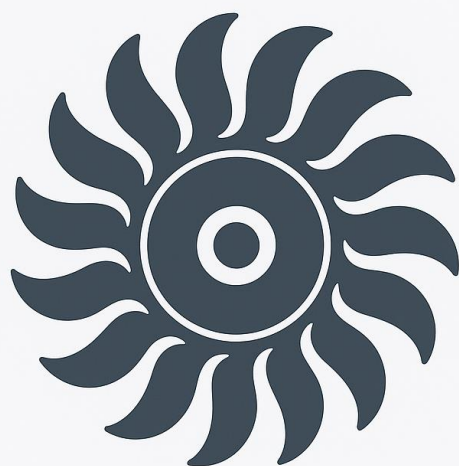




**LABORATÓRIO
DE MOTORES,
HIDRÁULICA E
PNEUMÁTICA
UERJ UNIDADE FAT**

Sumário

Turbina Pelton	3
1. Objetivos.....	3
2.2 Cálculo da Potência no eixo da Turbina Pelton	7
2.2.1 Potência medida no eixo com bocal de $\frac{1}{2}$ "	8
2.2.2 Potência medida no eixo com bocal de $\frac{3}{4}$ "	8
2.2.3 Potência medida no eixo com bocal de 1"	8
3. Tubo de Venturi	9
3.1 Definição da Vazão de escoamento do fluido	10
3.2 Definição da Velocidade do fluido no bocal de saída	10
3.2.1 Velocidade para o bocal de diâmetro de 1"	11
3.2.2 Velocidade para o bocal de diâmetro de $\frac{3}{4}$"	11
3.2.3 Velocidade para o bocal de diâmetro de $\frac{1}{2}$"	11
4. Altura Manométrica total (AMT)	12
5. Altura manométrica nas saídas dos bocais (H_m).....	17
6. Potência hidráulica (P_h):.....	18
7. Eficiência teórica (η):	18
8. Conclusão.....	19

Turbina Pelton

A turbina Pelton é uma turbina hidráulica de Alta pressão que é usada para gerar energia elétrica a partir da energia potencial da água. Ela é projetada para operar com jatos de água de alta pressão que por sua vez atinge as pás da roda da turbina em diferentes ângulos, fazendo-a girar. A turbina Pelton é usada principalmente em pequenas usinas hidrelétricas, onde a água é fornecida a partir de uma elevação significativa.

A turbina Pelton tem uma estrutura simples, é confiável e fácil de manter, e oferece uma eficiência elevada na conservação da energia da água em energia elétrica. Além disso, ela é adequada para aplicações em áreas remotas ou de difícil acesso, onde a disponibilidade de água é elevada.

A principal desvantagem da turbina Pelton é que ela requer uma alta pressão de entrada de água para funcionar eficientemente, o que significa que é necessário um bom sistema de captação e condução de água para alimentá-la. Além disso, a turbina Pelton pode ser menos eficiente do que outras turbinas hidráulicas em aplicações com vazões moderadas ou baixas de água.

1. Objetivos

O objetivo principal da turbina Pelton é converter a energia potencial da água em energia elétrica a partir de fontes renováveis, como a água. Além disso, a turbina Pelton é adequada para aplicações em pequenas usinas hidrelétricas, onde a água é fornecida a partir de uma elevação significativa. Para as análises da potência gerada no eixo da turbina, foi desenvolvido uma bancada composta por um sistema hidráulico e por um braço de Prony que é um dispositivo mecânico versátil e de fácil utilização que oferece resultados precisos e confiáveis para a medição da potência gerada no eixo. Também foi instalado um tubo de Venturi, que é um dispositivo usado para medir a vazão de fluidos, como ar ou líquidos, em uma tubulação. Na imagem abaixo é possível observar a bandada didática de turbina Pelton utilizada como suporte didático para as matérias de Máquinas de Fluxo, Instalações Industriais e Fenômenos de Transportes, assim proporcionando aos discentes do curso de

graduação de engenharia a oportunidade de presenciar uma aplicação prática de conceitos dados em sala de aula, como também uma realidade mais próxima ao mercado de trabalho.

Figura 1: Vista frontal do experimento



Fonte: Próprio Autor

2. Braço de Prony

Para fazer a medida da potência do eixo, utiliza-se um tipo de freio semelhante ao freio de cinta. O eixo de rotação da turbina Pelton é acoplado a um braço, que por sua vez, produz uma reação sobre a balança.

Onde para o cálculo é necessário levantar os seguintes dados:

- Peso da Balança
- Rotação

Figura 2: Montagem do braço de prony



Fonte: Próprio Autor

Reação de força na balança

A força exercida pelo eixo da turbina é mensurada por intermédio da reação do braço de Prony sobre a balança, abaixo pode-se observar como é feito a sua montagem.

Na tabela abaixo pode-se observar os valores obtidos na balança para as diferentes medidas de tubos.

Tabela 1: Reações de força na balança

Tubulação	1"	3/4"	1/2"
Leitura da balança (kg):	0,669	0,703	0,988

2.1 Medição da rotação

Esta medida de rotação é realizada por meio de um tacômetro (figura 3) e de uma fita reflexiva acoplada ao eixo da Roda Pelton (figura 4), esse sensor rotativo por reflexão faz a leitura da fita refletora e conforme a frequência em que a fita reflexiva passa pelo feixe de luz do led infravermelho do aparelho, é registrado a sua rotação no display do instrumento.

Figura 3: Montagem da fita reflexiva



Fonte: Próprio Autor

Figura 4: Tacômetro



Fonte: Próprio Autor

A tabela abaixo apresenta as relações de rotações x diâmetro de tubo sem a utilização do Braço de Prony:

Tabela 2: rotações x diâmetro de tubo (sem o Braço de Prony)

Sem o Braço de Prony			
Tubulação	1"	3/4"	1/2"
Rotações por minuto (rpm)			
Velocidade Angular (rad/seg)			

Também foi realizada a aquisição de dados com a utilização do Braço de Prony, que é possível se observar na tabela abaixo:

Tabela 3: rotações x diâmetro de tubo (com o Braço de Prony)

Com o Braço de Prony			
Tubulação	1"	3/4"	1/2"
Rotações por minuto (rpm)	28,0	51,6	61,0
Velocidade Angular (rad/seg)	2,9	5,4	6,3

2.2 Cálculo da Potência no eixo da Turbina Pelton

Através da utilização do freio de Prony, é possível definir a potência no eixo da turbina Pelton. Onde utiliza-se um “braço” de madeira acoplado diretamente ao seu eixo em movimento e medido a reação sobre a balança gerado pela turbina, com é definida a potência no eixo com a seguinte fórmula:

$$P_{eixo} = \frac{2\pi N}{60} (F \times r)$$

Onde:

“P” é a potência do eixo medida em **W**;

“N” é a rotação do eixo em **RPM** medido com o Tacômetro;

“F” é a massa medida pela balança em **Kg** multiplicada por 9,8;

“r” é o comprimento do braço de Prony medido em **Metros**.

Foi realizado o estudo de funcionamento da bancada com a utilização de diferentes bocais de saída, onde foi observado que dependendo do bocal utilizado a velocidade e a pressão de saída da água alterava, nesta bancada é utilizado em seu bocal de saída tubo de PVC de diâmetros de ½”, ¾”, e 1”, abaixo pode ser observado uma figura com os diferentes diâmetros de tubos de PVC utilizado na bancada de Roda Pelton.

Figura 5: Variações de diâmetro dos bocais de saída



Fonte: Próprio Autor

2.2.1 Potência medida no eixo com bocal de 1 "

Foi obtida com este bocal uma potência no eixo da Roda Pelton de 15,9W, onde através da equação de Prony, que leva em consideração a sua velocidade de rotação e peso aplicado pelo braço sobre a balança.

$$P_{eixo}^{1"} = \frac{2 \times \pi \times 28,9}{60} \times (6,5 \times 0,26) = 5,11W$$

2.2.2 Potência medida no eixo com bocal de 3/4 "

Foi obtida com este bocal uma potência no eixo da Roda Pelton de 9,69W, onde através da equação de Prony, que leva em consideração a sua velocidade de rotação e peso aplicado pelo braço sobre a balança.

$$P_{eixo}^{3/4"} = \frac{2 \times \pi \times 51,6}{60} \times (6,9 \times 0,26) = 9,69W$$

2.2.3 Potência medida no eixo com bocal de 1/2"

Foi obtida com este bocal uma potência no eixo da Roda Pelton de 5,11W, onde através da equação de Prony, que leva em consideração a sua velocidade de rotação e peso aplicado pelo braço sobre a balança.

$$P_{\text{eixo}}^{1/2"} = \frac{2 \times \pi \times 28,9}{60} \times (9,6 \times 0,26) = 15,9W$$

3. Tubo de Venturi

É composto por uma seção estreita e uma seção larga conectadas por uma seção de transição. Em geral o tubo de Venturi é uma solução precisa e eficiente para a medição de vazão de fluidos, oferecendo resultados precisos e confiáveis para a monitoração de sistemas industriais. Por meio da diferença de pressão é possível calcular a velocidade do fluido e a vazão sucessivamente, utilizando a equação de Bernoulli simplificada.

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{1 + K - \frac{D_2^4}{D_1^4}}}$$

$$Q = \frac{V_2 \pi D_2^2}{4}$$

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi D_1^2}$$

Onde:

g = Aceleração da gravidade (**9,8 m/s**);

P_1 = Pressão registrada pelo manômetro 1 em **m.c.a.**;

P_2 = Pressão registrada pelo manômetro 2 em **m.c.a.**;

D_1 = Diâmetro do tubo de 1" em **metros**;

$D_{2\text{ufa}}$ = Diâmetro do tubo de 1/2" em **metros**;

K = Coeficiente de perda de carga;

Q = Vazão do fluido em **m³/s**;

V_1 = Velocidade de escoamento do fluido no tubo de 1" em **m/s**;

V_2 = Velocidade de escoamento do fluido no tubo de 1/2" em **m/s**.

O coeficiente de perda de carga, representado por “K”, é calculado ao dividir o diâmetro da primeira seção do tubo de Venturi pelo diâmetro da segunda seção do mesmo.

Através dessa operação, é possível identificar na tabela o valor correspondente a essa divisão. Se não houver um valor exato disponível, será necessário realizar uma interpolação entre os dados apresentados na tabela abaixo:

Figura 6: Perda de cargas em reduções bruscas de seções

Perdas de carga nas reduções bruscas de seção



D/d	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	4,0	5,0	10,0	∞
K	0,15	0,25	0,34	0,38	0,41	0,44	0,46	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50

Fonte: Próprio Autor

Com isso, ao realizar a interpolação dos resultados entre 1,2 e 1,4, obtemos um valor de **0,29**.

3.1 Definição da Vazão de escoamento do fluido

Utilizando a equação de Bernoulli, discutida no tópico anterior, calculou-se a taxa de fluxo do fluido para os diversos tamanhos de bocais de saída empregados, resultando em uma média de aproximadamente **3,6 m³/h**.

3.2 Definição da Velocidade do fluido no bocal de saída

Para determinar a velocidade do fluido para cada diâmetro no bocal de saída, é utilizado a equação apresentada abaixo:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Onde:

V = Velocidade de escoamento do fluido em **m/s**;

D = Diâmetro do bocal de saída em **metros**;

Q = Vazão do fluido em **m³/s**.

3.2.1 Velocidade para o bocal de diâmetro de 1"

Foi determinada a velocidade de escoamento do fluido com base na vazão calculada no circuito para o bocal de saída de 1", abaixo pode ser observado o cálculo realizado para a definição da velocidade:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$
$$V = \frac{4 \times 0,0010}{\pi \times 0,020^2}$$

$$V = 3,18 \text{ m/s}$$

3.2.2 Velocidade para o bocal de diâmetro de 3/4"

Foi determinada a velocidade de escoamento do fluido com base na vazão calculada no circuito para o bocal de saída de 3/4", abaixo pode ser observado o cálculo realizado para a definição da velocidade:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$
$$V = \frac{4 \times 0,0010}{\pi \times 0,019^2}$$

$$V = 3,52 \text{ m/s}$$

3.2.3 Velocidade para o bocal de diâmetro de 1/2"

Foi determinada a velocidade de escoamento do fluido com base na vazão calculada no circuito para o bocal de saída de 1/2", abaixo pode ser observado o cálculo realizado para a definição da velocidade:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$
$$V = \frac{4 \times 0,0010}{\pi \times 0,016^2}$$

$$V = 4,97 \text{ m/s}$$

4. Altura Manométrica total (AMT)

O cálculo da altura manométrica total na graduação de engenharia mecânica é extremamente importante para determinar a altura à qual o fluido (água) é elevado em uma tubulação verticalmente. Para isso, será necessário primeiro determinar as perdas de carga geradas pelas paredes dos dutos de acordo com a vazão de escoamento do fluido (Figura 7) e as perdas geradas pelos acessórios utilizados (Figura 8), utilizando valores tabelados, que podem ser determinados através das Figuras 7 e 8.

Figura 7: Perda de carga em tubulações

TABELA 6 - PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES													
Tabelas de perdas de carga em 100 metros de tubos novos de ferro fundido ou aço galvanizado e PVC (valores em %)													
Vazão m³/h	PVC 3/4"	F²F³ 1"	PVC 1 1/4"	F²F³ 1 1/2"	PVC 2"	F²F³ 2 1/2"	PVC 3"	F²F³ 4"	PVC 5"	F²F³ 6"	PVC 8"	F²F³ 10"	PVC 12"
0,5	1,5	1,3	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1					
1,0	4,9	4,8	1,6	1,6	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1			
1,5	10,0	10,1	3,3	3,4	0,9	0,9	0,5	0,4	0,1	0,1			
2,0	18,5	17,2	5,4	5,8	1,4	1,5	0,8	0,7	0,2	0,2	0,1	0,1	
2,5	24,4	26,1	8,0	8,8	2,1	2,3	1,2	1,1	0,4	0,3	0,1	0,1	
3,0	33,6	36,5	11,0	12,3	2,9	3,2	1,6	1,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1
3,5	44,0	48,6	14,4	16,4	3,8	4,2	2,1	2,0	0,6	0,6	0,2	0,2	0,1
4,0	55,6	62,2	18,2	21,0	4,8	5,4	2,7	2,6	0,8	0,8	0,2	0,2	0,1
4,5	69,3	77,3	22,3	26,1	6,0	6,7	3,3	3,2	1,0	1,0	0,3	0,3	0,1
5,0	82,2	99,0	26,6	31,7	7,2	8,1	4,0	3,9	1,2	1,2	0,3	0,3	0,1
5,5	97,1		31,7	37,8	8,5	9,7	4,7	4,5	1,4	1,4	0,4	0,4	0,1
6,0			36,9	44,4	9,9	11,4	5,4	5,4	1,6	1,7	0,5	0,5	0,2
6,5			42,5	51,5	11,3	13,2	6,3	6,3	1,9	2,0	0,5	0,5	0,2
7,0			48,4	59,1	12,9	15,2	7,1	7,2	2,1	2,3	0,6	0,6	0,3
7,5			54,6	67,1	14,6	17,2	8,0	8,2	2,4	2,6	0,7	0,7	0,3
8,0			61,1	75,6	16,3	19,4	9,0	9,2	2,7	2,9	0,8	0,8	0,4
8,5			67,9	84,6	18,1	21,7	10,0	10,3	3,0	3,2	0,8	0,9	0,4
9,0			75,1	94,0	20,0	24,1	11,1	11,5	3,3	3,6	0,9	1,0	0,5
9,5			82,5		22,0	26,7	12,2	12,7	3,6	4,0	1,0	1,1	0,5
10			90,3		24,1	29,3	13,3	13,6	4,0	4,4	1,1	1,2	0,5
12					33,1	41,1	18,3	19,5	5,4	6,1	1,5	1,7	0,7
14					43,4	54,6	24,0	25,9	7,1	8,1	2,0	2,3	0,9
16					54,8	69,9	30,3	33,2	9,0	10,4	2,5	2,9	1,1
18					67,4	87,0	37,2	41,3	11,1	12,9	3,1	3,6	1,4
20					81,0		44,8	50,2	13,3	15,7	3,7	4,4	1,6
25							60,2	75,8	19,7	23,7	5,5	6,6	2,4
30							91,1		27,1	33,3	7,6	9,3	3,3
35									35,5	44,3	10,0	12,4	4,4
40									44,8	56,7	12,6	15,8	5,5
45									55,1	70,4	15,5	19,7	6,8
50									66,2	85,6	18,6	23,9	8,1
55									78,2	100,0	22,0	28,5	9,6
60									91,1	115,0	25,6	33,5	11,2
65											29,5	38,9	12,9
70											33,5	44,6	14,6
75											37,8	50,7	16,5
80											42,4	57,1	18,5
85											47,1	63,8	20,6
90											52,1	71,0	22,7
95											57,2	78,4	25,0
100											62,6	86,2	27,3
120											86,1		37,6
150													55,6
200													91,9
250													155,0
300													211,1
350													269,4
400													330,4

- Valores de Perda de Carga para PVC obtidos através da Fórmula de Hazen-Williams:

$$J = 10,666135 \times \frac{Q^{1,8527}}{D^{4,8704}}$$

- Valores de Perda de Carga para aço galvanizado e ferro fundido obtidos através da equação de Hazen-Williams:

$$J = 10,666135 \times \frac{Q^{1,8527}}{D^{4,8704}}$$

Onde: J - Perda de carga em m/m
Q - Vazão em m³/s
D - Diâmetro em m

Fonte: Schneider Bombas Hidráulicas

Figura 8: Perda de carga em acessórios

TABELA 7 - PERDA DE CARGA EM ACESSÓRIOS										
Tabela de perdas de cargas localizadas em conexões, considerando-se os comprimentos equivalentes em metros de canalização										
CONEXÃO	MATERIAL	Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização								
		3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90°	PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
	Metál	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45°	PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
	Metál	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90°	PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
	Metál	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45°	PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
	Metál	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem direta	PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
	Metál	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de saída lateral	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metál	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de saída bilateral	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metál	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União	PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
	Metál	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Saída de canalização	PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
	Metál	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de redução (")	PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
	Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto	PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
	Metál	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto	Metál	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de ângulo aberto	Metál	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé com crivo	PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
	Metál	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Válvula de Retenção	Horizontal	Metál	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	10,4
	Vertical	Metál	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	16,1

Fonte: Próprio Autor

Após a listagem dos acessórios utilizados na sucção e recalque do sistema hidráulico e a determinação das perdas de carga de cada um através dos valores apresentados na Figura 8, foram obtidos os valores das perdas de carga geradas pelos acessórios, como pode ser observado nas tabelas abaixo:

Tabela 4: acessórios utilizados na sucção

Sucção		
Peças	Quantidade	Comprimento equivalente
Flange	1	0,1
Adaptador	3	0,3
Adaptador união	2	0,2
joelho 90	2	3
T passagem direta	1	0,9
registro	1	0,2
Σ	10	4,7 m.c.a.

Tabela 5: Acessórios utilizados no recalque

Recalque		
Peças	Quantidade	Comprimento equivalente
adaptador	11	1,1
joelho 90	4	6
união	3	0,3
t passagem direta	4	0,9
registro	3	0,6
t saída lateral	1	3,1
saída 45	1	0,4
Σ	27	12,2 m.c.a.

Após a determinação da perda de carga gerada pelos acessórios, foi calculado o fator de correção, que resultou em 0,144 conforme a Figura 7, levando em consideração a vazão de escoamento do fluido e a medida do tubo utilizado.

Para o cálculo da AMT (Altura Manométrica Total) do sistema hidráulico basta calcular a amt na sucção e no recalque e depois somar as duas, para o cálculo na sucção é utilizado a fórmula apresentada abaixo:

$$Amt_{sucção} = (H_s + (Cl_s + Pc_s) \times Fc) \times 1,42$$

$$Amt_{recalque} = (H_r + (Cl_r + Pc_r) \times Fc) \times 1,42$$

Onde:

Amt = Altura Manométrica Total em **psi**;

H_s = Altura de sucção, medida a partir do eixo da bomba em **metros**;

H_r = Altura de recalque, medida a partir da saída da bomba em **metros**;

Cl_s = Comprimento linear do sistema hidráulico de sucção em **metros**;

Cl_r = Comprimento linear do sistema hidráulico de recalque em **metros**;

Pc_s = Perda de carga gerada pelos acessórios utilizados na sucção do sistema hidráulico;

Pc_r = Perda de carga gerada pelos acessórios utilizados no recalque do sistema hidráulico;

F_c = Fator de correção;

Altura manométrica na sucção:

$$Amt_{sucção} = (H_s + (Cl_s + Pc_s) \times F_c) \times 1,42;$$

$$Amt_{sucção} = ((-0,125) + (0,57 + 4,7) \times 0,144) \times 1,42;$$

$$Amt_{sucção} = 0,90 \text{ psi.}$$

Altura manométrica na sucção:

$$Amt_{recalque} = (H_r + (Cl_r + Pc_r) \times F_c) \times 1,42;$$

$$Amt_{recalque} = (0,51 + (2,29 + 12,2) \times 0,144) \times 1,42;$$

$$Amt_{recalque} = 3,68 \text{ psi.}$$

Após realizados os cálculos obteve-se os valores para a $Amt_{sucção}$ e para a $Amt_{recalque}$ logo após os valores foram somados e se obteve a Amt_{total} .

Tabela 6: Altura manométrica total

Altura Manométrica	
Amt na sucção	0,90
Amt no recalque	3,68
Amt total	4,58 psi

5. Altura manométrica nas saídas dos bocais (H_m)

É a energia hidráulica adicionada ao fluido pela bomba, expressa em metros de coluna d'água (m.c.a.). Calculada pela diferença de pressão, velocidade e altura geométrica entre a sucção e o recalque.

$$H_m = \frac{P_3}{\rho g}$$

Onde:

H_m = altura manométrica (**m.c.a.**);

P_3 = pressão registrada pelo manômetro 3 em **Pa**;

ρ = densidade do fluido em **Kg/m³**;

g = aceleração da gravidade em **m/s²**.

Caso 1 – 1"

Pressão medida: 2,2 psi → 15168,5 Pa

$$H_m = \frac{15168,5}{1000 \times 9,8} \rightarrow H_m = 1,55 \text{ m.c.a.}$$

Caso 2 – ¾"

Pressão medida: 4 psi → 27579 Pa

$$H_m = \frac{27579}{1000 \times 9,8} \rightarrow H_m = 2,81 \text{ m.c.a.}$$

Caso 3 – ½"

Pressão medida: 7,2 psi → 49642,3 Pa

$$H_m = \frac{49642,3}{1000 \times 9,8} \rightarrow H_m = 5,06 \text{ m.c.a.}$$

6. Potência hidráulica (P_h):

A potência hidráulica representa a taxa de energia que a bomba transfere ao fluido sob a forma de pressão e velocidade. Trata-se, portanto, da “potência útil” efetivamente entregue ao escoamento, antes de se considerar perdas mecânicas e elétricas.

Matematicamente, é expressa pela relação

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H$$

Onde:

P_h = Potência hidráulica em **w**;
 ρ = Densidade do fluido em **Kgf/m³**;
 Q = Vazão volumétrica em **m³/s**;
 H = Altura manométrica em **metros**.

Caso 1 – 1”

$$P_h = 1000 \times 9,8 \times 0,0010 \times 1,55 \rightarrow P_h = 15w$$

Caso 2 – ¾”

$$P_h = 1000 \times 9,8 \times 0,0010 \times 2,81 \rightarrow P_h = 27w$$

Caso 3 – ½”

$$P_h = 1000 \times 9,8 \times 0,0010 \times 5,06 \rightarrow P_h = 49w$$

Essa equação mostra que a potência hidráulica depende diretamente da **quantidade de fluido bombeada por unidade de tempo (Q)** e da **altura manométrica (H)** que a bomba é capaz de vencer.

7. Eficiência teórica (η):

A eficiência teórica de uma bomba é a medida de quão bem ela converte a potência fornecida ao eixo em potência hidráulica transmitida ao fluido. Em outras

palavras, indica a fração da energia fornecida que realmente é aproveitada para elevar a vazão e a altura manométrica, desconsiderando perdas externas.

Ela é definida pela razão entre a potência no eixo e a potência hidráulica:

$$\eta = \frac{P_{eixo}}{P_{hidráulica}}$$

Onde:

η = Eficiência teórica;

P_e = Potência no eixo em **w**;

$P_{hidráulica}$ = Potência hidráulica em **w**.

Caso 1 – 1"

$$\eta = \frac{5}{15} = 33\%$$

Caso 2 – ¾"

$$\eta = \frac{9}{27} = 33\%$$

Caso 3 – ½"

$$\eta = \frac{15}{49} = 30\%$$

Na prática, a potência hidráulica é sempre menor que a potência fornecida ao eixo da bomba, pois parte da energia se perde por atrito nos mancais, turbulência, vórtices internos e aquecimento. Por isso, a relação entre a potência hidráulica e a potência no eixo define a **eficiência da bomba**.

8. Conclusão

O que aconteceu nos três bocais:

Resumindo os cálculos da apostila:

Bocal 1"

- Potência hidráulica: ~**15 W**
- Potência no eixo: ~**5 W**
- Eficiência ≈ **33%**

Bocal $\frac{3}{4}$ "

- Potência hidráulica: ~**27 W**
- Potência no eixo: ~**9 W**
- Eficiência ≈ **33%**

Bocal $\frac{1}{2}$ "

- Potência hidráulica: ~**49 W**
- Potência no eixo: ~**15 W**
- Eficiência ≈ **30%**

Por que a eficiência do tubo de $\frac{1}{2}$ " ficou menor?

Perdas por velocidade muito alta

Velocidades maiores geram mais **turbulência**, perdas por **atrito** e **dispersão do jato** ao atingir as pás. Resultado: mais energia hidráulica disponível, mas menos aproveitada no rotor.

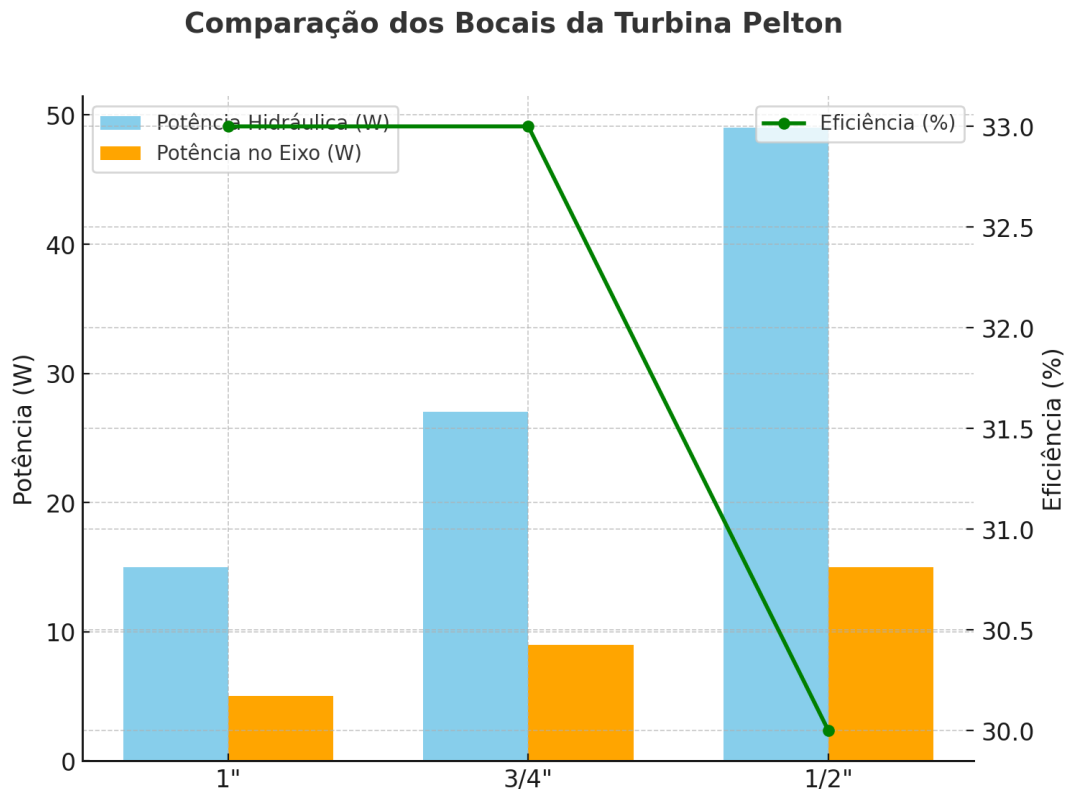
Limitação geométrica da pá da Pelton

As pás foram projetadas para receber um jato de determinada espessura.

O jato fino ($\frac{1}{2}$ ") não ocupa toda a superfície útil da concha → há perda de aproveitamento.

De forma resumida podemos concluir que, A eficiência caiu no bocal de $\frac{1}{2}$ " porque a maior velocidade e as maiores perdas por atrito, turbulência e desalinhamento prejudicam o aproveitamento da energia no rotor da turbina, conforme podemos observar nos gráficos abaixo:

Figura 9 comparação dos bocais



Legenda: As **barras azuis** mostram a potência hidráulica, as **barras laranja** mostram a potência no eixo, a **linha verde** mostra a eficiência

Fonte: Próprio autor

Portanto diante das análises realizadas, podemos destacar que os bocais de 1" e $\frac{3}{4}$ " mantêm uma eficiência semelhante, enquanto o bocal de $\frac{1}{2}$ " entrega mais potência hidráulica, mas a eficiência cai quando comparada aos bocais de $\frac{3}{4}$ " e 1", diante das análises concluiu-se que a perda de potência no bocal de $\frac{1}{2}$ " é justificada pelas perdas (velocidade muito altas) e aproveitamentos do jato menos eficiente do jato devido a geometria das pás.