



**Universidade Federal do Maranhão – UFMA**  
Instituto de Energia Elétrica & Renováveis

**IEE**  
Renováveis

# Energias Oceânicas

## Novos desafios, novas ideias

Oswaldo Ronald Saavedra

Professor Titular

Coordenador Nacional INEOF

Presidente da Sociedade Brasileira de Automática

# O potencial Energético

- O Brasil é privilegiado em termos de diversidade energética:
- Hidroeletricidade:
  - 96.405 MW (60,4 %)
- Eólica de grande porte:
  - 12.916 MW (8.1 %)

# Usina de Estreito



# Parque eólico de Paulino Neves



# O potencial Energético

- Energia solar FV:
  - Insolação diária 6 a 7 horas;
  - 1kW/m<sup>2</sup>
  - 1.306.502 KW instalados (0,82 %)

# O Potencial do Mar

- A região norte apresenta características naturais no seu litoral: **Grandes diferenças de marés**



# O Potencial Energético do Mar

- As energias oceânicas podem ser exploradas a partir de diferentes tecnologias:
  - Ondas (waves);
  - Gradiente de Marés;
  - Correntes de Marés (tidal currents);
  - Correntes Oceânicas;
  - Gradiente Térmico (*Ocean Thermal Energy Conversion – OTEC*);
  - Gradiente de Salinidade.

# Energias Oceânicas – Potencial Teórico

Fonte	TWh/ano	EJ/ano
Marés	22.000	79
Ondas	18.000	65
OTEC <sup>1</sup>	2.000.000	7.200
Gradiente de Salinidade <sup>2</sup>	23.000	83
TOTAL <sup>3</sup>	<b>2.063.000</b>	7.400

Fonte: Renewable Energy Source and Climate Change Mitigation, 2012.

- Consumo energético mundial em 2010, segundo a *IEA*:  
**19.738,00 TWh**

**0,91 % do potencial teórico das energias oceânicas.**

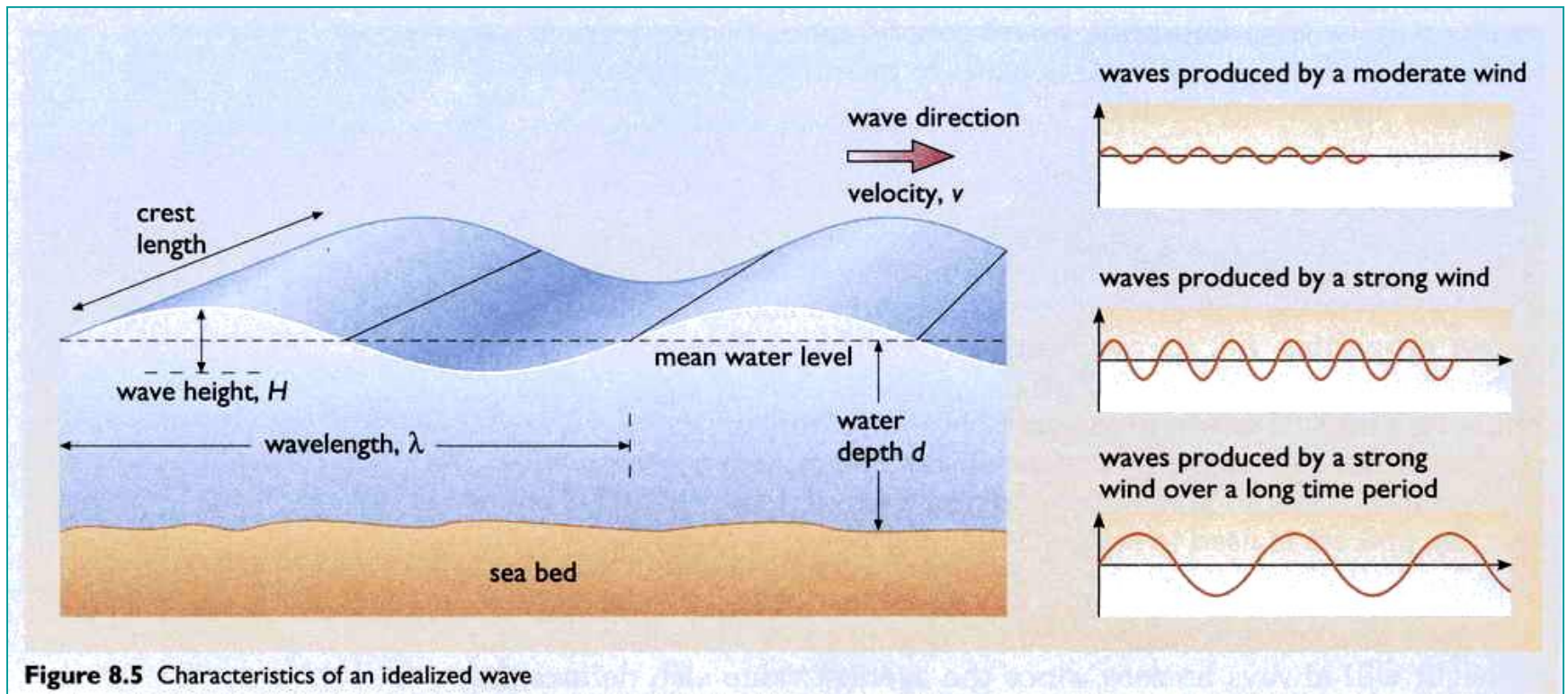


# Ondas (waves)



# Forma da onda

(Boyle, *Renewable Energy*, Oxford University Press (2004))



# Potencial em Kw/m

Potência média por metro de frente de onda



# Estimativas de potencial de ondas no Brasil

- Considerando 7.7 Kw/m (estimativa para costa do Ceará):
- Brasil tem 7367 km de costa.

**Potencial bruto na ordem de 57 GW**

# Tecnologia para Energia de Ondas

# Coluna de água oscilante

## LIMPET 500, Escócia

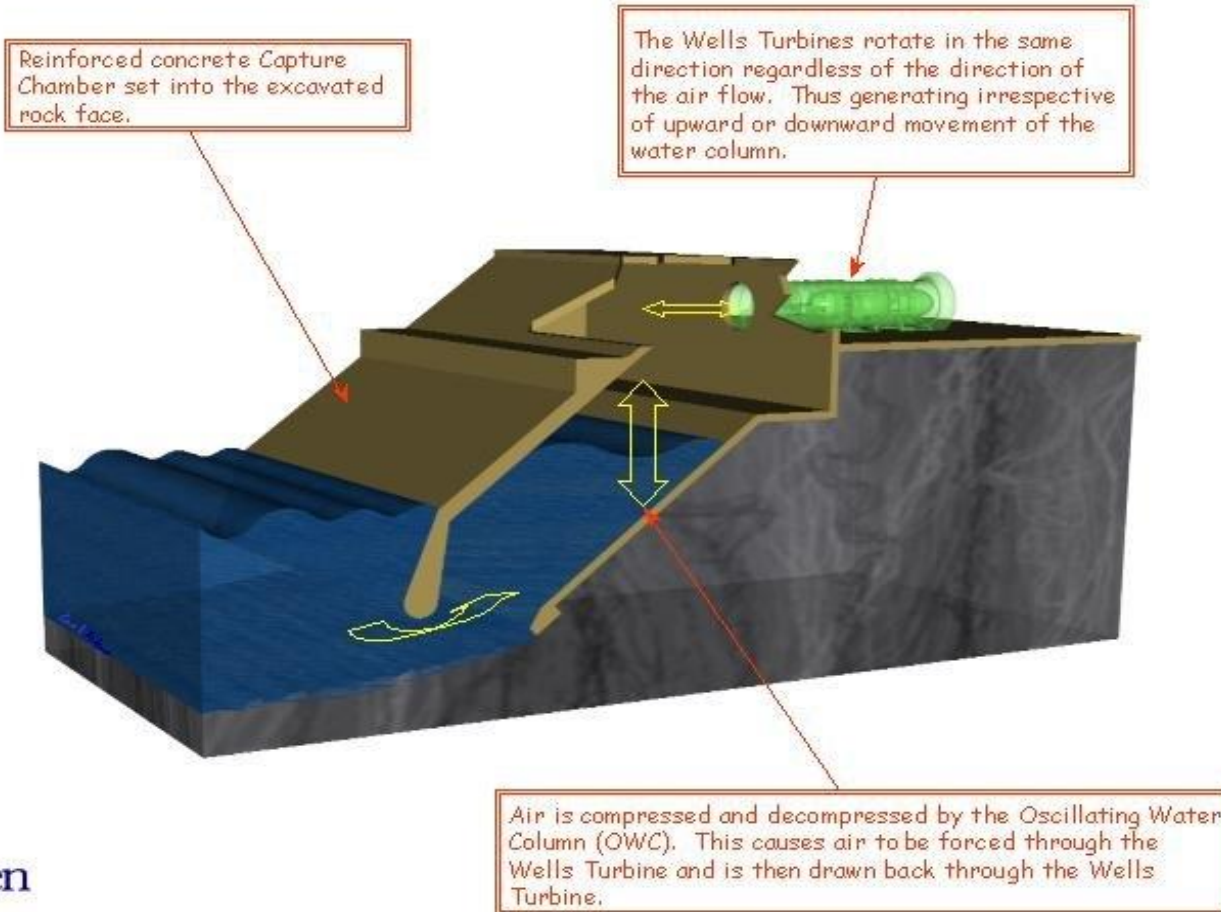


Fig. Corte da usina LIMPET 500, FONTE: Wavegen 1992

Uso da Energia Maremotriz para Produção de Energia Elétrica

# Usina de Ondas – Pecém/CE

Desenvolvido na UFRJ – Coordenação Prof. Segen Estefen

(Video)



Uso da Energia Maremotriz para Produção  
de Energia Elétrica

# Cobra Marinha - Pelamis

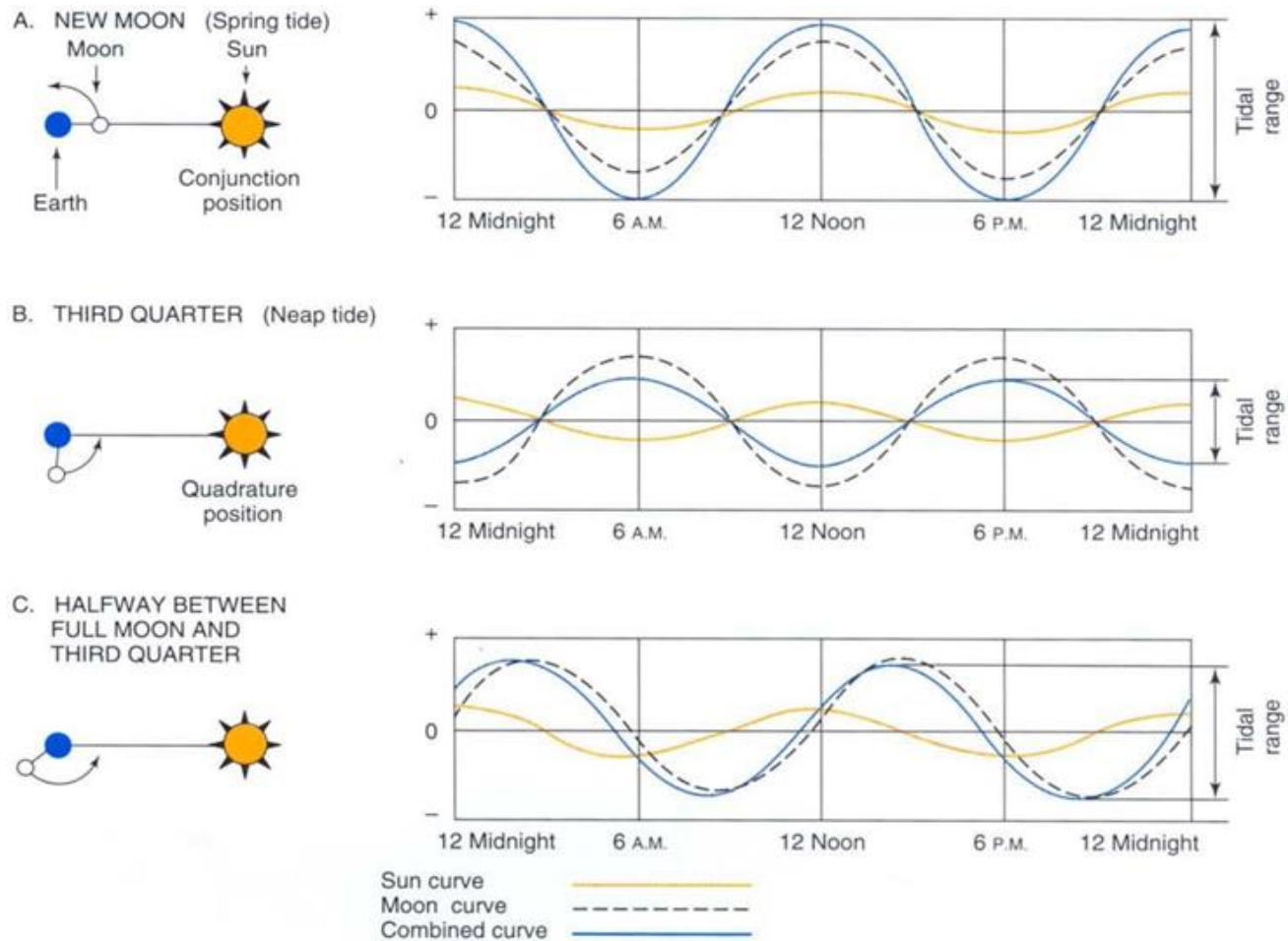
*Pelamis Wave Power, Portugal*





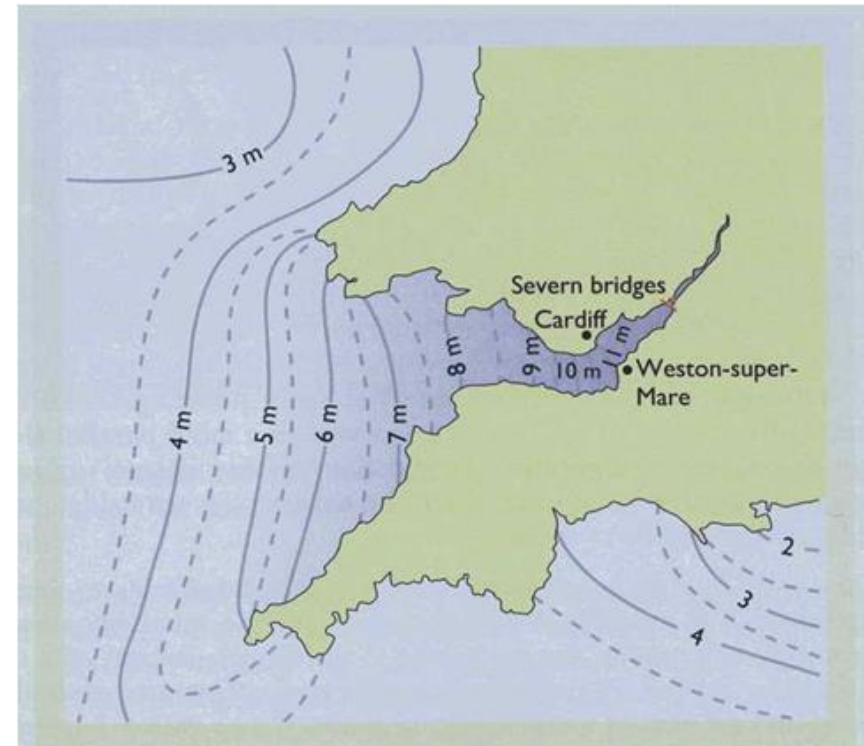
# **Energias de Maré**

# Fenômenos Associados às Marés



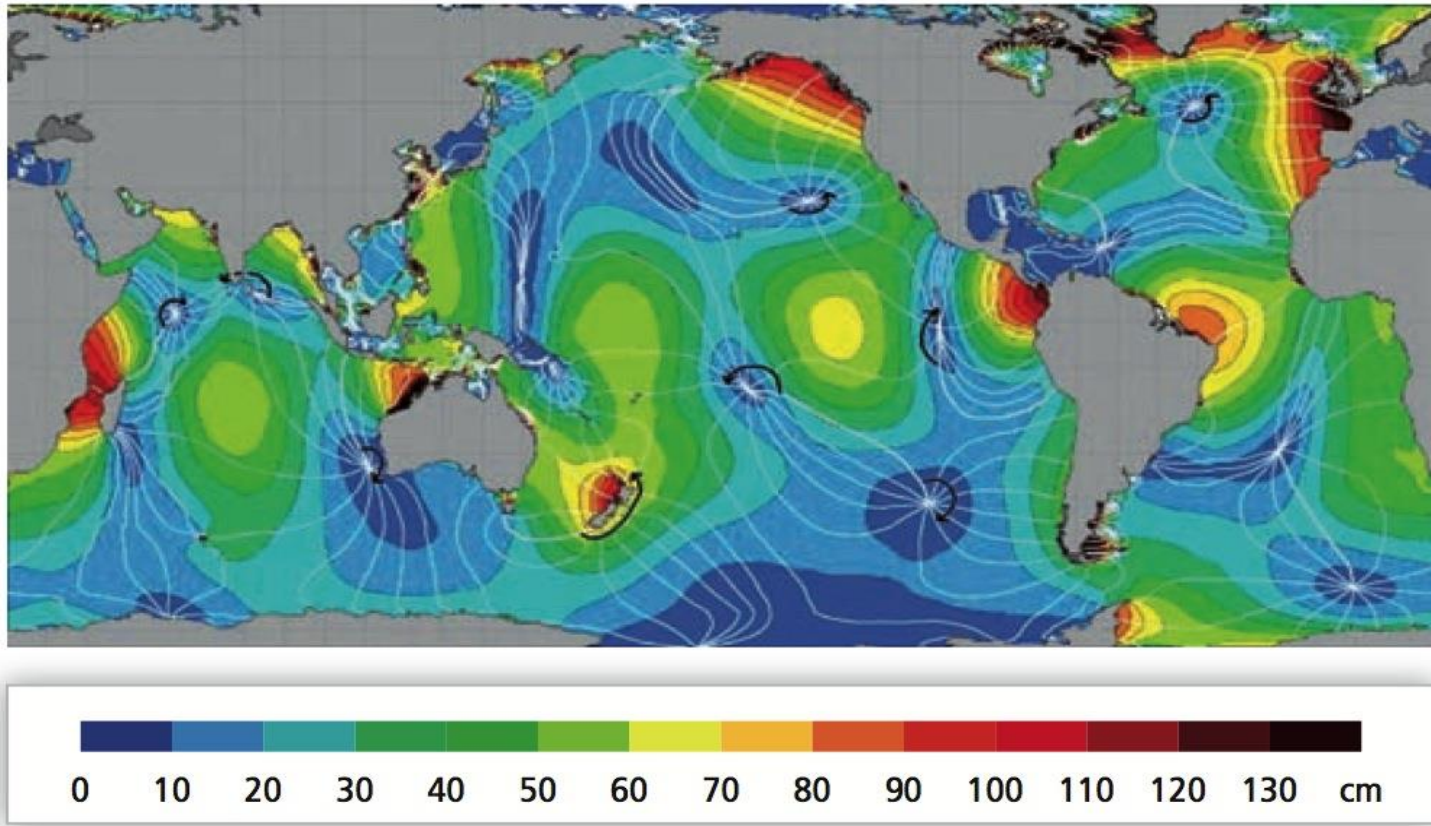
# Fenômenos Associados às Marés

- À medida em que a onda de maré se aproxima da plataforma continental:
  - **Redução** da energia cinética;
  - **Aumento** da energia potencial.
- A morfologia do estuário combinada com o atrito no fundo determinam a variação da densidade de energia daquela onda.



Propagação da maré no estuário de Severn, Reino Unido.

# Potencial de Gradiente de Marés



Fonte: Renewable Energy Source and Climate Change Mitigation, 2012.

Amplitude apenas da componente de maré M2 (lunar principal semi-diurna), que é a principal componente harmônica da marés.

Uso da Energia Maremotriz para Produção  
de Energia Elétrica

# Aproveitamentos Maremotrizes

- Há alguns anos somente poucos locais do mundo eram considerados propícios para aproveitamentos maremotrizes.
- Atualmente mais locais já são considerados.



Locais inicialmente considerados com potencialidade de aproveitamento maremotriz

Uso da Energia Maremotriz para Produção  
de Energia Elétrica

# Correntes de Marés

- As correntes de marés são de natureza intermitente, pois ocorrem de acordo com as variações de marés no litoral.



# Geração de Marés no Brasil

Ilha do Medo

© 2016 Google  
Image © 2016 TerraMetrics  
Image © 2016 DigitalGlobe

Google Earth

1970

Data das imagens: 11/12/2016 2°31'37.59"S 44°21'56.26"O elev 6 m altitude do ponto de visão 3.15 km

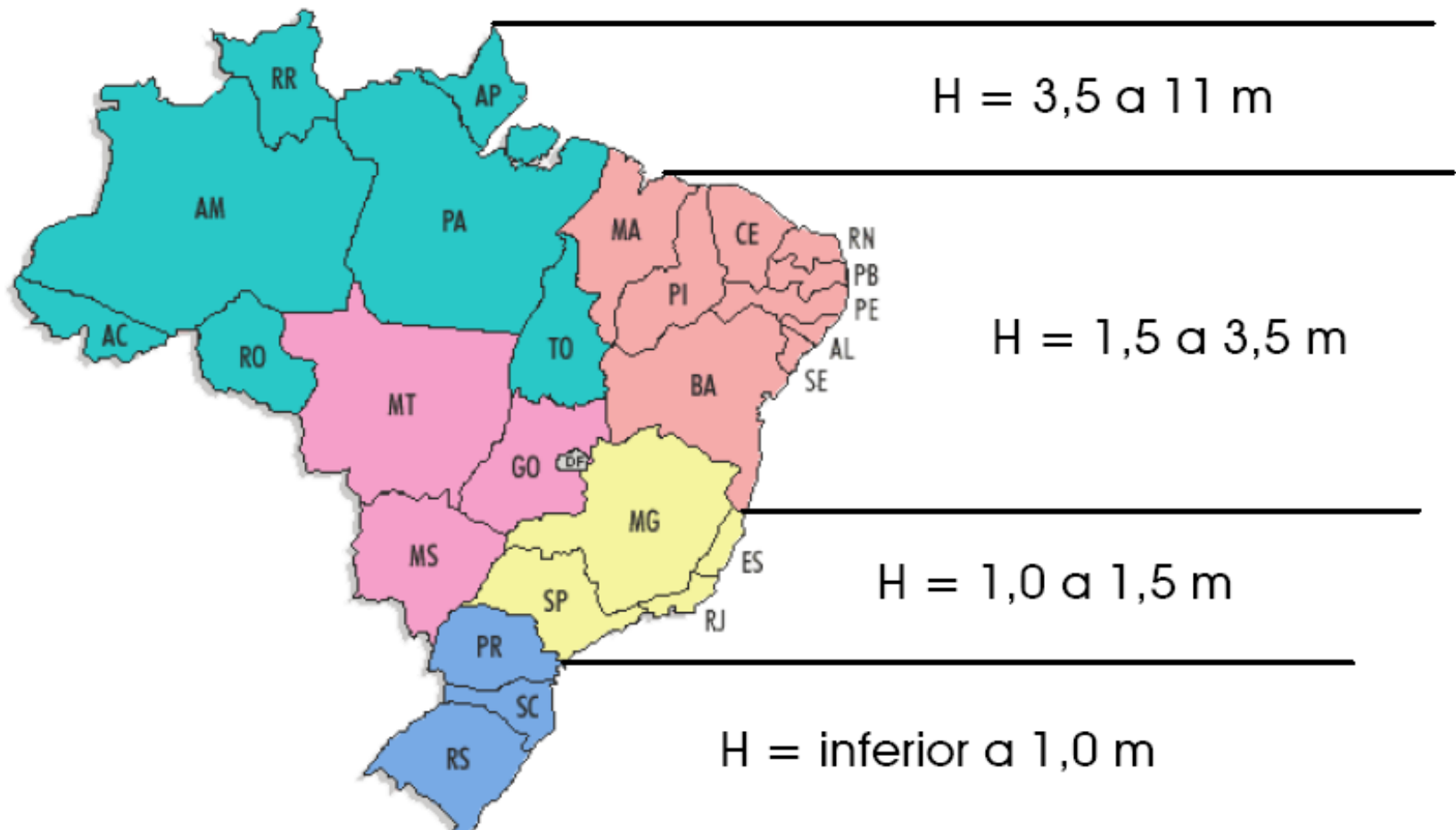
# Gradiente de maré

- Concentrada nos Estados de MA, PA e AP;
- Estimativas realizadas pela Eletrobrás (1980);
- Energia Bruta Estimada: 72 TW-h/ano

**Potencial bruto estimado: 27 GW**



# A Geração Maremotriz no Brasil



Valores médios de variação da maré no litoral brasileiro

# A Geração Maremotriz no Brasil

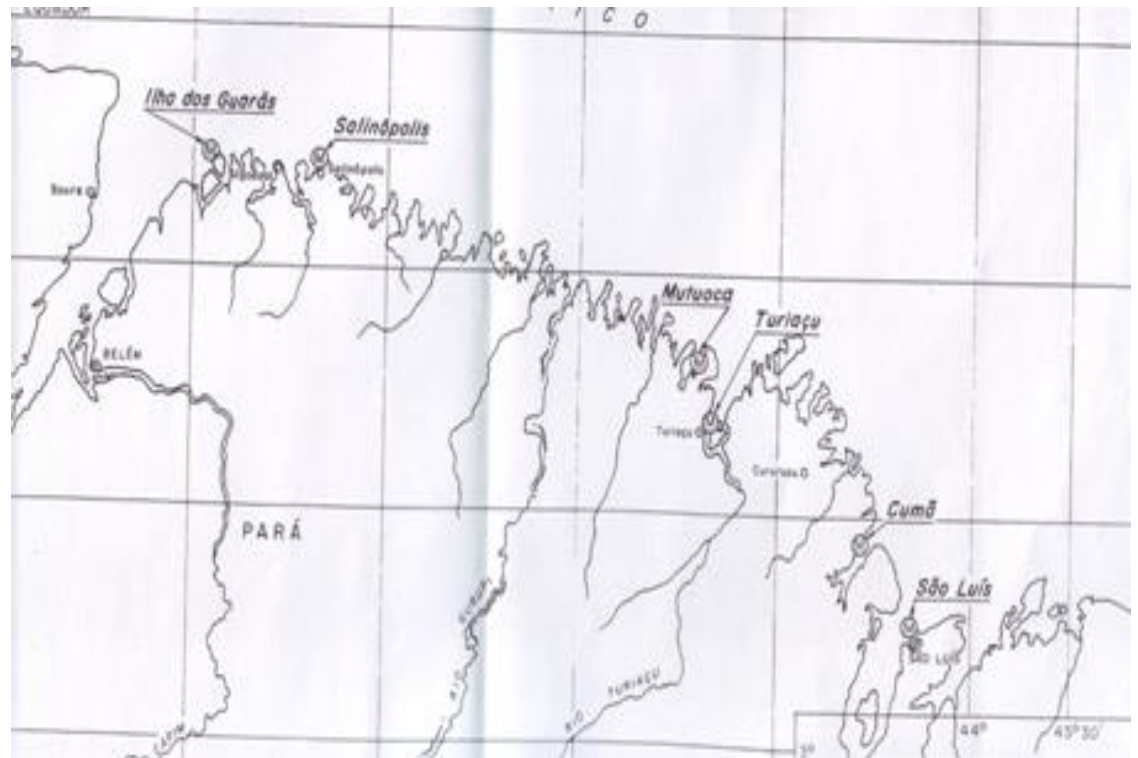
- Os primeiros estudos de mapeamento do potencial maremotriz no Brasil foram realizados pela Eletrobras desde a década de 60. Os locais mais favoráveis são no litoral do Maranhão ao Amapá.

## AMAPÁ:

- Maracá

## PARÁ:

- Algodual
- Maracanã
- Salinópolis
- São José de Pirabas

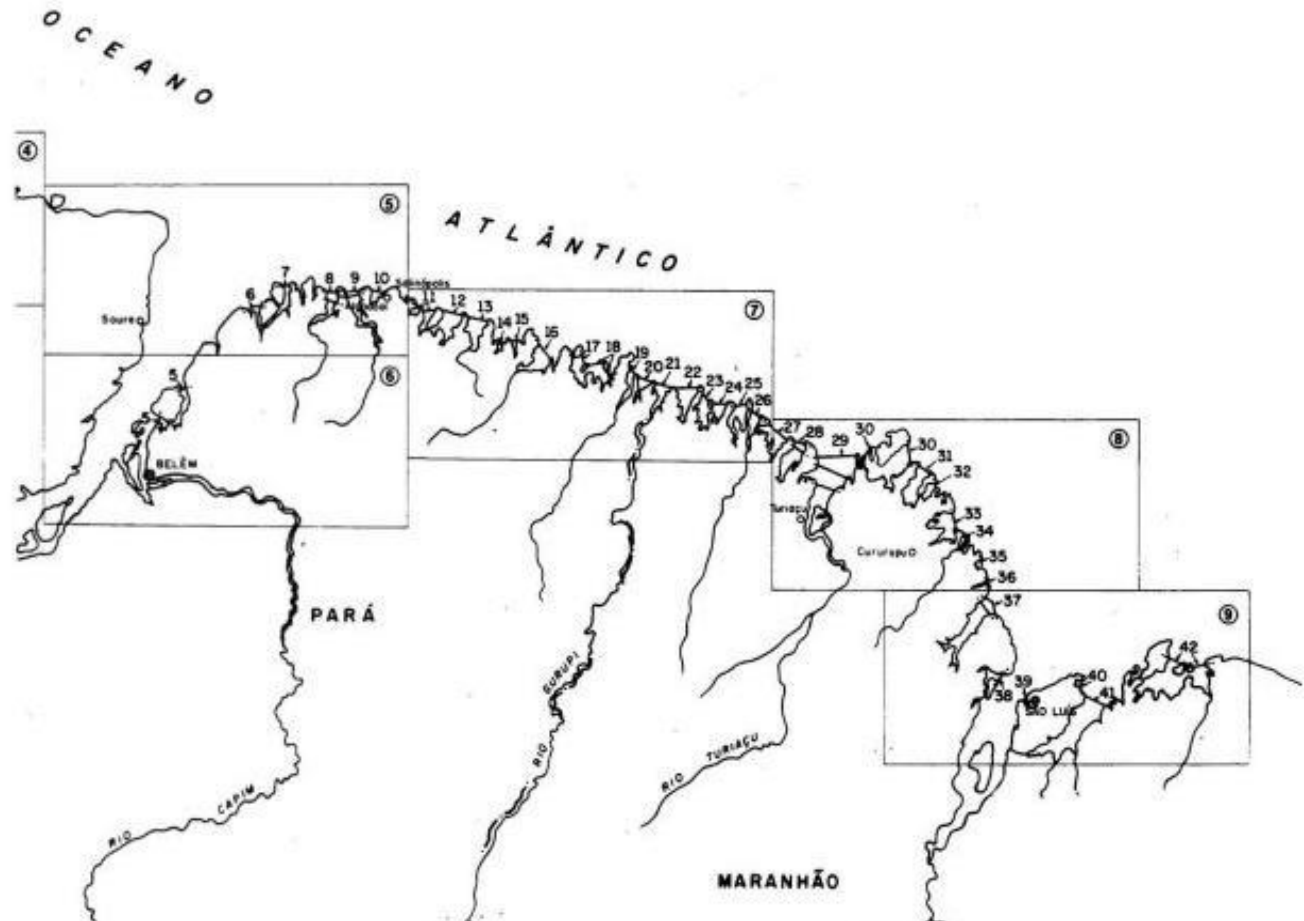


Uso da Energia Maremotriz para Produção de Energia Elétrica

# A Geração Maremotriz no Brasil

## MARANHÃO:

- Mutuoca
- Turiaçu
- Lençóis
- Mangunçá
- Cumã
- São José
- Tubarão
- Bacanga



Uso da Energia Maremotriz para Produção de Energia Elétrica

- De acordo com estudos preliminares, o Brasil apresenta um potencial eletromaremotriz bastante significativo, principalmente na costa do Maranhão, Pará e Amapá.
- Esse potencial energético é da ordem de **72 TWh/ano**, o equivalente a 16,8% do consumo nacional do Brasil em 2008, de acordo com dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2009).

# A Geração Maremotriz no Brasil

- Principais informações relacionadas ao Maranhão:

Local	Altura da maré (m)	Área da baía (Km <sup>2</sup> )	potência extraível (MW)	Energia (GWh)
Baía de Turiaçu	4,7	616	3402	9114
Baia dos Lençóis	4,7	316	1745	4675
Baia de Cumã	4	232	928	2486
Baia de São José	4,3	451	2084	5585
Baia do Bacanga	4	15	60	160

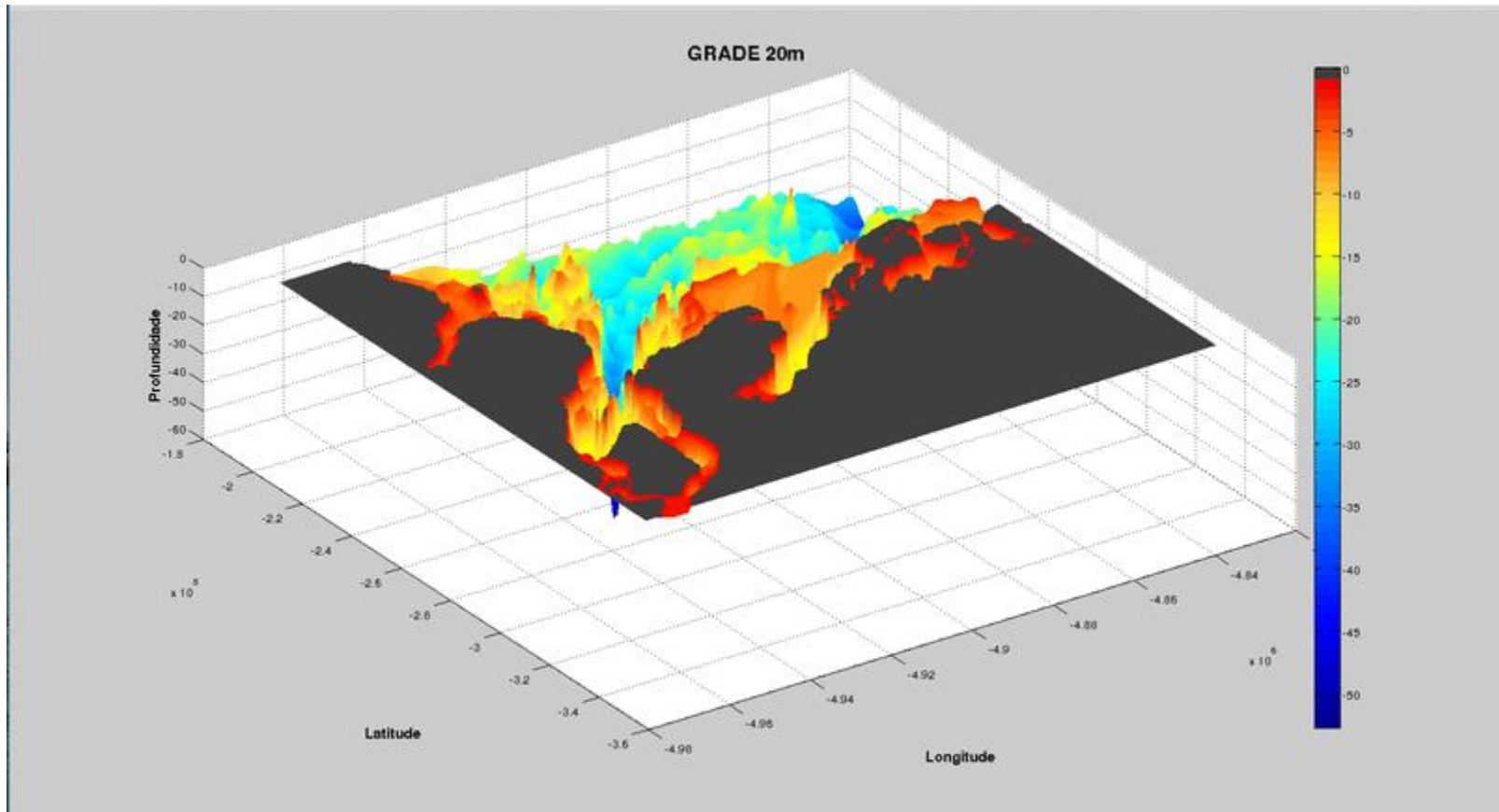
# Correntes de Marés



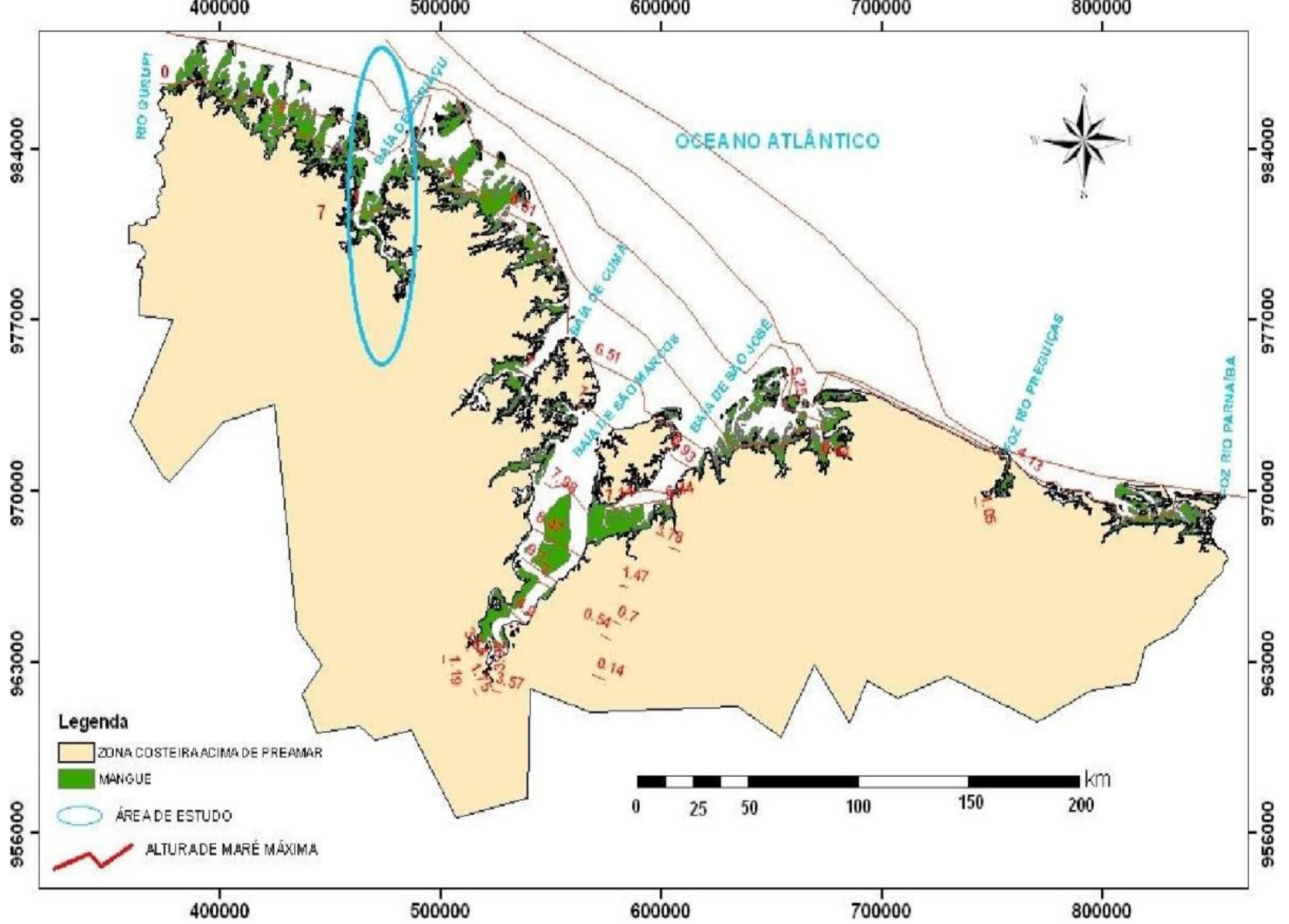
Uso da Energia Maremotriz para Produção  
de Energia Elétrica

# Perfil 3D - Baía de São Marcos

(cedido pelo LHiCEA-UFMA)



Uso da Energia Maremotriz para Produção  
de Energia Elétrica



Uso da Energia Maremotriz para Produção de Energia Elétrica



# Projeto Usina do Bacanga



# Barragem do Bacanga: Memória Fotográfica



# Barragem do Bacanga: Memória Fotográfica



# Usina Piloto do Bacanga: Nova Concepção



# Usina Piloto do Bacanga: Nova Concepção



# Maquete eletrônica



Uso da Energia Maremotriz para Produção  
de Energia Elétrica



Uso da Energia Maremotriz para Produção de Energia Elétrica



Uso da Energia Maremotriz para Produção de Energia Elétrica





Uso da Energia Maremotriz para Produção  
de Energia Elétrica

# Usina Piloto do Bacanga: Nova Concepção

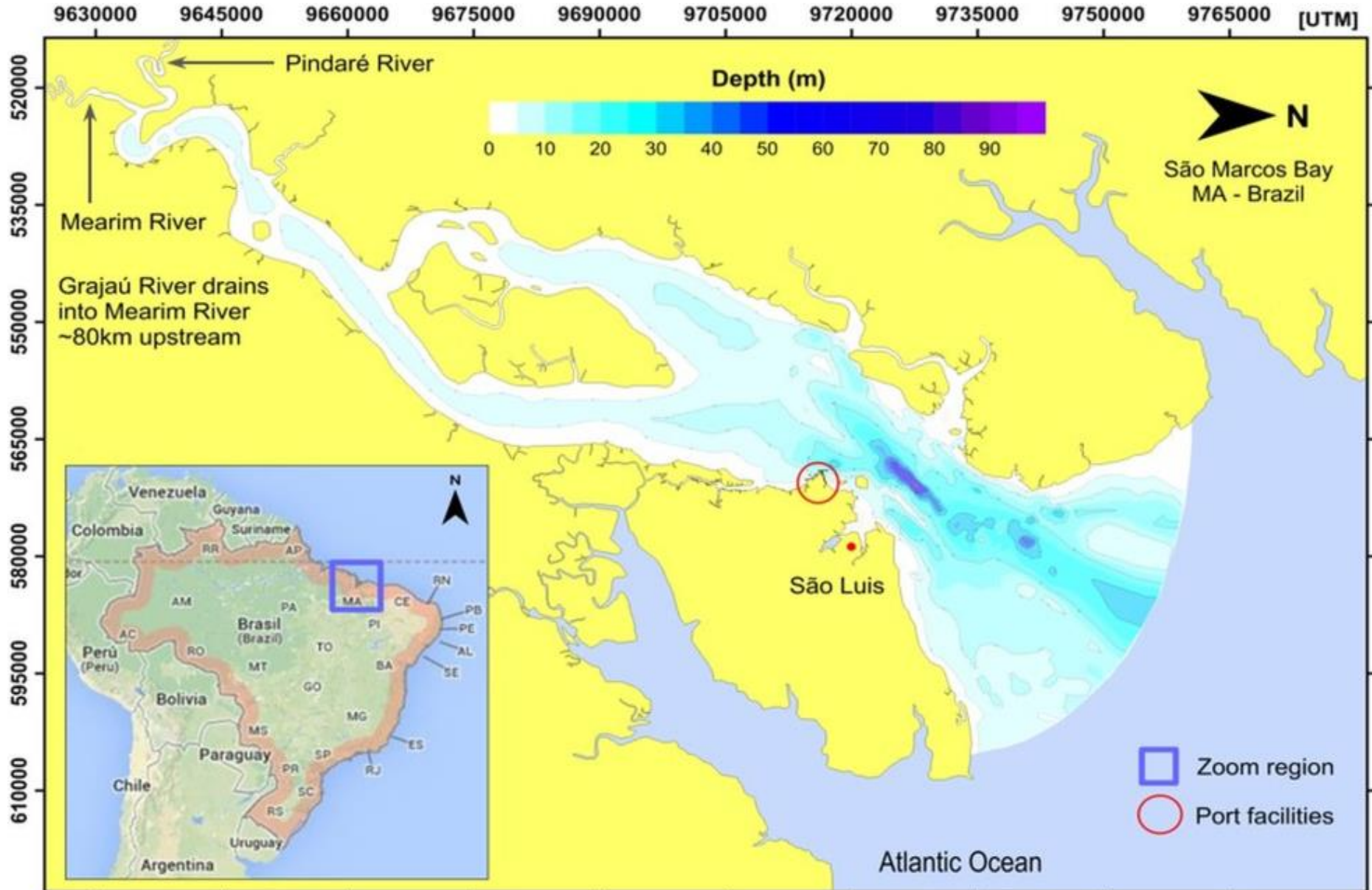
- Potência extraível:
  - Potência instalada de 10 MW;
  - Geração efeito simples:
  - Assume-se a existência da barragem construída dotada de vertedouros.
  - Assume-se a restrição de cota do reservatório como sendo: min 0,0 m e max 2,0 m.
- Custos abrangendo somente as intervenções para implementação da usina de geração elétrica.

# Projeto Ilha do Medo

Projeto direcionador

Instalar projeto piloto

# Baia de São Marcos



# Baia



Uso da Energia Maremotriz para Produção  
de Energia Elétrica

# Ilha



Uso da Energia Maremotriz para Produção de Energia Elétrica

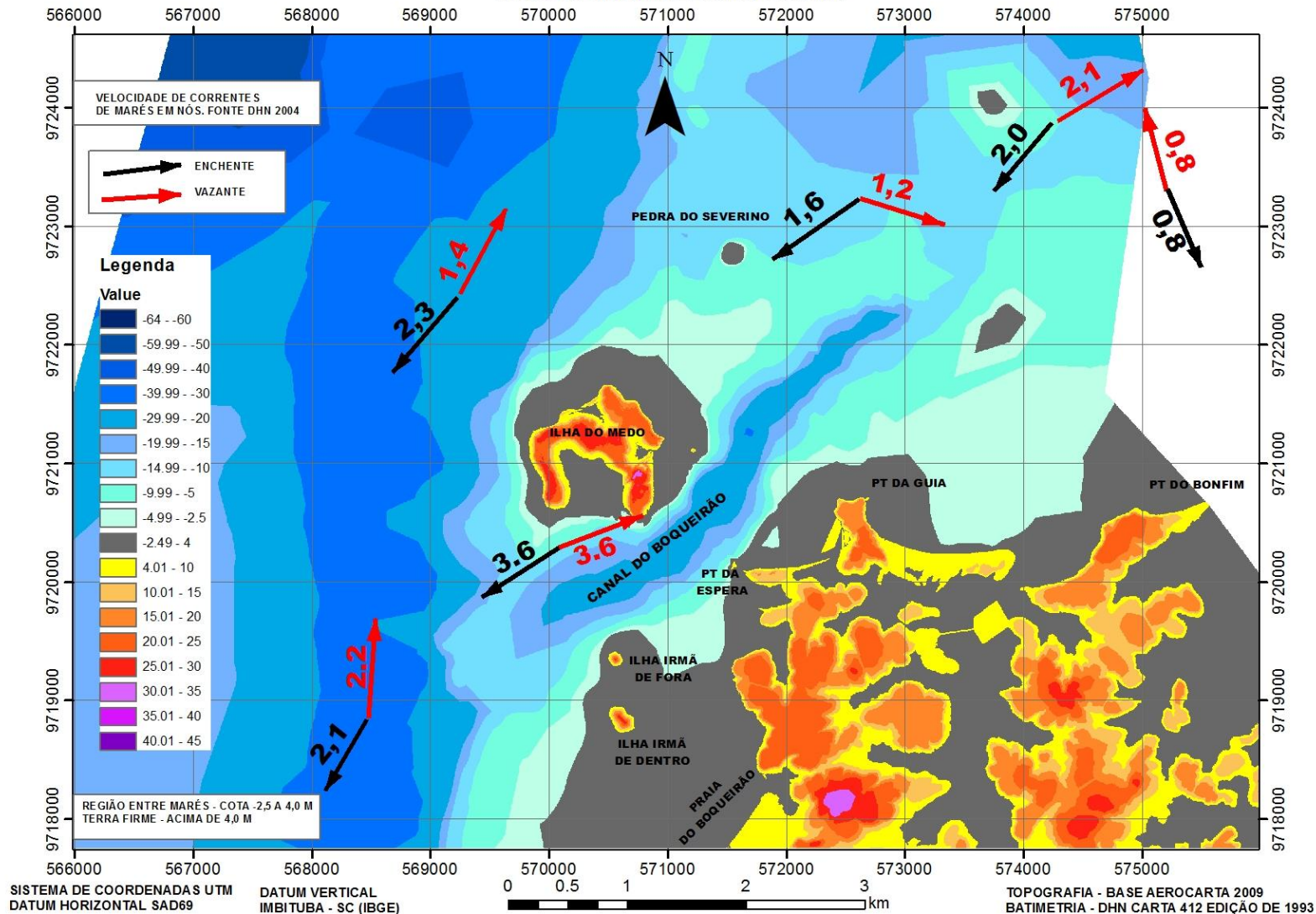
# Base



Uso da Energia Maremotriz para Produção  
de Energia Elétrica

# Correntes

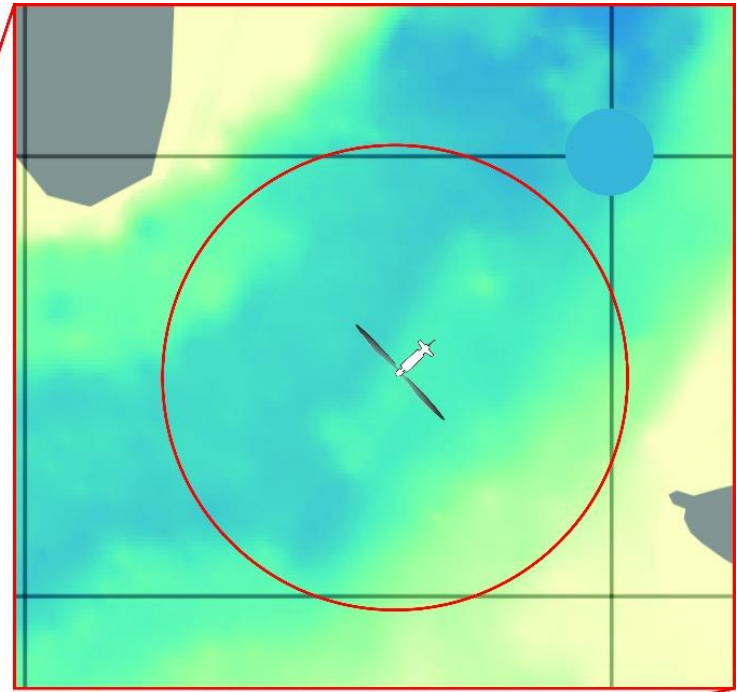
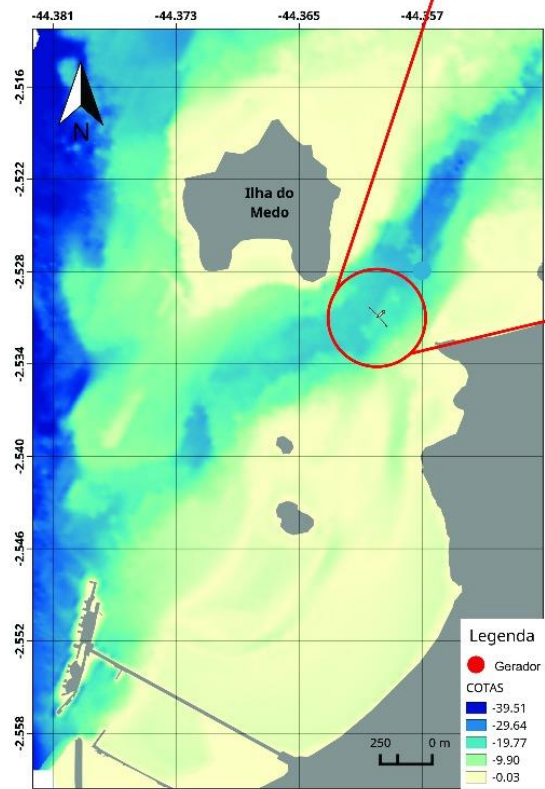
TOPOGRAFIA E BATIMETRIA DA ILHA DO MEDO E ENTORNO COM IDENTIFICAÇÃO DO SENTIDO E VELOCIDADE DE CORRENTES DE MARÉ  
SITUAÇÃO EM MEIA MARÉ DE ENCHENTE E VAZANTE



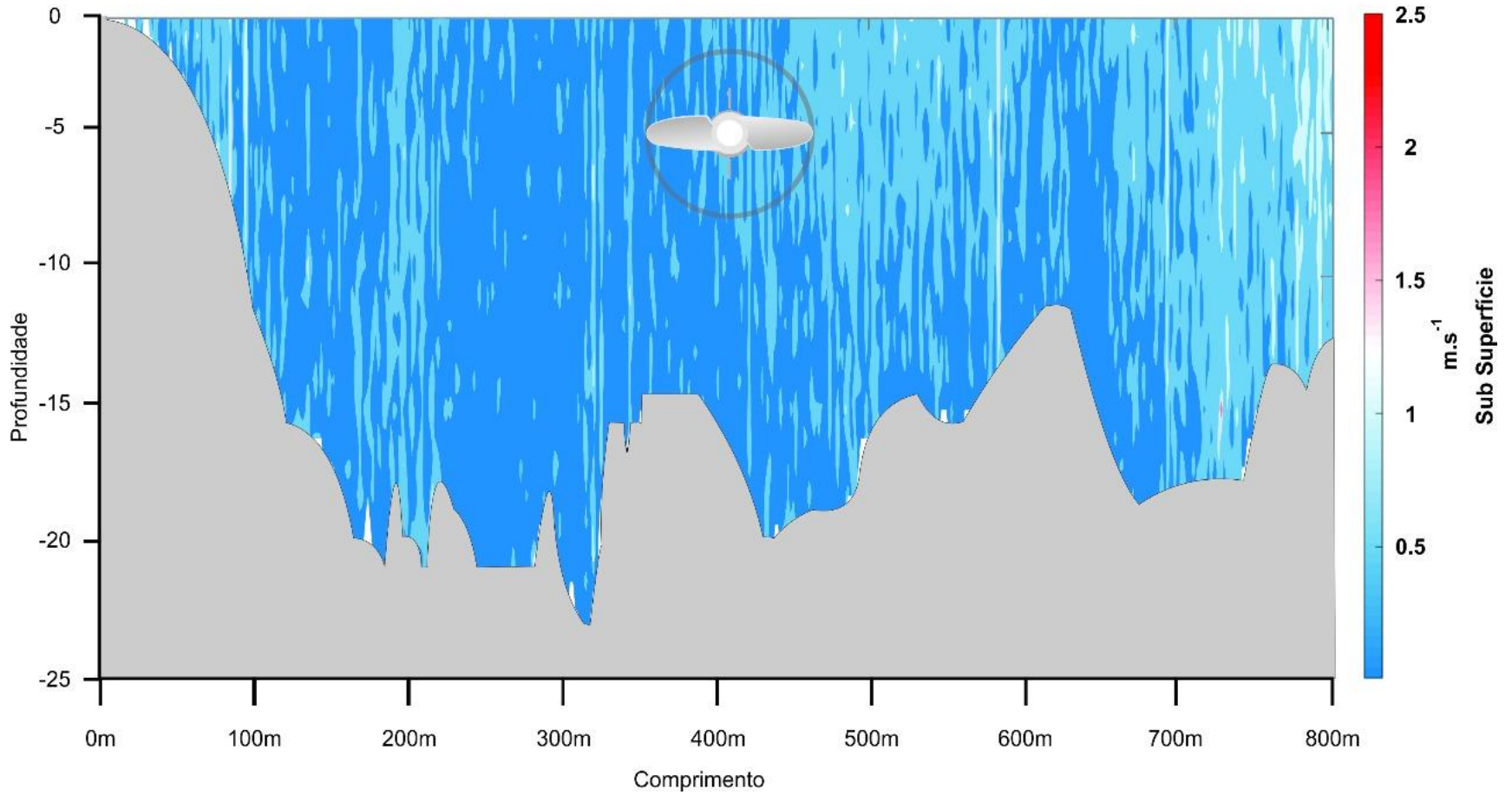




de Energia Elétrica



### Velocidades



Uso da Energia Maremotriz para Produção de Energia Elétrica

# Desafios tecnológicos

- Desenvolver turbina de maré;
- Desenvolver tecnologia de integração das fontes;
- Desenvolver automação;
- Prospectar energia.

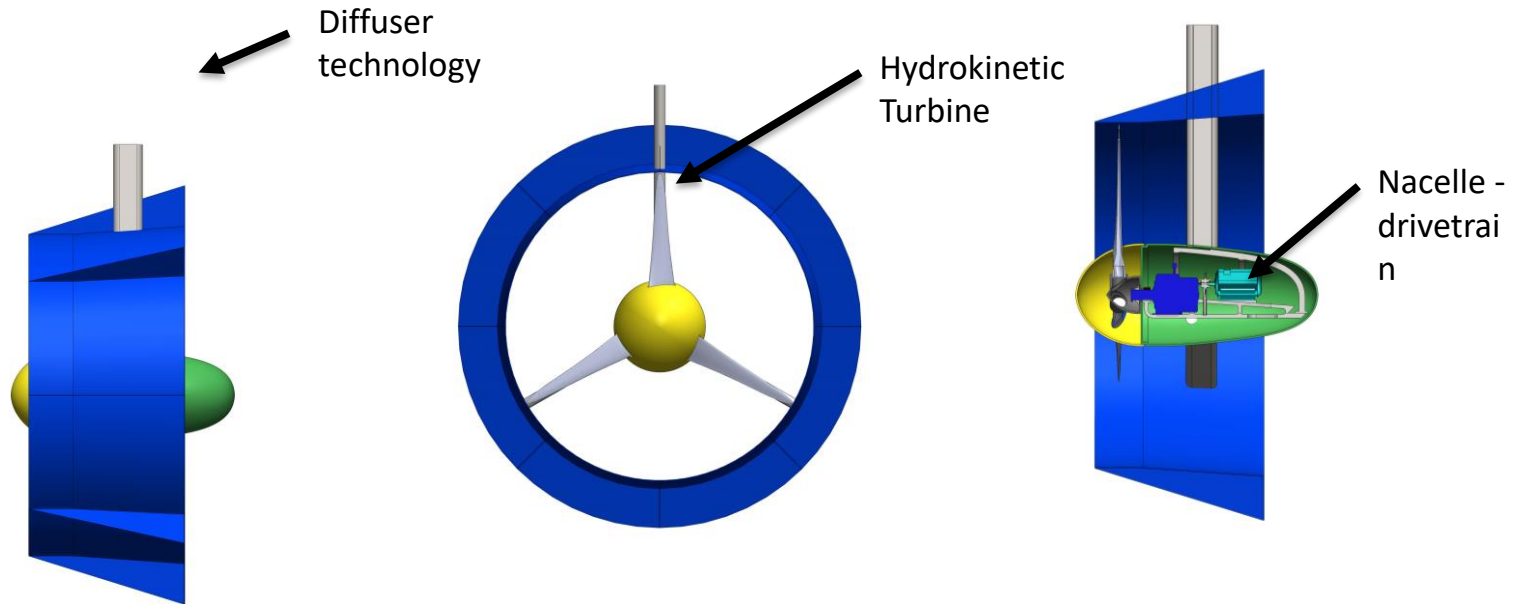
# DESAFIO 0

- Realizar inventário energético de ondas e correntes de maré;
- Investimento elevado:
- INCT: inventário localizado

# DESAFIO 1

- UK: velocidades de 3 a 5 m/s
- Brasil: velocidades de 1 a 2 m/s
- Desenvolver turbina para “baixas” velocidades

# Projeto Tucunaré V1 (Unb/UFPA)



Uso da Energia Maremotriz para Produção de Energia Elétrica

# Nova versão – para o mar

- 4 pás
- Gerador síncrono imã permanente especial
- Difusor
- Materiais



# DESAFIO 2

## Sistema de ancoragem

- Fixação no fundo: alto custo para piloto
- sistema flutuante;
- Arranjo escalável: “fazenda”

# DESAFIO 3

- Integração com a rede;
- Sistema de armazenamento (sist. isolados)
- Composições híbridas (Solar, eólica):

Conversores apropriados

Obrigado

[o.saavedra@ieee.org](mailto:o.saavedra@ieee.org)

INEOF – IEE - UFMA

