



Universidade Santa Cecília
Faculdade de Engenharia Mecânica

Energia das ondas

Alfredo Ferrari Junior
Filippo Lorenzini
Gilmar dos Santos Correia
Leandro Migliard Magalhães
Lucas Monteiro Ramos

Santos - SP
15/12/2012



Energia das ondas

- ✓ Introdução
- ✓ O fenômeno das ondas
- ✓ Gerador elétrico
- ✓ Turbina
- ✓ Vaso de pressão
- ✓ Tubulação
- ✓ Cilindro (bomba alternativa)
- ✓ Estrutura metálica (braço)
- ✓ Flutuador
- ✓ Análise estatística
- ✓ Conclusão



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Energia das ondas

Introdução

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Introdução

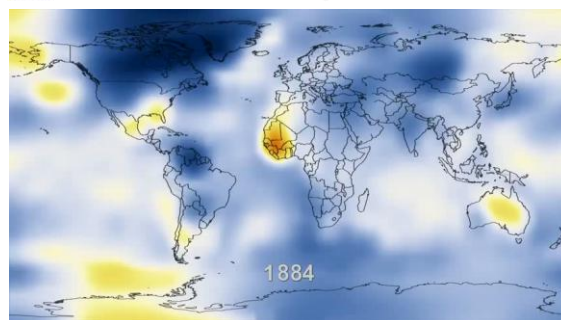
Crescimento descontrolado
+
Despreocupação ambiental
||
Trágicas consequências



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Introdução



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



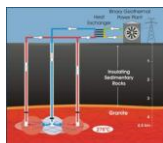
Introdução



Energia Solar



Energia Eólica



Energia Geotérmica



Energia Oceânica

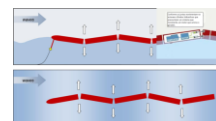
UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



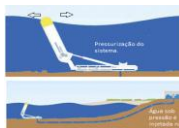
Introdução



AWS - Archimedes Waves Swing (Holanda)



Pelamis (Portugal)



Oyster (Escócia)



Usina de ondas - Pecém (Brasil)

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Introdução

Por que a energia oceânica?

- ✓ Pouca pesquisa e exploração
- ✓ 9.000 km de costa litorânea



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



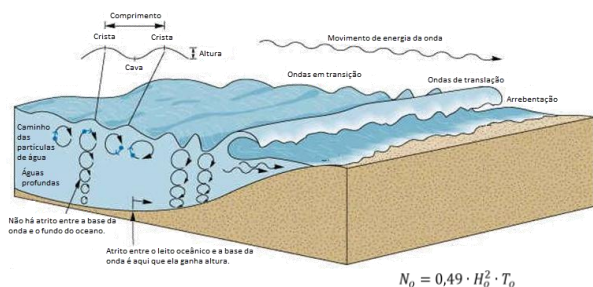
Energia das ondas

O fenômeno das ondas

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



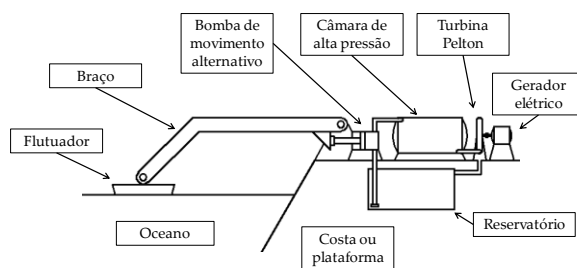
O fenômeno das ondas



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



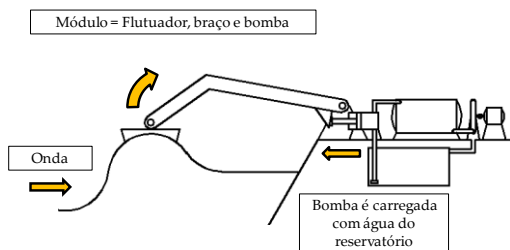
O fenômeno das ondas



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



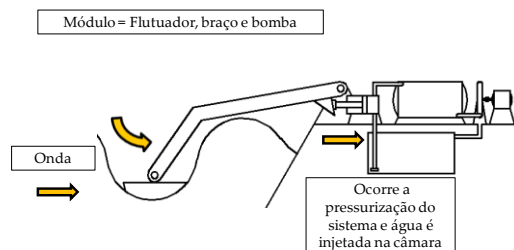
O fenômeno das ondas



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



O fenômeno das ondas



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



O fenômeno das ondas



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Energia das ondas

Gerador elétrico

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Gerador elétrico

Gerador assíncrono (indução):

- Variação de altura e frequência das ondas provocam variações na rotação do eixo.



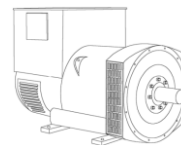
UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Gerador elétrico

Selecionamento:

- Padronizando o valor da potência;
- Definindo potência necessária.



$$N_{req.} = \frac{N_{nom.}}{\eta_{ger.}}$$

$$N_{req.} = \frac{55 \text{ kW}}{0,907} = 61 \text{ kW}$$

Gerador
Produzir 55 kW
Necessita 61 kW

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Gerador elétrico

Vantagens:

- Simplicidade;
- Robustez;
- Baixo custo de aquisição e manutenção.



Desvantagens:

- Absorvem potência reativa do sistema;
- Necessitam de banco de capacitores para correção de fator de potência.

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Energia das ondas

Turbina

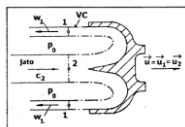
UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Turbina

Turbina Pelton:

- Máquina de fluxo de ação na qual o fluxo de água incide sob a forma de jato sobre o rotor que possui pás em forma de duas conchas.



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Turbina



Turbina
Produzir 61 kW
Pressão 7000 kPa
Necessita 0,01 m³/s

$$N_e = P_t \cdot Q \cdot \eta_h$$

Módulo e Oceano

2 módulos
8 ondas por minuto
1,6 metros de altura



$$Q = \frac{L_c}{L_b} \cdot H_o \cdot \frac{D_c^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{B_o}{60} \cdot B_c$$

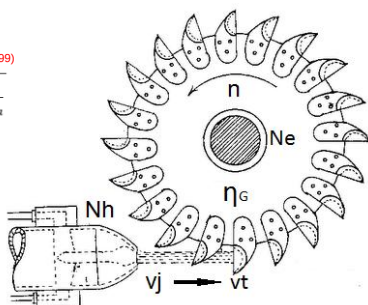
UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Turbina

$$v_j = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{P_t}{\rho_{\text{água}}}} \quad (0,96 \text{ a } 0,99)$$

$$D_j = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_j}}$$



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



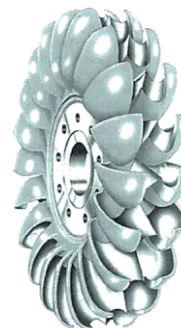
Turbina

- ✓ Considerando pressão = 7000 kPa.
- ✓ Rendimento hidráulico = 89,5%.
- ✓ Potência no eixo do gerador = 61 kW.
- ✓ Pode-se obter vazão e o diâmetro do jato.

$$Q = \frac{61000 \text{ W}}{7000000 \text{ Pa} \cdot 0,895} = 0,00974 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cong 0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v_j = 0,96 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{7000000 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3}{1000 \text{ kg}}} = 113,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_j = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 113,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = 0,0106 \text{ m ou } 10,6 \text{ mm}$$



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Turbina

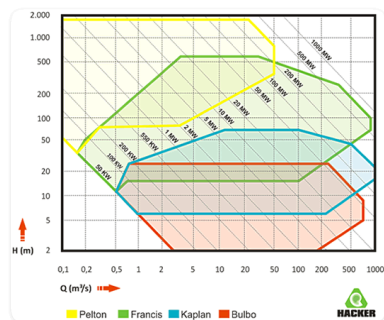
Característica	Valor	Unidade
Potência no eixo	61	kW
Pressão	7000	kPa
Vazão requerida	0,01	m³/s
Velocidade do jato	113,6	m/s
Diâmetro do injetor	10,6	mm



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Turbina



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Turbina

Vantagens:

- Curva de eficiência plana;
- Rendimento de até 93%.

Desvantagem:

- Erosão*.



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Energia das ondas

Vaso de pressão

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Vaso de pressão

O volume do vaso será o volume necessário para manter o sistema entre uma onda e outra com um fator de segurança.

$$V_{nec} = Q \cdot T_o$$

$$V_{nec} = 0,01 \frac{m^3}{s} \cdot 7,5 s = 0,075 m^3$$

$$V_{real} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l$$

$$V_{real} = \frac{\pi \cdot (0,4 m)^2}{4} \cdot 1,2 m = 0,150 m^3$$

$$V_{real} = \frac{V_{real}}{V_{nec}} = 2,011$$

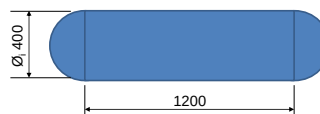


UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Vaso de pressão

Diâmetro interno (mm)	Comprimento do casco (mm)	Pressão de projeto (Mpa)	Temperatura de projeto (°C)	Sobre-espessura para corrosão (mm)
400	1200	8,0	140	6

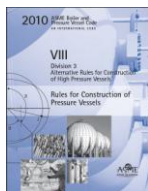


UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Vaso de pressão

O vaso de pressão será dimensionado de acordo com as normas ASME II e VIII.



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Vaso de pressão

Espessura do casco:

$$t_c = \frac{P_p \cdot R}{S_v \cdot E_v - 0,6 \cdot P}$$

$$t_l = \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot S_v \cdot E_v + 0,4 \cdot P}$$

$$t_c = \frac{8 \cdot 200}{108,33 \cdot 0,85 - (0,6 \cdot 8)} + 6$$

$$t_l = \frac{8 \cdot 200}{2 \cdot 108,33 \cdot 0,85 + (0,4 \cdot 8)} + 6$$

$$t_c = 24,33 \text{ mm}$$

$$t_l = 14,54 \text{ mm}$$

Escolhe-se o maior valor = 25,4 mm (padronizado)

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Vaso de pressão

Espessura do tampo:

$$t_t = \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot S_v \cdot E_v - 0,2 \cdot P} + C_v$$

$$t_t = \frac{8 \cdot 200}{2 \cdot 108,33 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 8} + 6$$

$$t_t = 14,76 \text{ mm} \rightarrow 15,9 \text{ mm (Padronizado)}$$

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Energia das ondas

Tubulação

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Tubulação

Métodos para dimensionar a tubulação:

- Velocidade do fluido
- Espessura da parede



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Tubulação

- Utilizamos dois métodos:

- Velocidade do fluido
- Espessura da parede

$$v_f = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_i^2}$$

ANSI B.36.10

$$t_p = \frac{P_t \cdot D_i}{2 \cdot (S_p \cdot E_p + P_t \cdot Y - P_t)} + C_p$$

ASME B.31

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Tubulação

- Velocidade do fluido:

- Compara-se o valor encontrado com o valor requerido

$$v_f = \frac{4 \cdot 0,01}{\pi \cdot 0,0779^2} = 2,098 \frac{m}{s}$$

- Espessura da parede:

- Função da pressão interna do fluido

$$t_p = \frac{7 \cdot 10^6 \cdot 0,0779}{2 \cdot (137,9 \cdot 1,0 + 7 \cdot 0,4 - 7) \cdot 10^6} + 0,004$$

$$t = 0,00604 \text{ m ou } 6,04 \text{ mm}$$

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Tubulação

- Escolha da tubulação:

- Tubo Ø3" Aço Carbono A 106 Gr B S/C serie 80/XS/80S ANSI B.36.10

- Acessórios deverão atender a classe 1500 lbs conforme ASME B.16.5



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Usina de ondas

Cilindro (bomba alternativa)

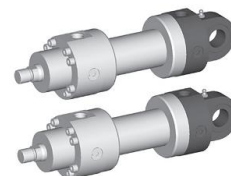
UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Cilindro (bomba alternativa)

- Pressão de trabalho = 7000 kPa
- Vazão necessária = 0,01 m³/s
- Características da bomba

Êmbolo = Ø 320 mm
Curso máximo = 1512 mm
Haste = Ø 200mm



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Cilindro (bomba alternativa)

- Força necessária para o sistema funcionar:

$$F_r = P_b \cdot A_a$$

$$F_r = 8050 \cdot 0,080 = 644 \text{ kN}$$



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Usina de ondas

Estrutura metálica (braço)

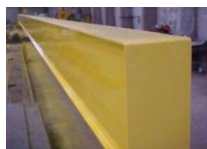
UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Estrutura metálica (braço)

- Métodos para o dimensionamento

- Cargas de Vento NBR 8400
- Software Ftool
- Viga caixão em aço ASTM A 242



$$\sigma = \frac{M_f \cdot Z}{I} \leq \frac{S_{vc}}{s} \quad \tau_{adm.} \geq \frac{F_c \cdot M_{vc}}{I \cdot t_{vc}}$$

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Estrutura metálica (braço)

Início dos Cálculos:

- Comprimento
- Apoios
- Momento Fletor
- Dimensionamento da viga caixão

	t_w	t_w
	t_f	t_f
	b	d
d :	1200	mm
b :	500	mm
t_w :	13	mm
t_f :	13	mm
y :	600	mm
A :	4.3524e+04	mm ²
I :	0.008085	m ⁴

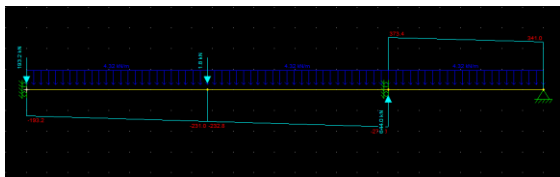
UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Estrutura metálica (braço)

Gráfico gerado pelo Ftool

- Força Cortante



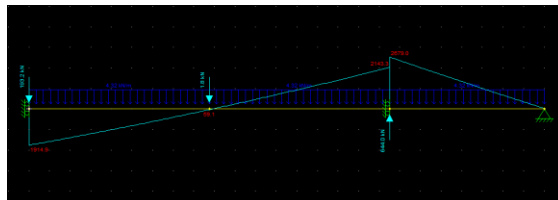
UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Estrutura metálica (braço)

Gráfico gerado pelo Ftool

- Momento Fletor



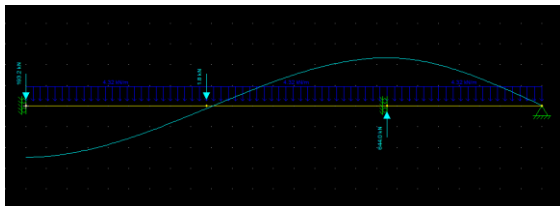
UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Estrutura metálica (braço)

Gráfico gerado pelo Ftool

- Deflexão



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



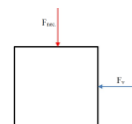
Estrutura metálica (braço)

- Cargas de Vento NBR 8400

- Sistema de forças

$$F_v = C_a \cdot A_l \cdot P_a$$

$$233,3 \cdot 10^6 \text{ Pa} \leq 246 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Estrutura metálica (braço)

- Tensão de Cisalhamento
- Deflexão



d:	1200 mm
b:	500 mm
t _w :	13 mm
t _f :	13 mm
t _r :	600 mm
A:	4.3524e+04 mm ²
I:	0.008085 m ⁴

$$\tau_{adm.} \geq \frac{F_c \cdot M_{vc}}{I \cdot t_{vc}}$$

$$8 \cdot 10^{10} Pa \geq 13,24 \cdot 10^4 Pa$$

AWS D1.1 – 0,001 mm/mm de vão.

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Usina de ondas

Flutuador

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Flutuador

- Princípio de Arquimedes:



$$F_e \geq G$$

$$V_c = 18,85 m^3$$

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Energia das ondas

Análise estatística

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



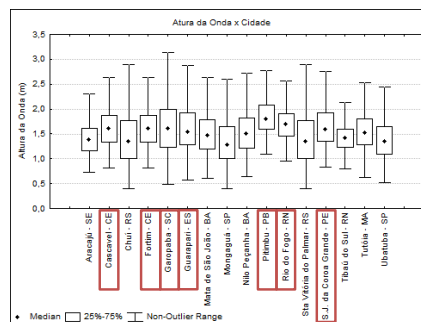
Análise estatística



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



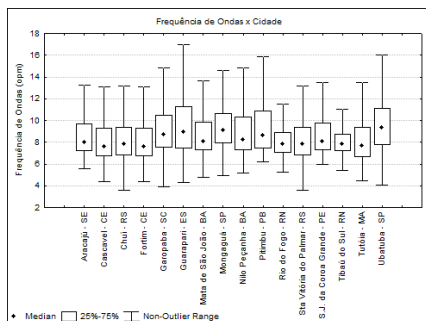
Análise estatística



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



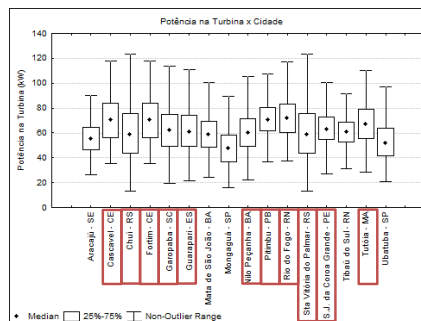
Análise estatística



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Análise estatística



UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Energia das ondas

Conclusão

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Conclusão

- É tecnologicamente viável.
- Há condições naturais favoráveis.
- Mais módulos, mais energia.

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Energia das ondas



“Análise estatística da ocorrência de ondas em praias brasileiras e seu potencial para a geração de energia elétrica”



“Projeto e estudo de viabilidade de uma micro usina de ondas”

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA



Energia das ondas

“Nada é permanente, exceto a mudança.”

(Heráclito)

Obrigado!

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA