sempre por um método eficaz, rápido e confiável de se obter uma turbina para geração de energia. Os estudos que vinham sendo feitos também foram analisados e serviram como base para o atual trabalho que foi visado na simplicidade de uso do programa para que não se encontrem problemas no ato de manuseá-lo, já que para se usar o programa não é necessário conhecimento aprofundado nem de AutoCAD nem de AutoLISP.

Objetiva-se o desenvolvimento de procedimentos de auxílio à projetos de fabricação para turbinas axiais de pequenas centrais hidrelétricas de baixa queda e também a geração de malhas de geometrias de turbinas axiais completas para o método dos volumes finitos para cálculo do escoamento 3D utilizando ferramentas de CAD e softwares comerciais específicos, visando o projeto otimizado das máquinas.

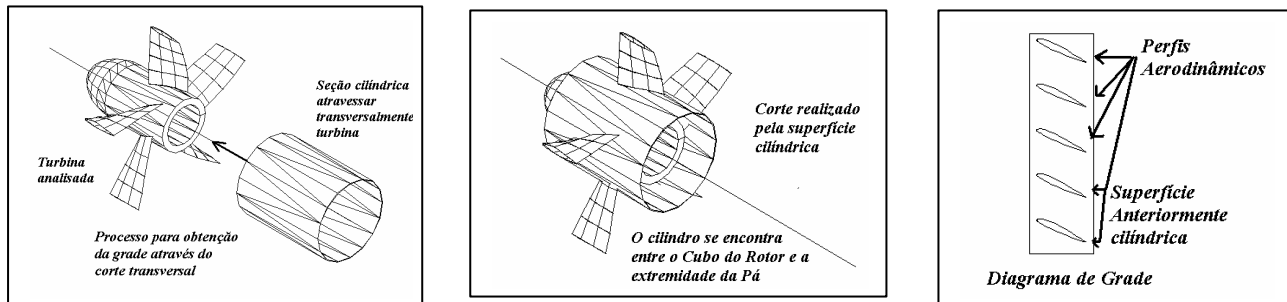
Deseja-se construir uma ferramenta capaz de, com a ajuda do usuário, projetar uma pequena central hidrelétrica. Para isso usou-se o AutoCAD juntamente com o AutoLISP a fim de criar uma rotina que execute o processo de forma automatizada, transportando esses dados para outro programa que faz a simulação do escoamento 3D (em três dimensões) em uma turbina, a fim de que se possa ter dados otimizados e concretos das dimensões da turbina, resistência das pás potência e análise total do escoamento com perfis de pressão e velocidades.

Várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas no aspecto de usufruir o grande potencial energético que os rios da Amazônia possuem. Uma das formas buscadas pelo nosso grupo de pesquisas é a implantação de hidrelétricas de pequeno porte, usando para isso turbinas apropriadas para baixas quedas d'água, porém, vazões consideráveis.

## **2) PERFIS AERODINÂMICOS E GRADES DE TURBOMÁQUINAS**

Em se tratando de turbomáquinas, o método mais utilizado para a obtenção da geometria da turbina é o método do traçado de "grade" que determina a disposição correta e inclinação dos perfis aerodinâmicos.

De maneira geral, os perfis aerodinâmicos usados em projetos possuem forma padronizada, referente a cada família de perfis, os quais são possíveis de serem analisados graças ao método de grade que seria um corte transversal às pás da turbina, formando para isso um cilindro de corte:



**Figura 2.1: Obtenção do Perfil de Grade**

Após ter sido realizado o corte cilíndrico, esta superfície é planificada, dando forma ao que denominamos “grade”.

Os perfis aerodinâmicos são separados e analisados, com o propósito que se escolha, no momento da obtenção de uma turbina, o perfil que mais se adequa às características do projeto, para um melhor rendimento da máquina.

Os perfis ao longo da pá podem ter fina espessura, como chapas ou pode ser constituído de perfis boleados e largos. Esse é o caso que geralmente é usado para o tipo de turbina aqui estudado. Os perfis boleados podem ser simétricos, onde a parte superior é semelhante à inferior, ou pode ter características totalmente diferentes de acordo com os parâmetros de projeto. Os perfis mais usuais são os padronizados, e obtidos por uma série de testes convenientes, pela National Advisory Committee of Aeronautics, NACA. Usam-se também os perfis do Instituto de pesquisa de Göttingen, que na sua nomenclatura vêm precedido das letras Gö e posteriormente o número correspondente do perfil.

A diferenciação dos perfis NACA e Göttingen também está no sistema de coordenadas, onde em Göttingen usa-se, em quase todos os casos, o eixo das abcissas tangenciando a parte inferior do perfil, já nos perfis NACA, o eixo das abcissas liga o perfil do bordo de ataque ao bordo de fuga, resultando em diferentes comprimentos de perfil (corda L), que podem ser compreendidos como comprimento das pás ou profundidade dos perfis.

### 3) ESCOLHA CORRETA DO PERFIL

Ao serem analisados os perfis de acordo com seus algarismos construtivos, nota-se que perfis mais grossos possuem um maior intervalo laminar do coeficiente de sustentação, que seria podendo-se dizer que de uma família de perfis o ângulo de ajuste da grade pode sofrer grande variação sem grande alteração no rendimento, o que não ocorre com perfis finos ou chapas. Porém, os perfis grossos apresentam maiores perdas no ponto de projeto, obtendo menores rendimentos em comparação com os perfis finos.

Somente opta-se por perfis grossos quando as razões construtivas ou de resistência forem indispensáveis, mas em todo caso procura-se trabalhar ou projetar usando perfis finos. As maiores espessuras são usadas nas turbinas nas proximidades do bordo de ataque, quando tem-se que somente haverá velocidades abaixo da velocidade do som (subsônicas), ou quando não é necessário preocupar-se com a cavitação, caso contrário, usa-se perfis finos com, no máximo 40% a 50% de posição de maior espessura, pois a camada limite laminar é possível em uma parte mais comprida do perfil.

Para a correta escolha do perfil, deve-se observar a relação de separação (o valor do passo - distância linear entre as pás, sobre o comprimento do perfil) e ainda o ângulo de construção ou graduação (retirados entre uma linha horizontal e a linha que une os bordos de ataque de dois perfis) do perfil  $\beta$ . O perfil deve formar a sustentação exigida pelo projeto de grade com a menor perda possível.

### 4) METODOLOGIA

O programa foi formulado de modo capaz de suportar a leitura tridimensional (3D\_POLY, comando do AutoCAD usado para ligar várias linhas tridimensionalmente). Assim foram construídos os perfis aerodinâmicos na forma correta para aplicação no cubo do rotor.

Procedeu-se, então a confecção do cubo do rotor de forma automática para cada dado diferente de entrada do operador (corda, ângulo de ataque e raio da estação), mantendo os padrões dimensionais de acordo com a coleta de dados de um projeto real, mantendo a sua proporcionalidade.

Usando-se o AutoLISP (linguagem de programação usada), cria-se um novo comando (*defun*) com o nome de *prog*, depois usa-se a função *setq* e cria-se as constantes para a primeira fase do programa (*ro*, *gr*, *k11*, *k12*, *k13*):

- **ro densidade da água**
- **gr aceleração da gravidade**
- **K11, k12, k13 constantes existentes em algumas relações**

Depois existe a chamada por entrada do operador, de vazão e altura de queda (*q* e *ha*), procede-se o cálculo da potência nominal (*p*) e depois aplica-se um condicional para cada valor de *p*, e fazem-se alguns cálculos para que se determine o valor de *Nq* e de outras constantes como:

- **n rotação da turbina**
- **vec velocidade específica constante**
- **dec diâmetro específico constante**
- **cp coeficiente de pressão**
- **cv coeficiente de vazão**
- **ddec diâmetro em relação a dec**
- **dcp diâmetro em relação ao cp**
- **dcv diâmetro em relação ao cv**
- **dem diâmetro externo medio**
- **dim diâmetro interno medio**
- **r1, r2, r3, r4 e r5 raios das 5 estações**

Opta-se, então, por uma repetição do restante do programa igual ao número de estações requerido e então adota-se outras constantes para a segunda parte do programa (*m*, *k1*, *ang*, *t*, *a*, *b*, *d*, *f*, *e*, *g*, *rt*, *rf*,) e os valores de entrada do operador (*c*, *teta*, *r*):

- As constantes **m**, **k1** e **t** são dados amarrados para cada perfil;
- As constantes **a**, **b**, **d**, **f**, **e** e **g** são constantes da equação para o cálculo de **yt**, que significa a cota da linha de centro do perfil, e as linhas superior e inferior;
- Os valores de entrada do operador, são os valores desejados no projeto: **c** = corda do perfil, **teta** = ângulo de construção do perfil, **r** = raio da estação em que se encontra o perfil.
- Os valores de **ang**, **rf** e **rt**, são calculados da seguinte forma:

$$\text{ang} = (\text{teta} \times p) \div 180^\circ \quad \text{rt} = 1,1019 \times t^2 \times c \quad \text{rf} = 0,00126 \times c$$

ang: transformação do ângulo de rad para graus

rt: raio do círculo que forma o bordo de ataque

rf: raio do círculo que forma o bordo de fuga

Como já foi dito, amarra-se as coordenadas do eixo X (*x1*, *x2*, *x3*, *x4*, *x5*, *x6*, *x7*, *x8*, *x9*, *x10*, *x11*, *x12*, *x13*, *x14*, *x15*, *x16*, *x17*, *x18*, *x19*, *x20*, *x21*, *x22*, *x23*, *x24*, *x25*, *x26*, *x27*, *x28*, *x29*, *x30*, *x31*, *x32*, *x33*, *x34*, *x35*, *x36*, *x37*, *x38*, *x39*, *x40*, *x41*, *x42*, *x43*, *x44*, *x45*, *x46*, *x47*, *x48*, *x49*, *x50*, *x51*, *x52*, *x53*, *x54*, *x55*, *x56*, *x57*, *x58*, *x59*, *x60*, *x61*, *x62*, *x63*, *x64*, *x65*, *x66*), que servirão, com o auxílio das devidas equações, para encontrar a coordenada no eixo Y e formar um ponto no eixo XY. Faz-se o cálculo do **yt** para cada ponto de acordo com a equação:

$$yt = \frac{t}{g} (a\sqrt{x} + bx^3 - dx - fx^2 - ex^4)$$

Yt indica a distância entre a linha de centro até uma das linhas ou inferior ou superior, e varia de perfil para perfil, pois cada um deles possui um valor de *t*, o que modifica totalmente a geometria do perfil. As outras coordenadas são constantes para qualquer família NACA.

Faz-se, então o cálculo da ordenada **yc** da linha central para cada ponto de acordo com as equações abaixo:

$$yc = \frac{k1}{6} [x^3 - 3mx^2 + (3-m).m^2 x] \quad 0 \leq x \leq m$$

$$yc = \frac{k1}{6} .m^3 .(1-x) \quad m \leq x \leq 1$$

Yc indica a coordenada *y* da linha central do perfil, já que este possui as coordenadas do eixo *x* como um parâmetro inicial.

Constroem-se, por conseguinte, os pontos da linha central ou linha de centro P(x, yc).

Passa-se para outra etapa já com a linha principal formada. Essa etapa consiste em transladar o eixo referencial que se encontrava no ponto P(0,0), para o ponto de maior largura do perfil (no nosso caso NACA23012) apenas subtraindo-se o valor da translação pelos valores da abscissa, da seguinte forma:

$$P(x, y_c) \Rightarrow P(x_c, y_c) \quad x_c = 0,15 - x$$

Os passos para a inserção dos cálculos de  $y_c$ ,  $y_t$  e  $x_c$  no programa na linguagem prefixada:

```
yt(/ (* t (- (+ (* a (sqrt x)) (* b x x x))(* d x) (* f x x) (* e x x x x))) g)
yc2 (/ (* k1 (+ (* x2 x2 x2) (- (* 3 m x2 x2)) (* (- 3 m) m m x2))) 6) } } } } m ≤ x ≤ 1
yc12 (/ (* k1 m m m (- 1 x12)) 6) } } } } 0 ≤ x ≤ m
xc2(- x2 x7)
```

Constroem-se por conseguinte os pontos transladados da linha central P( $x_c$ ,  $y_c$ ).

Passando-se para outra etapa, iremos rotacionar essa linha no novo eixo formado da seguinte maneira

- Acha-se a distância do centro ao ponto a ser rotacionado:
- Rotaciona-se o ponto da seguinte maneira:

$$d = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$$

$$y_{cr} = d \sin[ \text{atg}(y_c/x_c) + \text{ang} + p ]$$

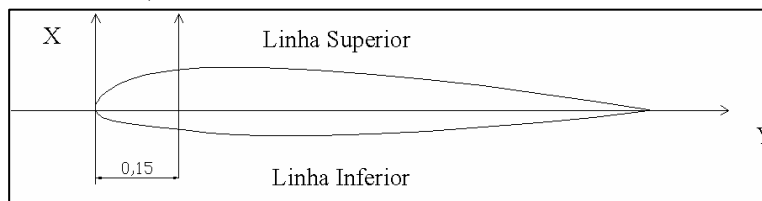
$$x_{cr} = d \cos[ \text{atg}(y_c/x_c) + \text{ang} + p ]$$

$$0 \leq x \leq 0,15$$

$$y_{cr} = d \sin[ \text{atg}(y_c/x_c) + \text{ang} ]$$

$$x_{cr} = d \cos[ \text{atg}(y_c/x_c) + \text{ang} ]$$

$$0,15 \leq x \leq 1$$



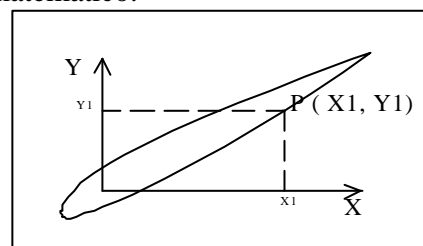
**Figura4.1. confecção do perfil**

Constroem-se os pontos rotacionados de acordo com o ângulo “teta” especificado pelo usuário.

Além da linha central, o mesmo procedimento é feito para os pontos que formam a linha superior e inferior que é obtida de acordo com o artifício matemático:

$$Xs_n = [x - Yt_n \cdot \sin(a \tan(Y_c/x))]$$

$$ys_n = [y + Yt_n \cdot \cos(a \tan(Y_c/x))]$$



**Figura 4.2. rotação do perfil**

Em uma nova fase transforma-se as coordenadas do ponto de cartesianas para cilíndricas da seguinte forma:

Inicialmente :

$$z = r \Rightarrow P(x, y, z) = P(x, y, r)$$

$$P_c = (x, y_c, z_c)$$

$$z_c = r \cdot \cos(y/r)$$

$$y = r \cdot \sin(y/r)$$

Esse mesmo passo é feito para todos os pontos do perfil, para que o desenho transforme-se totalmente, agora girado no eixo cartesiano e modelado cilíndricamente.

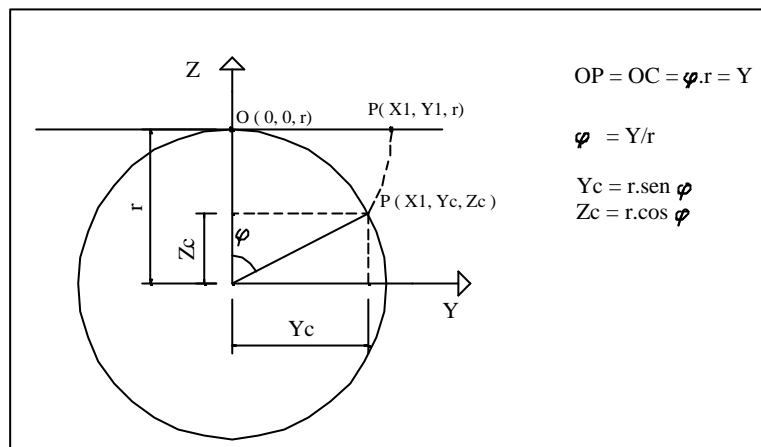


Figura 4.3: Mudança de coordenadas para a junção perfeita ao rotor

## 5) COMO USAR O PROGRAMA EM QUESTÃO?

Utilizando o software AutoCAD, em primeiro lugar escreve-se na linha de comando do AutoCAD:

(load "programa"); seguido de "enter" para carregar o programa

Aparecerá, então na linha de comando:

C:PROG; então escreva:

Prog; seguido de "enter" para confirmar o comando

Aparecerá, então na linha de comando, onde deve-se informar o que se pede:

Informe o valor da vazão (m<sup>3</sup>/s):

Após um "enter" parecerá, então na linha de comando, onde deve-se informar o que se pede:

Informe o valor da altura de queda (m):

Após este dado, seguido de um "enter" o programa terá como saída os valores de:

Nq, diâmetros interno e externo da turbina, e os **raios de cada estação** dos perfis.

Aparecerá, então na linha de comando:

Informe o valor da corda (m):

Após um "enter" parecerá, então na linha de comando, onde deve-se informar o que se pede:

Informe o valor do ângulo de rotação:

que nada mais é do que o ângulo de ataque de cada perfil. Após um "enter" parecerá, então na linha de comando, onde deve-se informar o que se pede, de acordo com o calculado na primeira fase do programa, que são os raios de cada estação que são mostrados na tela:

Informe o valor do raio da estação r:

Após essa rotina ser repetida 5 vezes, que é o número de estações escolhido para cada pá, o programa encerrará, só precisando fazer os ajustes dos comandos BOUNDARY, RULED SURFACE, REVOLVE e 3DARRAY. A turbina esquemática mostrada anteriormente pode ser obtida

## 6) MÉTODO DE OBTENÇÃO DAS PRINCIPAIS DIMENSÕES DE UMA TURBINA HIDRÁULICA AXIAL, COMO ÚNICOS DADOS A VAZÃO (Q) E A ALTURA DE QUEDA (H)

No sentido de se obter de forma mais acelerada o dimensionamento de turbinas hidráulicas axiais foi utilizado o trabalho de F. Schweiger and J. Gregori, que trata da obtenção das dimensões de uma turbina hidráulica, vinda de dados práticos estatísticos, onde os autores usam algumas relações aproximadas que facilitam os cálculos com uma boa precisão. Tal artigo pode ser utilizado com confiabilidade para turbinas de potência máxima até 2MW.

Para exemplo de aplicação do trabalho, procurou-se um caso real: os dados oferecidos foram a vazão (Q = 1,8 m<sup>3</sup>/s), e a altura de queda (H = 3,27 m), de onde retiramos os diâmetros interno e externo da turbina em questão, como muitos outros dados importantes mostrados a seguir.

De acordo com o artigo pode-se obter as dimensões de uma turbina, como o seu Diâmetro externo (De) e Diâmetro interno, tomando como base alguns dados estatísticos de coeficientes necessários para a aproximação dos resultados obtidos.

Os procedimentos usados foram os seguintes:

1- Determina-se a Potência Hidráulica da Turbina:

Dados:

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$H = 3,27m$$

$$Q = 1,8 \frac{m^3}{s}$$

$$P = g.Q.H.r$$

$$P = 57.74KW$$

2- Analisa-se o valor encontrado da potência e usa-se a relação (nº 14) abaixo para determinar o valor da sua velocidade (ou rotação) específica  $Nq$ ;

$$H = 255000.Nq^{-2}$$

$$Nq = 279,252$$

3- Para o Cálculo da Rotação (n) da Turbina, usa-se a equação abaixo (nº 1)

4- Calcula-se então, a Velocidade Específica Constante de acordo com a relação estatística abaixo (nº 2):

$$Nq = n.Q^{0.5}.H^{-0.75}$$

$$s = 0,00634 .Nq \rightarrow \rightarrow \rightarrow s = 1,77$$

$$n = 506,14 \text{ rpm} \rightarrow \rightarrow \rightarrow n = 8,44 \text{ rps}$$

5- Pode-se obter o Diâmetro específico constante de acordo com a equação (relação estatística) mostrada abaixo (nº 16):

$$J = 1,636.s^{-0.5} \rightarrow \rightarrow \rightarrow J = 1,2297$$

6- Da mesma maneira podem-se calcular o Coeficiente de Pressão e o Coeficiente de Vazão, pelas equações explícitas abaixo (if 19 e nº 21 respectivamente):

$$y = 26,1.Nq^{-0.85} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow y = 0,2175$$

$$j = 0,162 + 4,8.10^{-4}.Nq \rightarrow \rightarrow \rightarrow j = 0,296$$

7- Encontram-se Várias formulações para o Diâmetro das máquinas, como mostrado a seguir (nº 4 , nº 5 e nº 8 , respectivamente):

$$D_1 = \sqrt{\frac{g.H}{y.K_y.n^2}} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow D_1 = 647,47mm$$

$$D_2 = \sqrt[3]{\frac{Q}{j.K_j.n}} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow D_2 = 663,44mm$$

$$D_3 = \frac{J.Q^{0.5}}{K_J.(g.H)^{0.25}} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow D_3 = 657,78mm$$

8- Para se calcular o Diâmetro interno, usou-se a seguinte relação:

$$D_e = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow D_e = 656,23mm$$

$$\frac{D_i}{D_e} = 0,2718 + 27,7446.Nq^{-1} \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow D_i = 243,63mm$$

Dos valores obtidos, pode ser feita uma análise mais detalhada de  $Nq$ , indicando se o rotor é classificado como :

- Rotor lento, com pequena rotação, ou pequena capacidade de engolimento, ou grande trabalho específico, variando de  $Nq = 0$  a 30
- Rotor de média velocidade, com rotação e trabalho específico médio variando de  $Nq = 30$  a 60
- Rotor semi-axial, com grandes rotações e trabalho específico pequeno variando de  $Nq = 50$  a 150
- Rotor axial ou hélice, com rotações máximas e mínimos trabalhos específicos variando de  $Nq = 110$  a 150 ou mais.

Todos os cálculos mostrados anteriormente, também foram realizados usando a linguagem de programação em questão (AutoLISP), usando-se exatamente os mesmos critérios do artigo em questão. Criou-se então um programa total contendo todos os passos citados, com o nome de “programa”.

## 7) FERRAMENTAS CAD

Com o estudo de pontos alocados adequadamente para a confecção do perfil e da pá, juntamente com a turbina, procedeu-se a introdução do programa de visualização AutoCAD. A confecção da turbina pode ser totalmente acompanhada pelo usuário que deve deixar ativa a janela de comando, no caso que queira fazer alguma modificação. Afinal, torna-se mais fácil para o projetista, poder fazer as modificações no instante da confecção.

O sucesso do programa está no meio do projetista poder simular algumas situações de projeto, variando o passo da turbina, com um número de pás diferente, variar o tamanho das pás e usar o bom senso para inserir o ângulo de construção de cada perfil das pás.

Com a linguagem AutoLISP é usada a expressão **command** que usa um comando existente no próprio AutoCAD, o 3DPOLY da seguinte forma: (**command "\_3DPOLY"**) e dá-se os pontos ordenados. Com isso é possível, primeiramente obter os perfis que formarão cada pá da turbina.

O próximo passo é criar o cubo da turbina de modo rápido usando respectivamente os comandos: LINE, ARC, BOUNDARY, REVOLVE, RULLEDSURFACE e 3DARRAY. Acaba-se a construção da turbina.

Um exemplo de uma turbina construída de maneira aleatória usando-se o programa acima pode ser visualizado mais adiante.

Com o perfil e o cubo do rotor sendo preparados, puderam ser feitas as junções dos perfis para formar as pás, e copiá-las em torno do cubo do rotor, formando-se então a turbina de forma esquemática, de acordo com o modelo abaixo:

Dados de Entrada		Dados de Saída			
Vazão (m³/h)	Altura de Queda (m)	Velocidade Específica	Diâmetro do cubo (mm)	Diâmetro externo (mm)	Raios das estações (mm)
5	6	206,155	446,681	1099,17	R1=549,584
Dados Finais de Entrada					
Corda (mm) 1		600			
1º Ângulo de rotação (°)		75			
Raio da Estação 1		549,584			
Corda (mm) 2		600			
2º Ângulo de rotação (°)		70			
Raio da Estação 2		468,023			
Corda (mm) 3		600			
3º Ângulo de rotação (°)		65			
Raio da Estação 3		386,462			
Corda (mm) 4		600			
4º Ângulo de rotação (°)		60			
Raio da Estação 4		304,901			
Corda (mm) 5		600			
5º Ângulo de rotação (°)		60			
Raio da Estação 5		304,901			

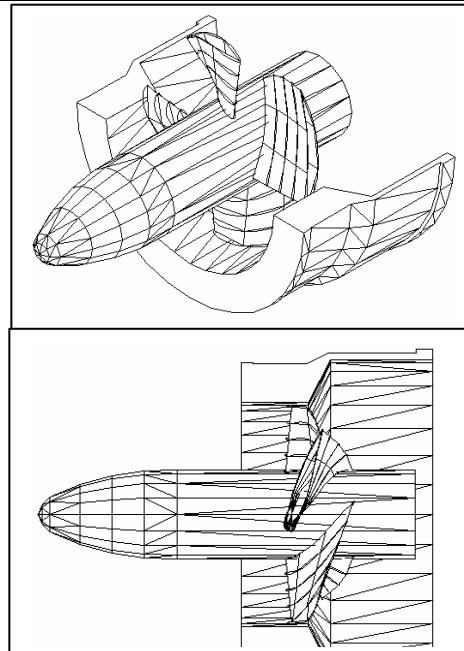


Figura 7.1 : Exemplo de turbina esquemática criada

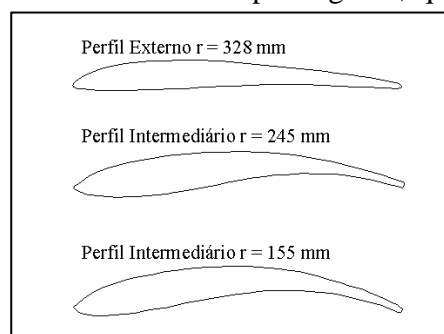


### 7.1) Análise dos Perfis usados na Turbina a ser desmontada

O método a ser iniciado para a análise dos perfis da turbina tem o seu início no método de coleta dos pontos superficiais de cada perfil, à alturas determinadas em relação à direção radial do cubo da turbina. Tendo em vista a mais fácil obtenção do perfil mais externo pelo simples método da tomada das dimensões, este foi realizado despejando material colante e marcante, aplicado em uma peça de isopor, de onde pôde-se observar, lapidar e obter informações importantes do perfil, como o seu eixo central, por exemplo.

Como no método anterior, esse perfil foi inserido no AutoCAD, com o auxílio de um novo programa, onde foram especificados os pontos colhidos em suas coordenadas “x e y”, adaptando ao programa de geração de perfis para se processar a visualização da turbina completa, e posteriormente testar o programa, comparando-o o esquema formado com a turbina real em questão.

Com os dados dos perfis coletados, foi feita a análise para a perfeita adequação no AutoCAD, usando para isso planilhas e tabelas como a do exemplo seguido, que se trata de um perfil interno à uma das pás.



**Figura 7.1.1: Perfis colhidos da Turbina em questão**

Foram tomados também os perfis de todas as pás da turbina, num total de 04 (quatro) pás, onde todos foram introduzidos no AutoCAD, para que se processasse a análise e detalhamento da Turbina. Foi feita a coleta de dados do perfil mais interno que forma a pá, aquele junto ao cubo do rotor, para isso, foram usados aparelhos adequados de medição de comprimento (paquímetro, escalímetro) e angularidade (transferidor), para que se diminuíssem as margens de erro.

Foram usados alguns métodos matemáticos para processar as medições, como o traçado de linhas paralelas e perpendiculares igualmente espaçadas ao eixo do cubo do rotor.

### 7.2) Comparar os Dados Teóricos com a Turbina Real

De acordo com os resultados obtidos em relação ao projeto teórico da turbina, pode-se fazer uma avaliação do grau de exatidão do método empregado, visto não ser este o único.

Ao se comparar os diâmetros da turbina real com a teórica, tivemos as seguintes discrepâncias:

	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)
<b>Turbina Real</b>	660	240
<b>Turbina Teórica</b>	656,23	243,63
Erro (mm)	- 3,77	3,63
Erro (%)	- 0,57%	1,51%

Com isso pode-se avaliar um bom critério de projeto para turbinas com potência Hidráulica de até 2MW.

## 8) CONCLUSÃO

Com os métodos especificados foi possível a conversão de dados teóricos para os práticos e vice-versa, obtendo assim uma e importante ferramenta para ajudar nas pesquisas em que o Grupo de Turbomáquinas de Engenharia Mecânica (GTDEM) está inserido. A Turbina que encontra-se no laboratório de turbomáquinas, já pode ser estudada mais cautelosamente, para que enfim seja implantada, na comunidade de Vila Sucupira, gerando energia a uma comunidade antes esquecida pela maioria da população.

O programa estará a disposição dos interessados no Laboratório de Engenharia Mecânica, onde poderá se tirar algumas dúvidas que não ficaram muito bem esclarecidas nesse Artigo.

Com essa nova arma tecnológica nas mãos, é possível realizar projetos de pequenas centrais hidrelétricas em um período de tempo muito mais reduzido, tendo-se com este uma base muito boa para um pré-projeto.

Sendo assim, aquelas populações que antes viviam com a ausência de energia elétrica, agora se aproxima de uma realidade antiga e mal aproveitada, que é o usufruto de uma energia infindável, de um produto tão abundante em nosso mundo, a água. Somos capazes de utilizar a energia contida nesse fluido universal, e gerar energia elétrica para que todos conheçam o seu conforto.

Espera-se agora por aperfeiçoamento de projetos que mantenham alguma parceria a este, fazendo valer todas as expectativas, em busca de uma Amazônia mais rica e auto-suficiente.

## 9) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- W. FOX, R ; T. MCDONALD, A, “Introdução à Mecânica dos Fluidos” 4º Edição Revista, Ed. LTC, 1998, Rio de Janeiro, RJ;
- BRAN, R; DE SOUZA, Z, “Máquinas de Fluxo: turbinas , bombas, e ventiladores”, 1º Edição, Ed. Ao Livro Técnico, 1980, Rio de Janeiro RJ
- KRAMER, W; KRAMER, D , “Programando em AutoLISP”1º Edição, Ed. MAKRON , MCGRAW-HILL, 1995, São Paulo SP
- Amarante Mesquita, A. L., Cruz, D. O. A., Serra, C. M. V. and Manzanares Filho, N., “A Simplified Method for Axial-Flow Turbomachinery Design”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, Vol. 21, No. 1, pp. 61-70, 1999.
- Amarante Mesquita, A. L., Cruz, D. O. A. e Manzanares Filho, N., “Análise do Critério do Coeficiente de Pressão Mínimo para Seleção de Grades de Turbomáquinas Axiais”, *Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico*, Vol. 21, No. 1, pp. 3-7, 1999.
- Cruz, A. G. B., “Desenvolvimento de uma Metodologia para Projeto de Turbinas Hidráulicas Axiais para Microcentrais Hidrelétricas”, Dissertação de Mestrado, DEM/CT/UFPA, 2000.
- Schweiger, F. and Gregori, J., “Analysis of Small Hydro Turbine Design”, *Water Power & Dam Construction*, pp. 8-11, 1990.
- Soraes Gomes, F., Amarante Mesquita, A. L., Ciocan, G. and Kueny, J. L., "Numerical and Experimental Analysis of the Flow in a Pump-Turbine Spiral Casing in Pump Operation", *Proceedings of the 17th Symposium of the International Association of the Hydraulic Research, IAHR*, pp. 249-258, Beijing, China, Sept., 1994.
- PFLEIDERER, CARL, “Máquinas de Fluxo”, Ed. Livros Técnicos e Científicos, 4º Edição, Rio de Janeiro, RJ, 1979.
- ABOOTT, A “Theory of wing sections”, Ed. Livros Técnicos e Científicos, 4º Edição, Rio de Janeiro, RJ, 1979.

## **DEVELOPMENT OF A PROJECT CODE AND PROCEDURES FOR GENERATION OF AXIAL TURBINES FOR HYDROELECTRIC MICROPLANTS**

**Leonardo de Oliveira Dias – UFPA , [leonardodias22@zipmail.com.br](mailto:leonardodias22@zipmail.com.br)**  
Conjunto Orquídea, rua 2, nº16, Montese, Belém, Pará, CEP: 66070-710

Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Guamá, Rua Augusto Corrêa, 01  
CEP 66075-110 - Caixa postal 479, PABX +55 91 211-2121 - Belém - Pará – Brasil

**Fábio Alfaia da Cunha – UFPA , [alfaia@click21.com.br](mailto:alfaia@click21.com.br)**  
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Guamá, Rua Augusto Corrêa, 01  
CEP 66075-110 - Caixa postal 479, PABX +55 91 211-2121 - Belém - Pará – Brasil

**Abstract:** Several researches have already been developed by the Turbomachines Group of the Mechanical Engineering Department (GTDEM), in the aspect of enjoying the great energy potential of the Amazonian rivers. One way is the implantation of hydroelectric power stations for small load, using for that appropriate turbines for low water falls, however, considerable flows, that could help in percentile considerable in the national energy generation and would not bring many damages to the nature, because a minicentral doesn't need a great area for implantation. The study in its development had their bases on AutoLISP's language study, together with AutoCAD, where the data are obtained in the program, in way to allow easy access to the user tends the information in the screen, and transformed geometrically for AutoCAD, being used a project method to determine the turbine dimensions automatically in agreement with the flow values and height of water fall, data of any water flow, be a river, sea, channel or even an dam. O present work it is a powerful tool capable of, with the user's help, to project a hydroelectric minicentral in a minimum time. For that it was created a routine that executes the process in an automated way and display the results in AutoCAD with the shovels and cube of the turbine formed.

**Keywords:** Turbines, programming, AutoCAD.