

**Universidade Federal do Maranhão**  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica



I Seminário de Acompanhamento Interno

# **ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DUAL DE ARMAZENAMENTO EM MICRORREDES ISOLADAS BASEADAS EM ENERGIA DE CORRENTES DE MARÉ**

Orientando: Thiago Luis Campos Gomes

Orientador: Dr. Prof. Osvaldo R. Saavedra Mendez

Coorientador: Dr. Prof. Pedro Leite Bezerra Neto

12/04/2019

# Roteiro da Apresentação

- 1 Introdução
- 2 Energias Oceânicas
- 3 Fenômenos Associados às Marés
- 4 Conversão de Energia a partir Correntes de Marés
- 5 Cronograma e Próximos Passos

# Introdução

- As energias renováveis a cada ano que se passa ganha mais espaço no cenário energético mundial.
- Os oceanos cobrem mais de 70% da superfície da Terra e contém uma enorme variedade de fontes de energia.
- Um dos principais problemas relacionados as fontes renováveis é relacionada a dificuldade de prever exatamente em que momento a fonte primária estará disponível.

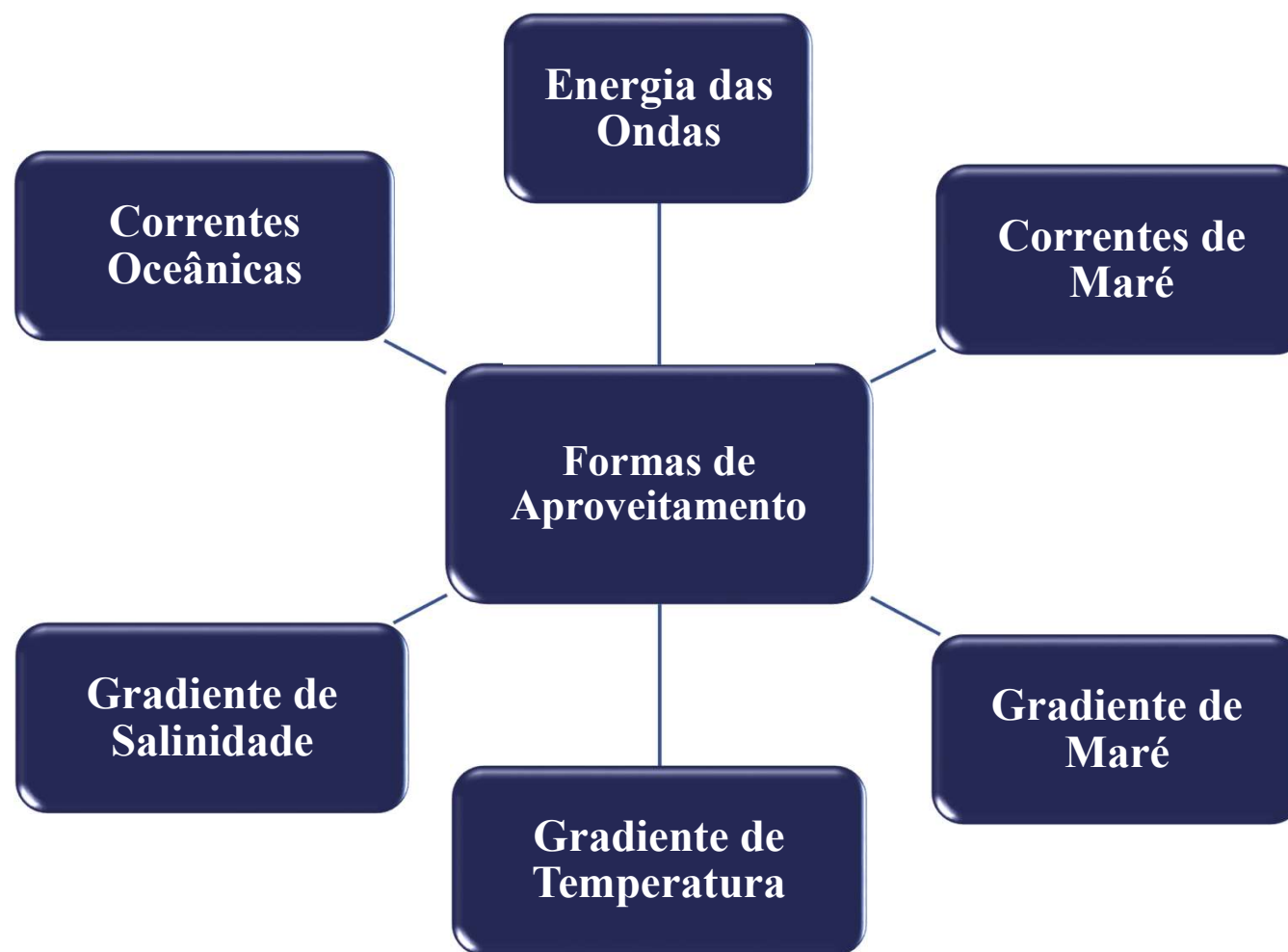


Figura 1. Formas de Aproveitamento das Energias Oceânicas.

# Energia das Ondas

- As ondas são formadas pelo vento que transfere energia cinética para água por meio do atrito criando forças de pressão que perturba o equilíbrio da superfície dos oceanos.
- As regiões onde as ondas possuem maior quantidade de energia são o noroeste do Canadá, Estados Unidos, Escócia, sul da África, sul da América do Sul e Austrália.



Figura 2. Primeira Usina de Ondas da América Latina

# Gradiente de Salinidade

- Obtido no encontro da água do mar e água doce. Este encontro causa liberação de energia e um pequeno aumento na temperatura local da água.



Figura 3. Primeira Usina Osmótica  
Inaugurada em 2009 na Noruega.

# Gradiente de Temperatura

- Devido ao aquecimento contínuo que o sol exerce sobre a superfície dos oceanos cria-se uma diferença de temperatura entre as camadas do oceano superior e camadas profundas, geralmente abaixo de 1.000 m. Essa diferença de temperatura é capaz de gerar energia elétrica.
- As regiões mais apropriadas para instalações dessas usinas são em regiões tropicais;

# Correntes Oceânicas

- É uma fonte de energia que utiliza o mesmo princípio das energias a partir das correntes de marés;
- Entretanto as correntes oceânicas não são influenciadas pelas marés, mas sim pela ação dos ventos sobre a superfície do mar, da diferença de salinidade, do aquecimento desigual dos mares pelo sol e dos movimentos de rotação da terra.



# Gradiente de Maré

- A energia oceânica a partir do gradiente de maré é a única forma de energia consolidada.



Figura 4. Usina de La Rance, França. 24 turbinas de 10 MW.

# Correntes de Maré

- **Maré:** É a subida e descida vertical da água.
  - Movimento vertical;
  - Enchente e vazante;
  
- **Correntes de Maré:** É o movimento horizontal da água.
  - Movimento ou fluxo horizontal;



Figura 5. Melhores locais no mundo para geração de energia utilizando marés.

# Fenômenos Associados às Marés

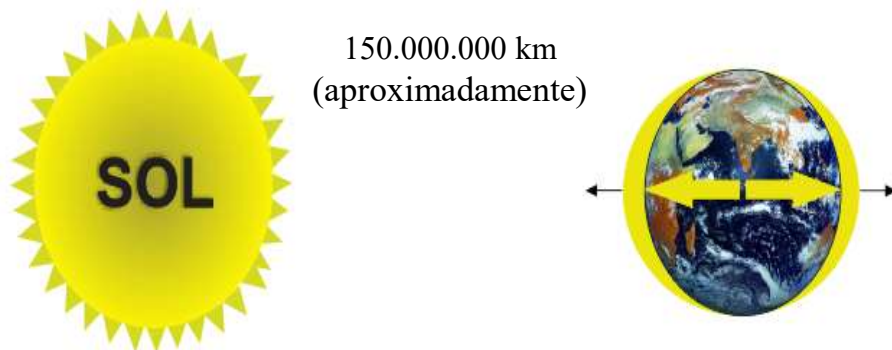


Figura 6. Influencia da Força gravitacional do Sol exercida sobre a Terra.

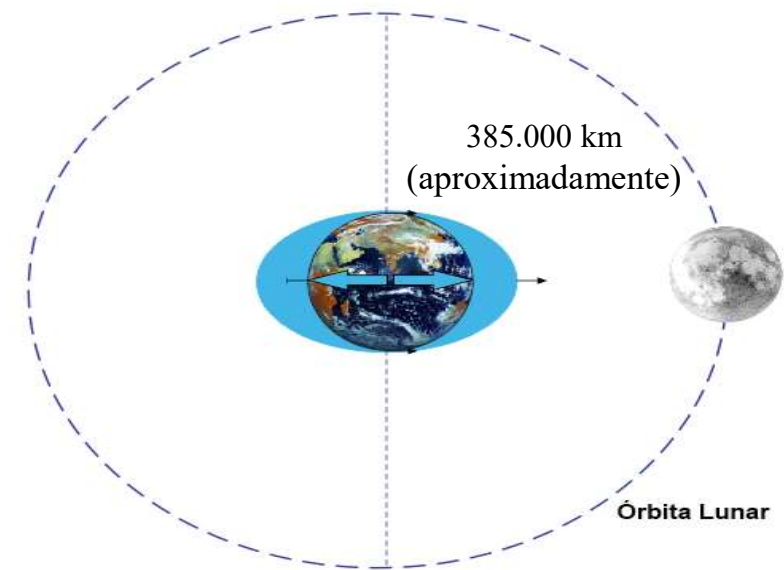


Figura 7. Influencia da Força gravitacional da Lua exercida sobre a Terra.

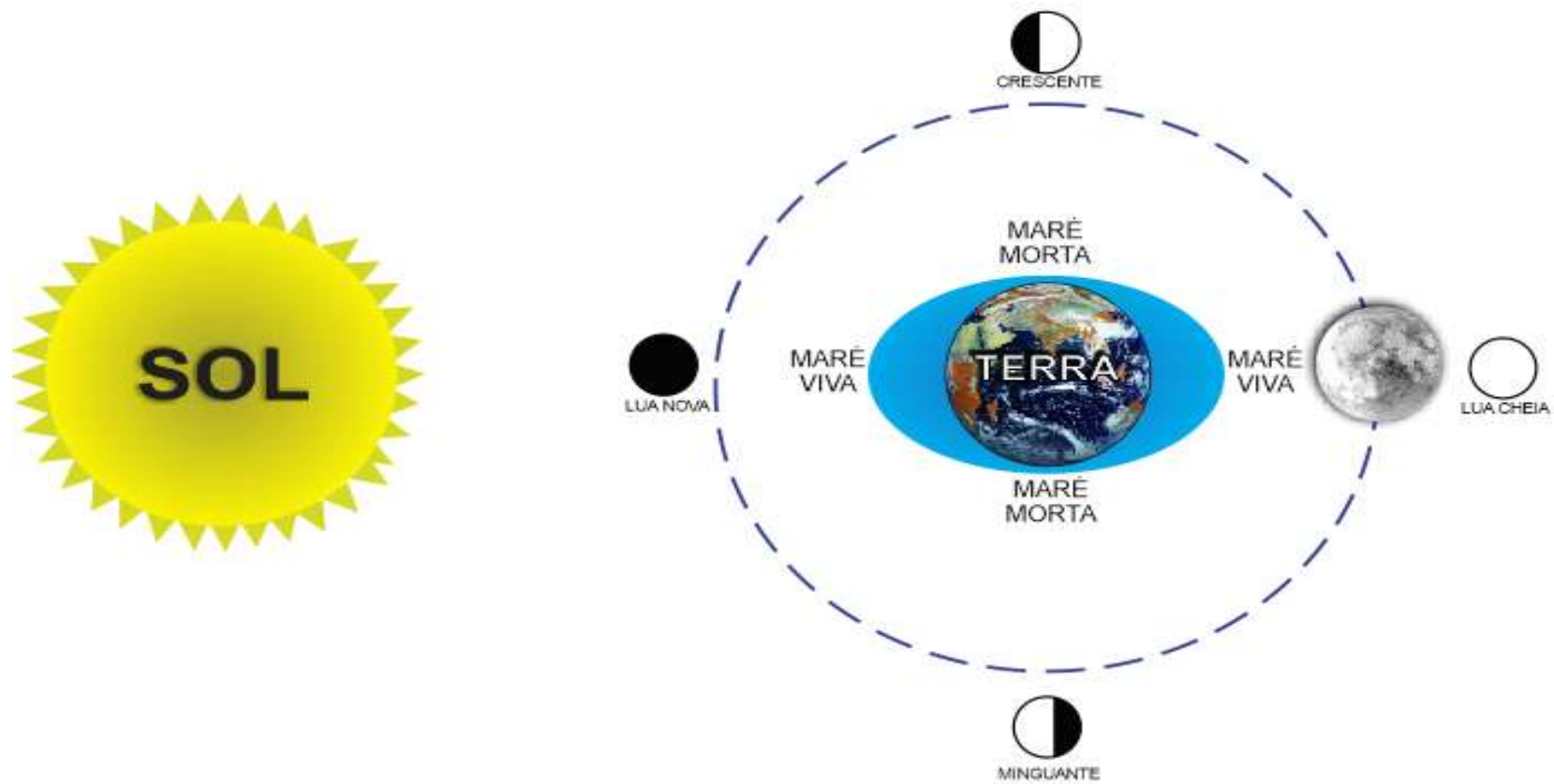


Figura 8. Formação das Marés

- Maré Sizígia – Maré Viva
- Maré Quadratura – Maré Morta

# Fenômenos Astronômicos

- Sabe-se que os fenômenos astronômicos relacionados com a Terra, Sol e Lua são bastante irregulares, portanto, vários outros fenômenos devem ser levados em

## EQUINÓCIOS

Os Equinócios ocorrem nos meses de Março e Setembro, que, quando combinados a uma Lua Cheia ou Lua Nova, resultam em marés bem maiores do que as de Sizígia comuns, chamadas de Marés Equinociais.



Figura 9. Fenômenos Astronômico na órbita da Lua em torno da Terra



Figura 10. Fenômenos Astronômico na órbita da Terra em torno do Sol



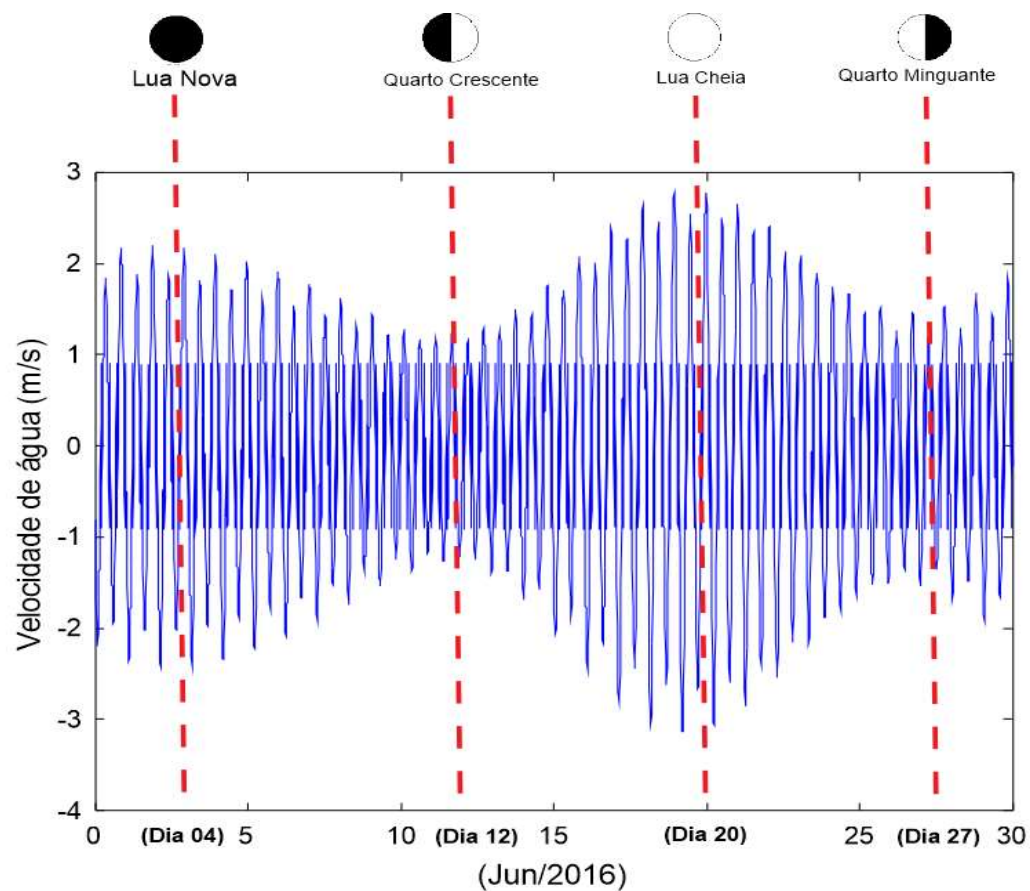


Figura 11. Modelagem da velocidade das marés na Ponta da Espera em São Luís-Brasil.

# Conversão de Energia a partir de Corrente de Maré

- A energia é gerada através do deslocamento da massa de água, produzido pelos fenômenos das marés, indo de encontro a uma turbina, transformando energia cinética em mecânica.

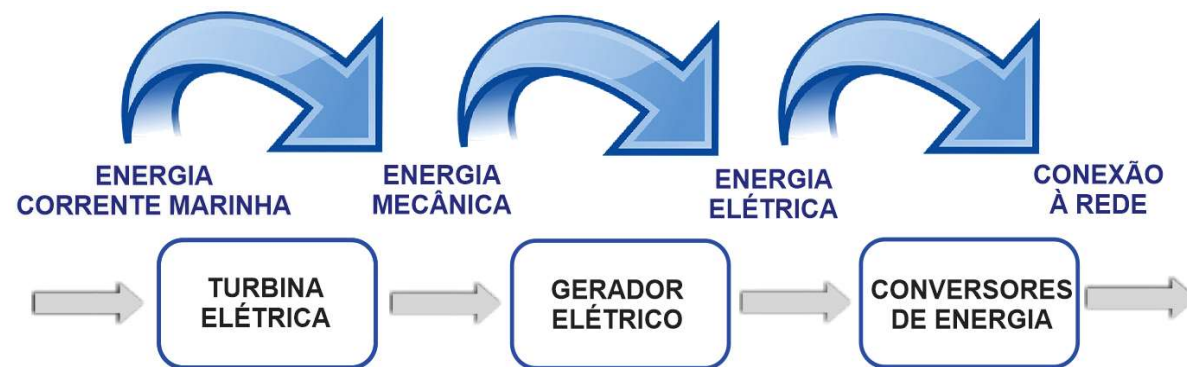


Figura 12. Conversão de Energia baseado em Correntes de Marés



# Modelagem da Potência Hídrica e Mecânica

O potencial extraível a partir das correntes de marés pode ser obtido a partir:

$$E = \frac{m.V_0^2}{2} \quad m = \rho.Q \quad P = \frac{\rho.Q.V_0^2}{2} \quad Q = A.v \quad A = \pi R^2$$

$$P = \frac{1}{2}.\rho.\pi.R^2.V_0^3$$

Potencial Hídrica

$$P = \frac{1}{2}.C_p.\rho.\pi.R^2.V_0^3$$

Potencial Mecânica

- $\rho \rightarrow$  densidade da água ( $\text{kg/m}^3$ );
- $A \rightarrow$  Área varrida pelas pás;
- $V_0 \rightarrow$  Velocidade das correntes de maré;
- $C_p \rightarrow$  Coeficiente de Desempenho;
- $Q \rightarrow$  Vazão em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;
- $m \rightarrow$  massa de água que incide na turbina;

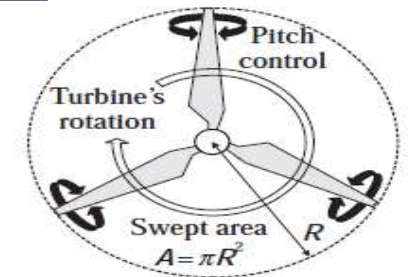


Figura 13. Área varrida pelas pás da turbina Corrente de Maré

# Turbinas Correntes de Maré

- A conversão da energia cinética em energia mecânica é feita por uma turbina, que no caso das Turbinas de Correntes de Maré herdou o projeto das turbinas eólicas, devido à semelhança da geração através de um fluido em movimento.

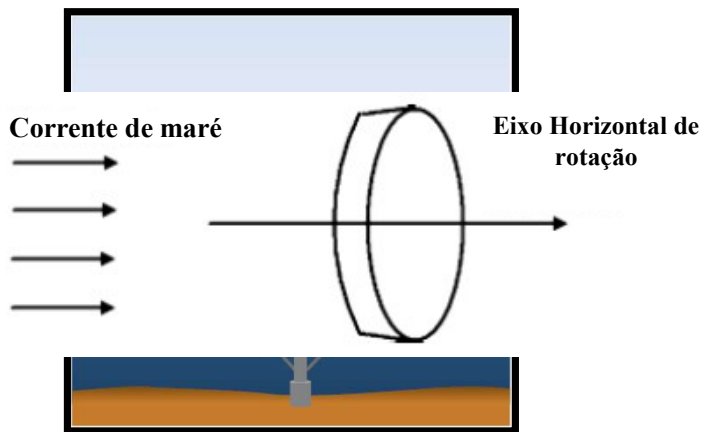


Figura 14. Turbina de Eixo Horizontal

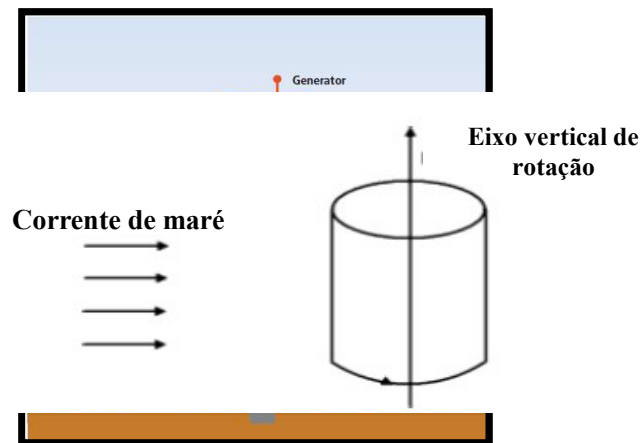


Figura 15. Turbina de Eixo Vertical

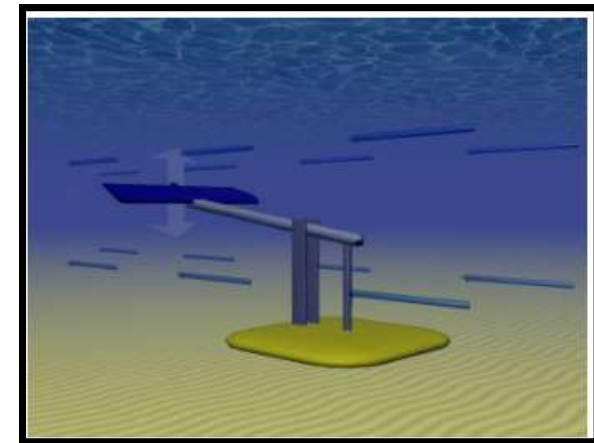


Figura 16. Turbina de pás Oscilante

# Comparação entre o eixo Horizontal e Vertical

	<b>HORIZONTAL</b>	<b>VERTICAL</b>
<b>Design</b>	<b>Complexo</b>	<b>Simples</b>
<b>Custo</b>	<b>Alto</b>	<b>Menos</b>
<b>Emissão de Ruído</b>	<b>Alto</b>	<b>Menos</b>
<b>Eficiência</b>	<b>Alta</b>	<b>Baixo</b>
<b>Controle</b>	<b>Fácil</b>	<b>Difícil</b>
<b>Instalação</b>	<b>Difícil</b>	<b>Menos Difícil</b>
<b>Tecnologia Conhecida</b>	<b>Muito</b>	<b>Pouco</b>

Tabela 1. Comparação entre os tipos de eixo horizontal e vertical.

# Turbinas Correntes de Maré

Companhias	Localização	Nome da turbina	Nº Turbinas	Capacidade (MW)
DCNS, EDF	Paimpol-Bréhat	OpenHydro	4	2
MeyGen	Pentland Firth (Escócia)	HS1000/AR1000	6	6
MCT, Siemens	Kyle Rhea (Escócia)	Seagen S	4	8
	Anglesey (Pais de Gales)	Seagen S	5	10
Andritz Hydro	Ilha do som (Escócia)	HS1000	10	10
GDF Suez, Eole Generation	Raz Blanchard	Voith Blanchard	3~6	3~12
	Fromveur	Sabella	>4	>4

Tabela 2. Principais Projetos de fazendas de Turbinas de Correntes de Maré da Europa

# Comparação das Turbinas Correntes de Maré e Turbinas Eólica

Dados da Turbina	Eólica	Corrente de Maré
Densidade do Fluido	1,225 kg/m <sup>3</sup>	1024 kg/m <sup>3</sup>
Velocidade do Fluido	13,2 m/s	2,7 m/s
Raio	20 m	20 m
Potência Gerada	708 kW	6,33 MW
Raio	60 m	20 m
Potência Gerada	6,37 MW	6,33 MW

Tabela 3. Comparação Numérica das Turbinas Corrente de Maré e Eólica



Figura 17. Comparação das Turbinas Corrente de Maré e Eólica

# PRÓXIMOS ESTUDOS

## ➤ Sistema de Armazenamento

- Tipos de baterias, vantagens e desvantagens;
- Custo do sistema de armazenamento;

## ➤ Sistema Dual de Armazenamento

- Aplicações das baterias para serviços no sistema elétrico;
- Impactos que a intermitência causa no sistema de armazenamento;

# CRONOGRAMA

Etapas	Mês 01	Mês 02	Mês 03	Mês 04	Mês 05	Mês 06	Mês 07	Mês 08	Mês 09	Mês 10	Mês 11	Mês 12
I – Revisão do Estado da Arte;	X	X	X									
II – Modelagem customizada para energias oceânicas;				X	X	X	X					
III – Simulações utilizando dados reais;				X	X	X	X	X	X	X		
IV – Validação dos estudos e análise de desempenho;				X	X	X	X	X	X	X		
V – Preparação do artigo;						X	X	X	X	X		
VI – Escrita da dissertação;								X	X	X	X	
VII – Defesa;												X

# REFERÊNCIAS

- [1] REN21, Advancing the global renewable energy transition, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2017.
- [2] S. Estefen and A. Lewis, “Ocean Energy In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.”, New York, 2012.
- [3] UNDP, *World Energy Assessment. Energy and the challenge of Sustainability*. 2000.
- [4] P. B. L. Neto, “Contribuições Para A Operação Energética E Econômica De Microrredes Isoladas Com Fontes Renováveis Diversificadas”, Tese de Doutorado, PPGEE, UFMA, São Luís, BR, 2017.
- [5] Kroposki, B.; Lasseter, R.; Ise, T.; Morozumi, S.; Papathanassiou, S.; Hatziargyriou, N. Making microgrids work. IEEE Power and Energy Magazine, v. 6, n. 3, p. 40–53, may 2008. ISSN 1540-7977. EPE - Empresa de Pesquisa Energética, “Plano Nacional de Energia – PNE 2030, ” 2007.
- [6] Pedro Bezerra Neto et al, “Avaliação Revisitada do Potencial Maremotriz do Estuário do Bacanga”, Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, SBSE 2014.



# REFERÊNCIAS

- [7] Pedro Bezerra Neto et al, “Avaliação Revisitada do Potencial Maremotriz do Estuário do Bacanga”, Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, SBSE 2014.
- [8] Planas, E.; Andreu, J.; Gárate, J. I.; Martínez De Alegria, I.; Ibarra, E. AC and DC technology in microgrids: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 43, p. 726–749, mar 2015. ISSN 13640321.
- [9] B. F. G. Sá e O. R. Saavedra, “Micro-Geração de Energia a partir de correntes de marés para sistemas isolados”, Dissertação de Mestrado, PPGEE, UFMA, São Luís, BR, 2018
- [10] Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira, “Aproveitamento da Energia das Marés, Estudos de Caso: Estuário do Bacanga, MA”, Dissertação de mestrado UFRJ, 2007.
- [11] P.B. L. Neto, D.Q. Oliveira, N.J. Camelo, and O.R. Saavedra, "Estudo do Potencial para Geração de Energia Elétrica a partir de Fonte Maremotriz," in *The 8th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE*, vol. 1, Ubatuba, 2009, pp. 709-713.

**OBRIQADO!**

---