



# Atividades do Grupo de Energia Renovável do Oceano da COPPE/UFRJ (Lab. Tecnologia Submarina)

*Prof. Segen F. Estefen*

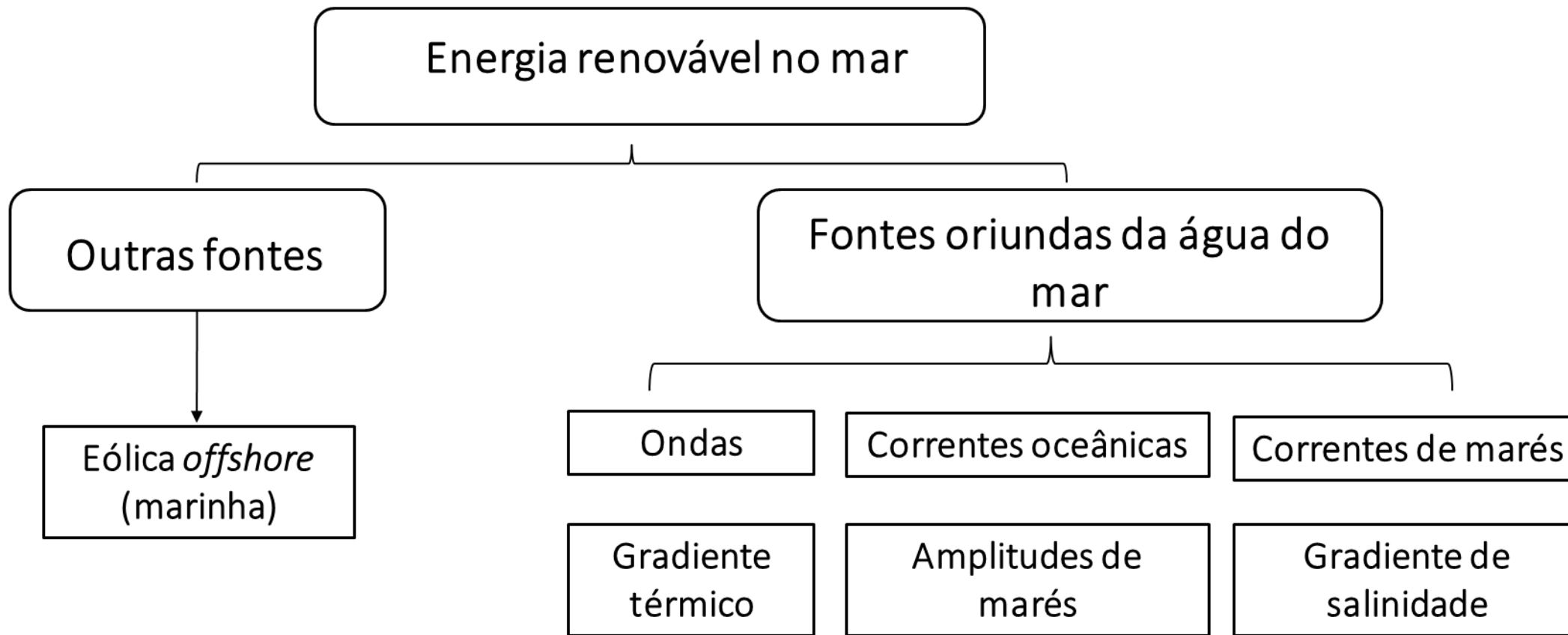
*Dr. Milad Shadman*

*Programa de Engenharia Oceânica*

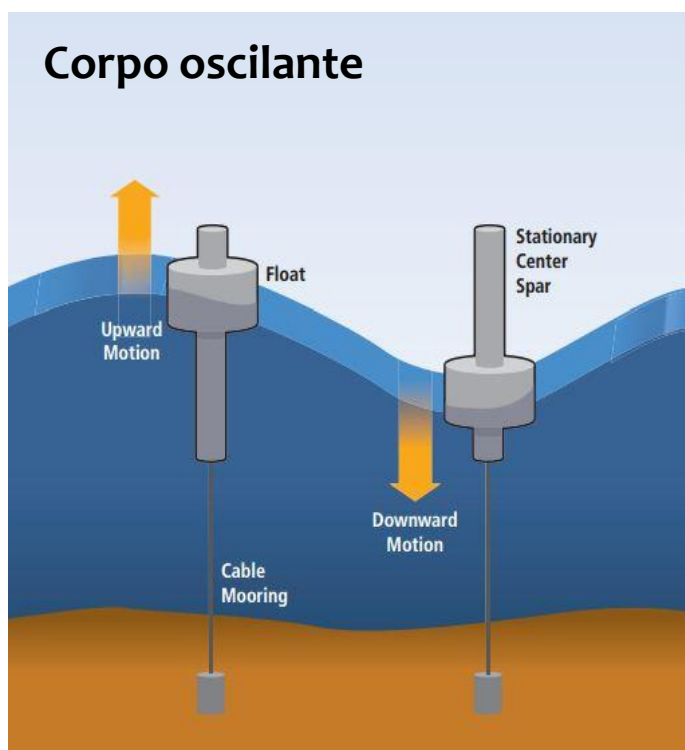
*Setembro de 2018*

# Sumário

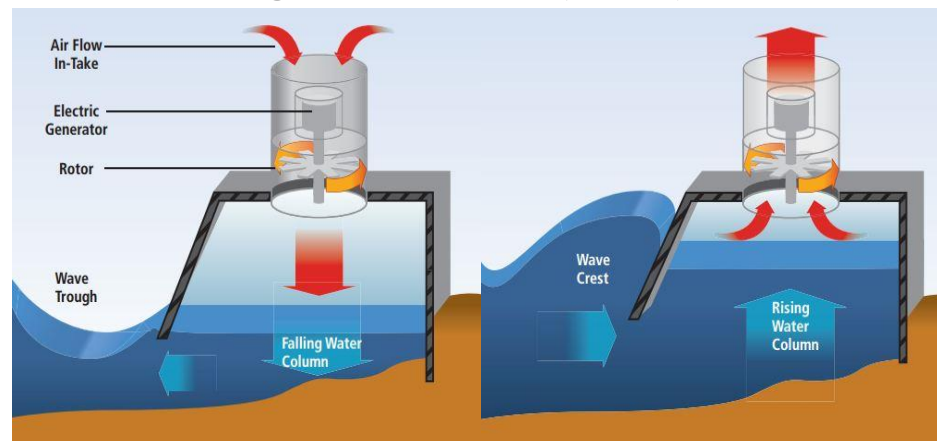
- Introdução
  - Energia Renovável no Mar
  - As tecnologias de conversão
  
- Estágio atual das tecnologias
  
- Atividades do Grupo de Energia Renovável do Oceano
  - Ensino
  - Pesquisa
  - Publicações científicas
  
- Os projetos em andamento
  
- Os projetos de pós-doutorado (LTS/COPPE/UFRJ – INEOF)



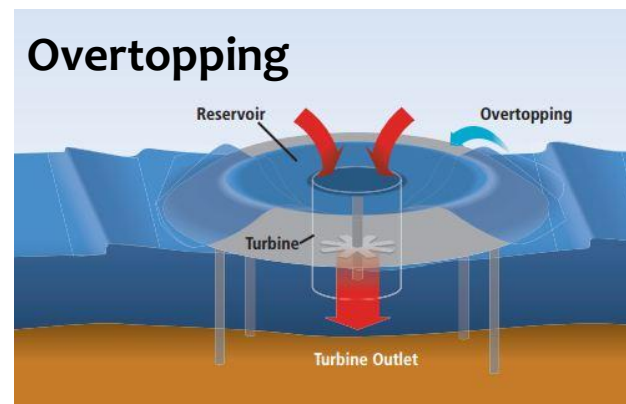
# As tecnologias de conversão: Energia de onda



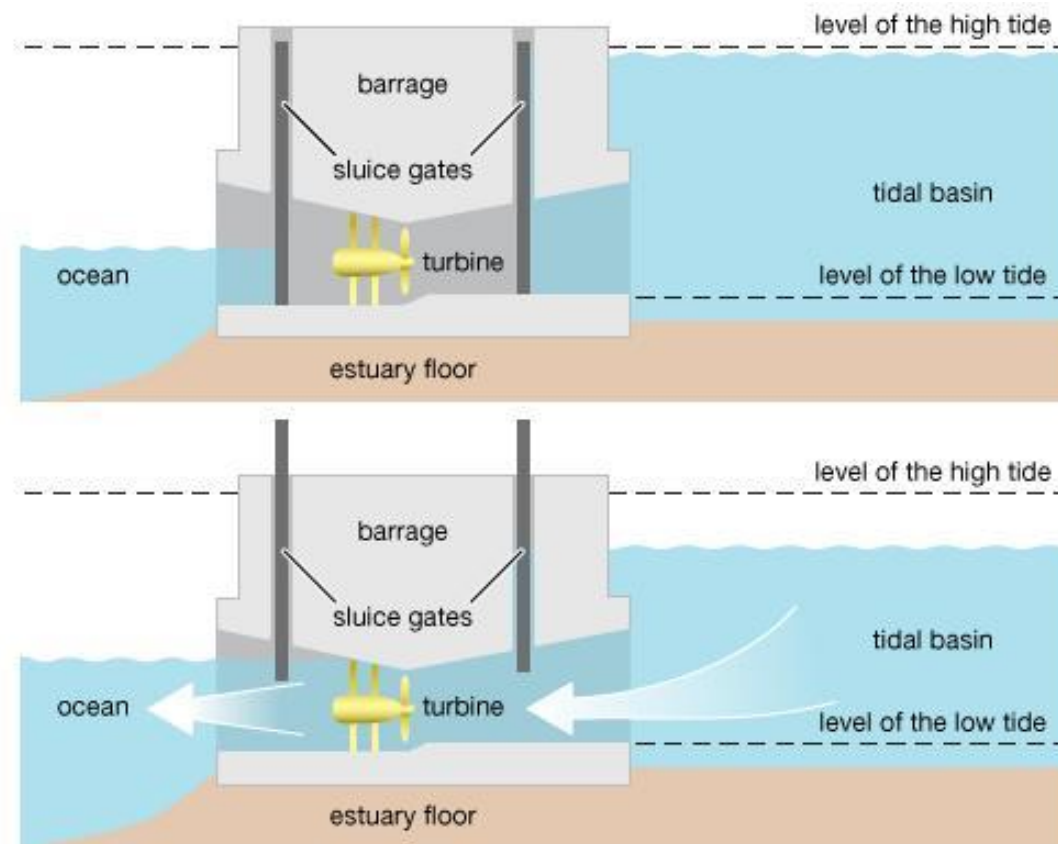
### Coluna de Água Oscilante (OWC)



### Overtopping



# As tecnologias de conversão: Amplitude de maré

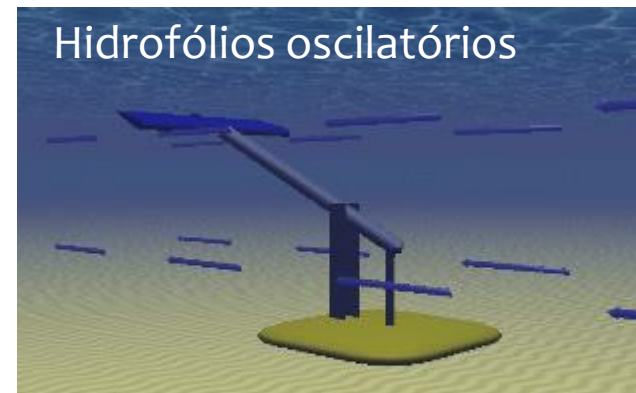


© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

# As tecnologias de conversão: Corrente de maré e Oceânica



© 2008 AQUARET



© 2008 AQUARET

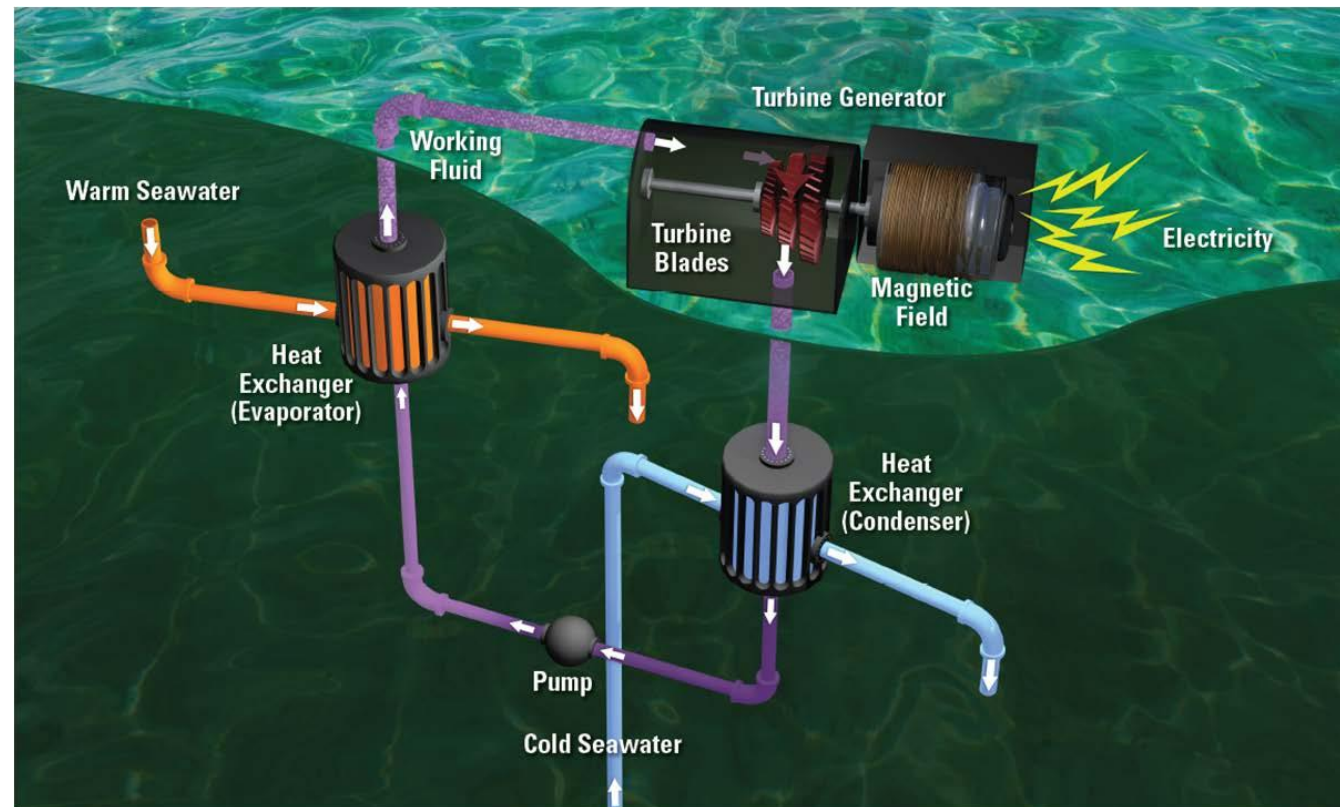
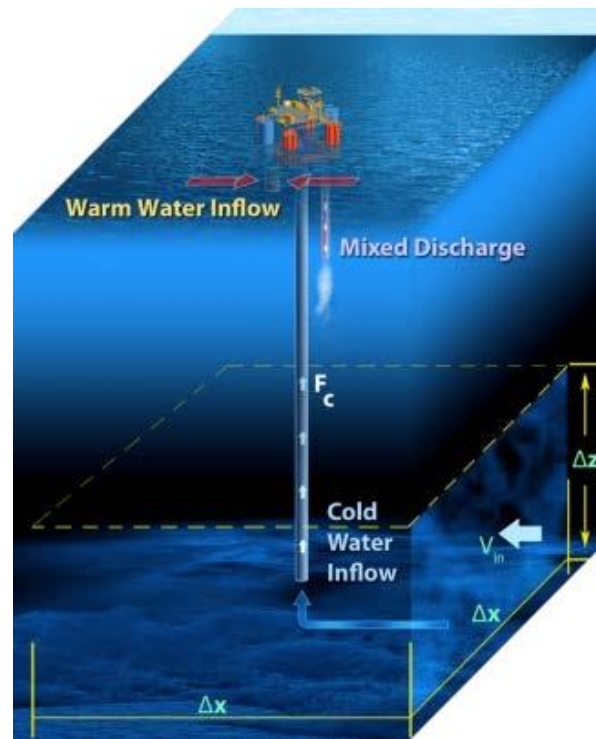


© 2008 AQUARET



© 2008 AQUARET

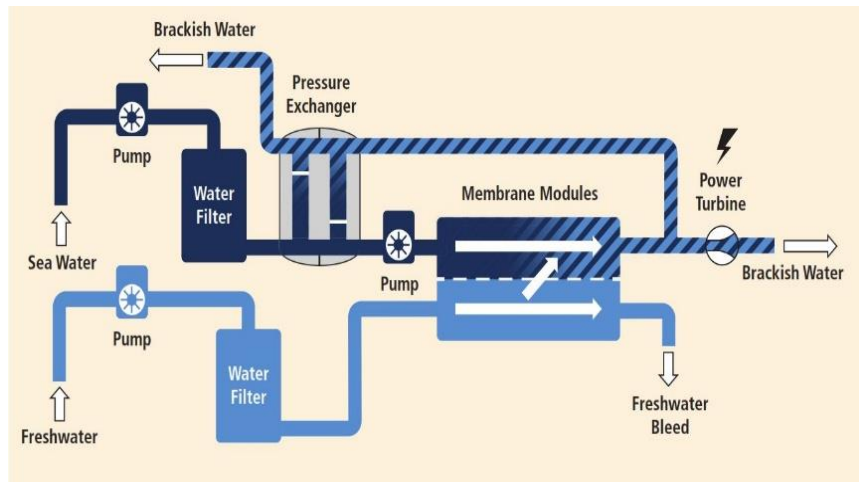
# As tecnologias de conversão: Gradiente térmico (OTEC)



(Fonte: Lockheed Martin Corporation)

# As tecnologias de conversão: Gradiente de salinidade

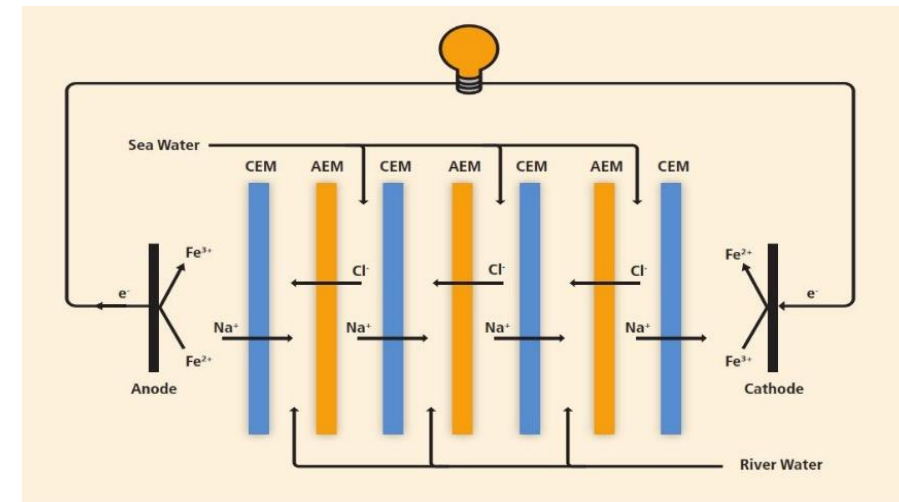
## Osmose retardada por pressão (ORP)



Skråmestø et al, 2009

- Extrair a pressão química devido a mistura de água salobra e água

## Eletrodialise reversa (EDR)

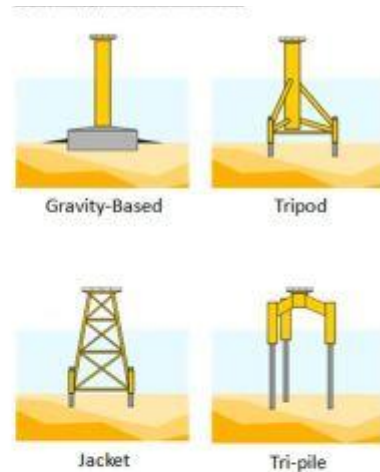
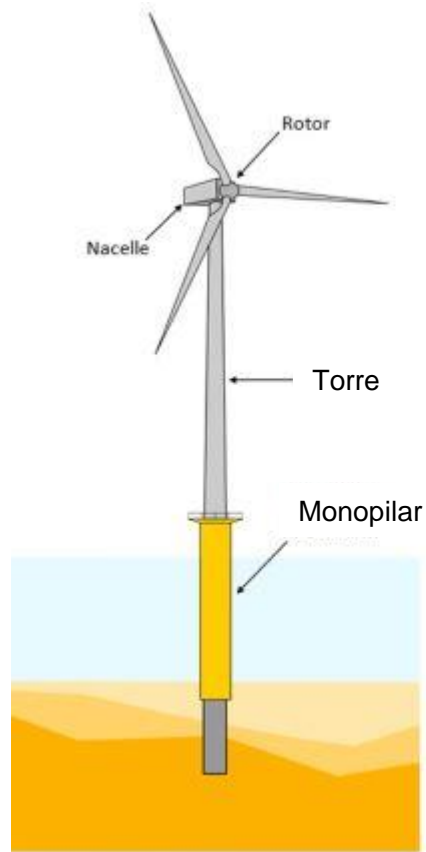


Van den Ende and Groeman, 2007

- Método de EDR baseia-se no transporte de íons (sal) através de membranas
- A diferença do potencial químico entre as membranas resulta em uma tensão elétrica

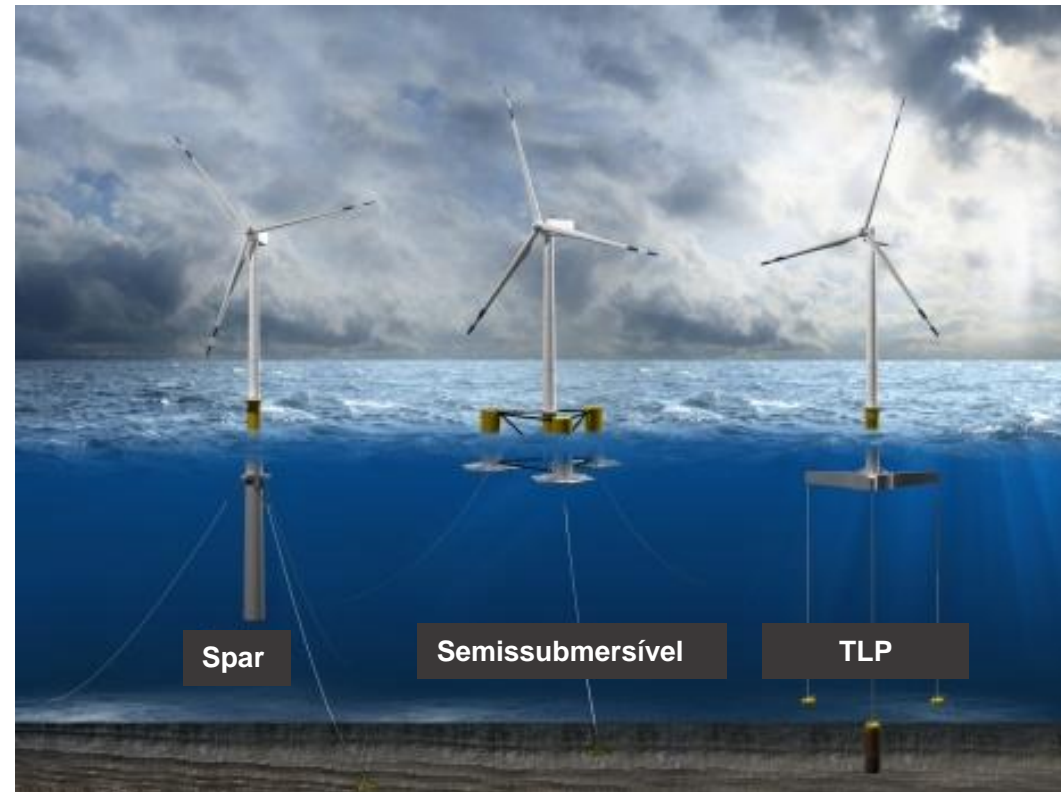


# As tecnologias de conversão: Fundações



Estruturas fixas

Estruturas flutuantes



# Nível de maturidade da tecnologia (TRL)

TRL	Atividades	Estágio atual de desenvolvimento tecnológico						
		Gradiente de salinidade	Gradiente térmico (OTEC)	Correntes oceânicas	Correntes de marés	Energia de ondas	Amplitudes de marés	Eólica offshore
1	Princípios básicos observados e reportados	Gradiente de salinidade	Gradiente térmico (OTEC)	Correntes oceânicas	Correntes de marés	Energia de ondas	Amplitudes de marés	Eólica offshore
2	Conceito tecnológico e/ou aplicação formulada							
3	Função crítica analítica e experimental e/ou característica de prova de conceito							
4	Validação de componente e/ou sistema parcial em ambiente laboratorial							
5	Validação de componente e/ou sistema parcial em um ambiente relevante							
6	Validação de modelo de sistema/subsistema em um ambiente relevante							
7	Demonstração de protótipo em um ambiente operacional							
8	Sistema completo em escala real e serviço qualificado por teste e demonstração							
9	Sistema completo em escala real testado por missão operacional bem sucedida							

- Introdução
  - Energia Renovável no Mar
  - As tecnologias de conversão
  
- Estágio atual das tecnologias
  
- **Atividades do Grupo de Energia Renovável do Oceano**
  - Ensino
  - Pesquisa
  - Publicações científicas
  
- Os projetos em andamento
  
- Os projetos de pós-doutorado (LTS/COPPE/UFRJ – INEOF)

# Atividades do grupo de Energia renovável do Oceano

**Ensino**

**Pesquisa**

**Energia Renovável do Oceano  
(COPPE/UFRJ) (2015-atual)**

**Ocean Renewable Energy  
(colaboração Brasil-Japão)  
(2016-now)**

**Mestrado**

**Doutorado**

**Pós doutorado**

**Kyushu U, Nihon U, U of Tokyo, Saga U  
UFRJ, USP, UFSC, UFPE**

## Teses de mestrados concluídos (2004-2016)

- Juserverck Abreu Lopes Junior. Análise Experimental da Otimização de um Conversor de Energia de Ondas pelo Método de Controle de Amortecimento. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica - COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- Hanna Luizete Vale de Medeiros. Análise e Avaliação da Medição de Onda da Boia Meteo-Oceanográfica da Ilha Rasa (RJ). 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica - COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- Santana, F.M. Investigação da Influência da Variabilidade Natural do Clima no Comportamento das Ondas na Costa do Ceará. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- Jesús Javier Nevares Martin. Avaliação Econômica dos Recursos Energéticos das Ondas do Mar. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- Cristiano Henrique Pimentel Clemente. Avaliação do Desempenho "Hidrodinâmico de um Sistema de Corpos Oscilantes para Extração de energia das Ondas". 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- José Roberto Ruschel Siffert. Aspectos Regulatórios de Energia Renovável de Fontes Oceânicas. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira. Aproveitamento da Energia das Marés - Estudo de Caso: Estuário do Bacanga, MA. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- Paulo Roberto da Costa. Energia das Ondas do Mar para Geração de Eletricidade. 2004. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, . Orientador: Segen Farid Estefen.

## Teses de doutorados concluídos (2004-2017)

- Milad Shadman. Controle Latching aplicado a um conversor de energia da onda. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Segen Farid Estefen.
- Gabriela Bueno Jung. Avaliação das Correntes de Maré como Recurso Energético da Costa do Brasil. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- Paula Bastos Garcia Rosa. Modelagem Dinâmica e Otimização de Sistemas de Conversão de Energias das Ondas em Energia Elétrica. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- Rafael Malheiro Ferreira. Avaliação do Potencial das Marés para Geração de Eletricidade. 2012. Tese (Doutorado em Tecnologia Submarina) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Segen Farid Estefen.
- Mendes, A.T. Desenvolvimento de uma boia-ondógrafo brasileira. 2012. Tese de Doutorado em Engenharia Oceânica - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, Orientador: Segen Farid Estefen.
- Paulo Roberto da Costa. Controle da Frequência do Conversor para Geração de Eletricidade pelas Ondas do Mar. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, . Orientador: Segen Farid Estefen.
- Eliab Ricarte Beserra. Avaliação de Sítios para a Exploração dos Recursos Energéticos das Ondas do Mar. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Financiadora de Estudos e Projetos. Orientador: Segen Farid Estefen.

# Publicações técnicas (2003-2018)

- WU, ZHIJIA ; LEVI, Carlos ; Estefen, Segen F. . Wave energy harvesting using nonlinear stiffness system. APPLIED OCEAN RESEARCH , v. 74, p. 102-116, 2018.
- SHADMAN, MILAD ; Estefen, Segen F. ; RODRIGUEZ, CLAUDIO A. ; NOGUEIRA, IZABEL . A geometrical optimization method applied to a heaving point absorber wave energy converter. RENEWABLE ENERGY , v. 115, p. 533-546, 2017.
- Garcia-Rosa, P.B., Cunha, J.P.V., Lizarralde, F., Estefen, S.F., Machado, I.R., Watanabe, E.H. Wave-to-Wire Model and Energy Storage Analysis of an Ocean Wave Energy Hyperbaric Converter. IEEE Journal of Oceanic Engineering, v. 39, p. 1-12, 2014.
- Costa, P.R., Garcia-Rosa, P.B., Estefen, S.F. Phase control strategy for a wave energy hyperbaric converter. Ocean Engineering, v. 37, p. 1483-1490, 2010.
- Shadman, M., Estefen, S.F., Castillo, C.A.R., Lourenco, M.I. Preliminary Design of Floating Point Absorber Offshore Rio de Janeiro. In: 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 2015, St. John's.
- Estefen, S.F., Garcia-Rosa, P.B., Beserra, E.R., Costa, P.R., Pinheiro, M.M., Lourenco, M.I, Machado, I.R., Maes, S. Small Scale Models, Prototype and Control Strategies. In: Conference on Offshore, Mechanics and Arctic Engineering, 2012, Rio de Janeiro.
- Estefen, S.F., Castello, X., Lourenco, M.I., Rosseto, R.M. Design Analyses applied to a Hyperbaric wave energy converter. In: PRADS 2010, 2010, Rio de Janeiro. Practical Design of Ships and Other Floating Structures, 2010. v. 2. p. 1527-1536.
- Garcia-Rosa, P.B., Machado, I. R., Cunha, J.P.V.S., Lizarralde, F., Watanabe, E.H., Estefen, S.F. Modelagem da dinâmica de um conversor hiperbárico de energia das ondas em energia elétrica. In: XVII Congresso Brasileiro de Automática, 2010, Bonito. XVII Congresso Brasileiro de Automática, 2010.
- Ferreira, R.M., Garcia-Rosa, P.B., Estefen, S.F. Aspectos de Construção e Operação de Modelo Hidráulico de uma Usina Maremotriz para a Geração de Eletricidade. In: V Congresso Rio Automação, 2009, Rio de Janeiro. Anais do V Congresso Rio Automação. Rio de Janeiro: IBP, 2009.
- Garcia-Roda, P.B., Cunha, J.P.V.S., Lizarralde, F., Costa, P.R., Estefen, S.F. Efficiency Optimization in a Wave Energy Hyperbaric Converter. In: 2nd IEEE International Conference on Clean Electrical Power, 2009, Capri. Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Clean Electrical Power. NY: IEEE, 2009. p. 68-75.
- Estefen, S.F., Esperança, P.T., Beserra, E.R., Costa, P.R., Pinheiro, M.M., Clemente, C. H. P., Franco, D., Melo, E. Experimental and Numerical Studies of the Wave Energy Hyperbaric. 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2008, Estoril.
- Estefen, S.F., Costa, P.R., Beserra, E.R., Pinheiro, M.M. Wave Energy Hyperbaric Device for Electricity Production. 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2007, San Diego.
- Beserra, E.R., Estefen, S.F., Parente, C.E., Mendes, A.T. Wave Climate Analysis for a Wave Energy Conversion Application in Brazil. 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2007, San Diego.
- Estefen, S.F., Costa, P.R., Beserra, E.R., Pinheiro, M.M., Esperança, P.T. Conversor Hiperbárico para Geração de Eletricidade. 21º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore, 2006, Rio de Janeiro.
- Estefen, S.F., Beserra, E.R. Avaliação Econômica e Ambiental de Usinas para Extração de Energia das Ondas do Mar. 4º Seminário sobre Meio Ambiente Marinho, 2003, Rio de Janeiro.

## Capítulo de livros

- **Estefen, S.F.**, Lewis, A. (Coordinator Leaders) Chapter 6: Ocean Energy. In: **IPCC SRREN**. (Org.). Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, **2012**, v. 01, p. 497-534.
- **Estefen, S.F.**, Fernandes, A.C., Esperança, P.T., Costa, P.R. Energia das Ondas. In: Fontes Renováveis de Energia no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência Ltda, **2003**, p. 485-515.



# Teses em andamento

## Mestrado (em andamento)

- Estudo de viabilidade de dessalinização da água por um conversor de energia de onda
- Análise de efeito de controle de *End-Stop* aplicado a um *point absorber*
- Viabilidade econômica de uma turbina eólica offshore flutuante no Brasil
- Avaliação do potencial teórico da energia eólica offshore no Brasil
- Avaliação do potencial teórico da energia de onda na costa do Brasil
- Sistema híbrido de energia eólica offshore e onda para a costa Brasileira
- Estabilidade e amarração de sistema híbrido de energia eólica offshore e onda

## Doutorado (em andamento)

- Aplicação de controle de stiffness não linear a um conversor de energia de onda
- Aplicação de rede neural artificial em controle de um conversor de energia de onda do tipo coluna água oscilante (OWC)

- Introdução
  - Energia Renovável no Mar
  - As tecnologias de conversão
  
- Estágio atual das tecnologias
  
- Atividades do Grupo de Energia Renovável do Oceano
  - Ensino
  - Pesquisa
  - Publicações científicas
  
- Os projetos em andamento
  
- Os projetos de pós-doutorado (LTS/COPPE/UFRJ – INEOF)

# Conversores de energia de onda

## COPPE hyperbaric wave converter

- 100kW capacidade instalada
- Ceará, Pecém (2012)



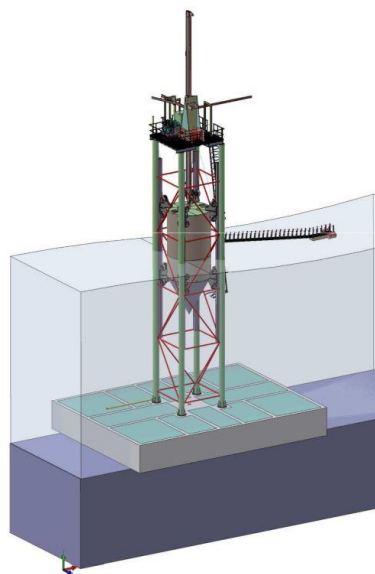
References:

Estefen, S.F et al. (2007, 2012)

Shadman, M et al. (2015)

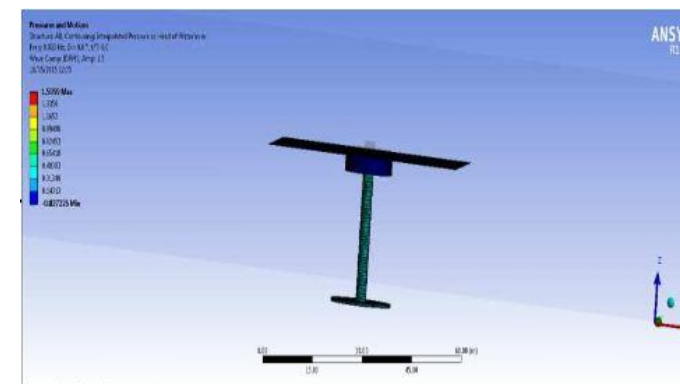
## COPPE nearshore wave converter

- 50kW capacidade instalada
- Ilha Rasa, Rio de Janeiro

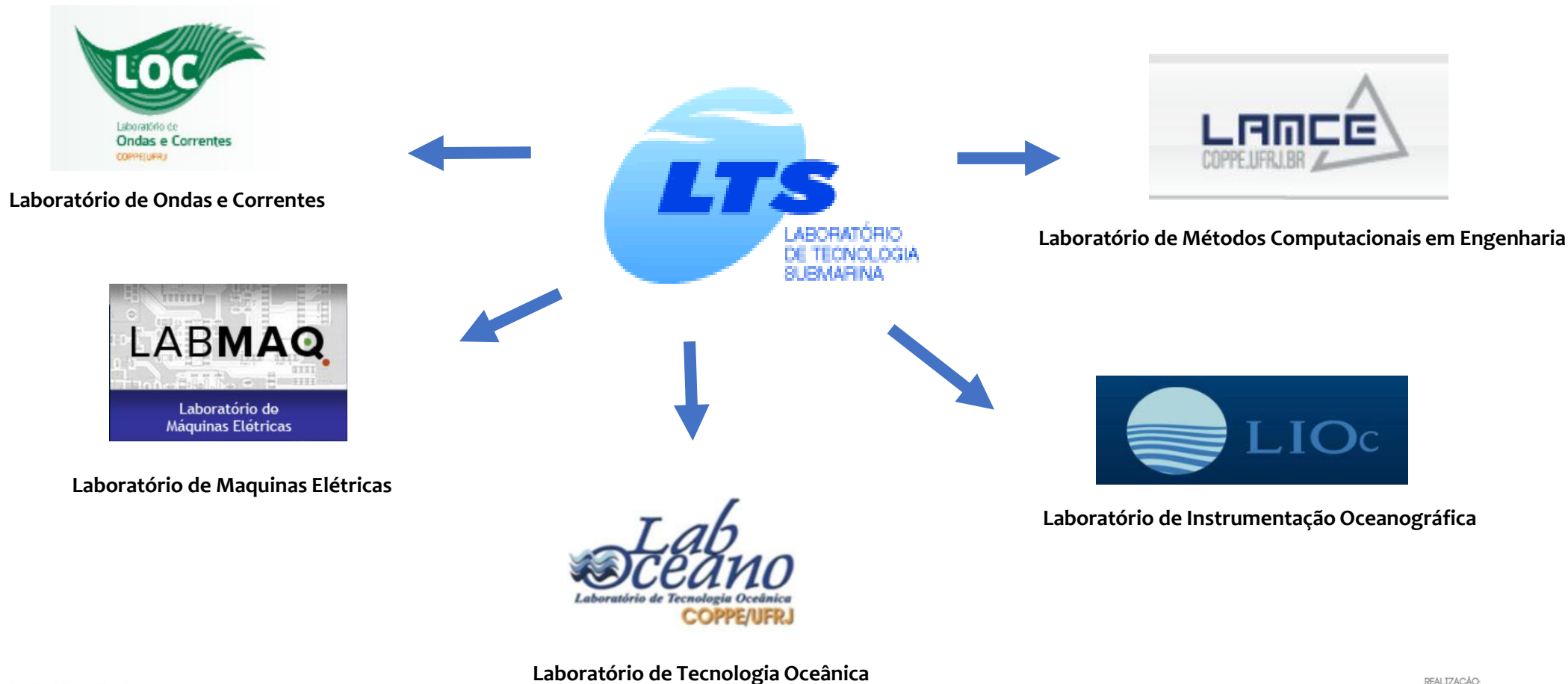


## COPPE offshore wave converter

- 50kW capacidade instalada
- CEO flutuante
- Análise numérica



# Parceiros acadêmicos (Grupo de energia renovável do oceano)



# Potencial energético dos recursos



Gradiente térmico

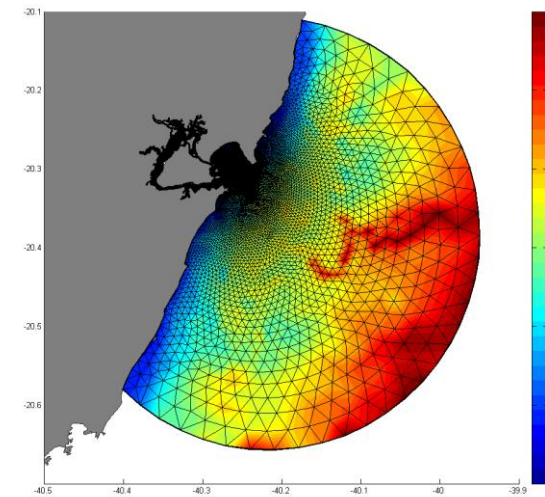
Energia de onda

Corrente oceânica

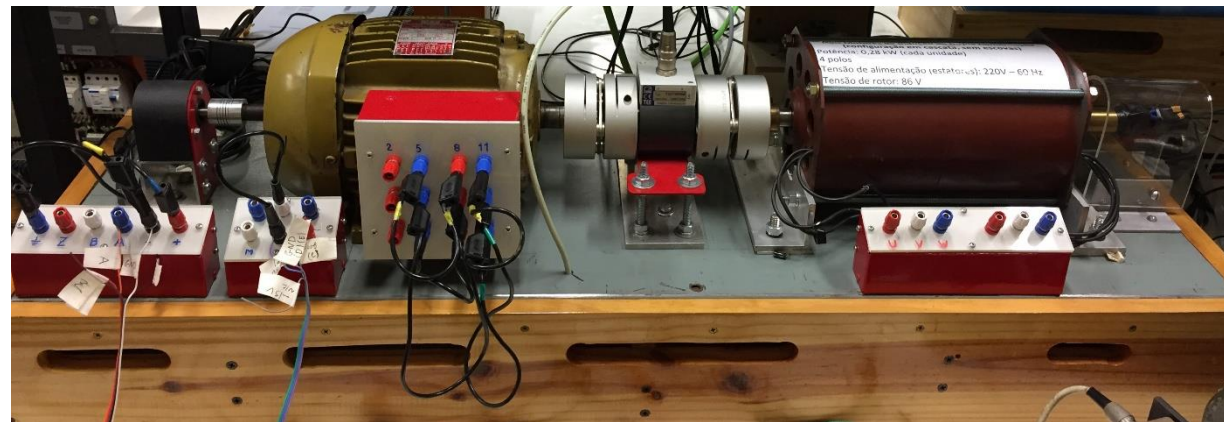
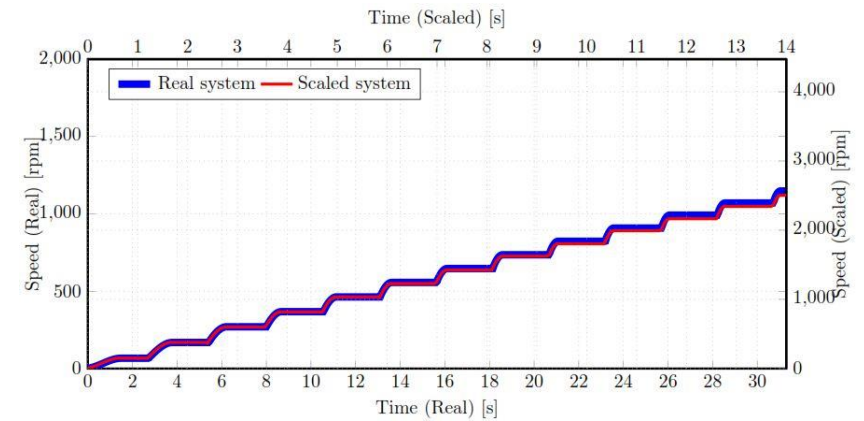
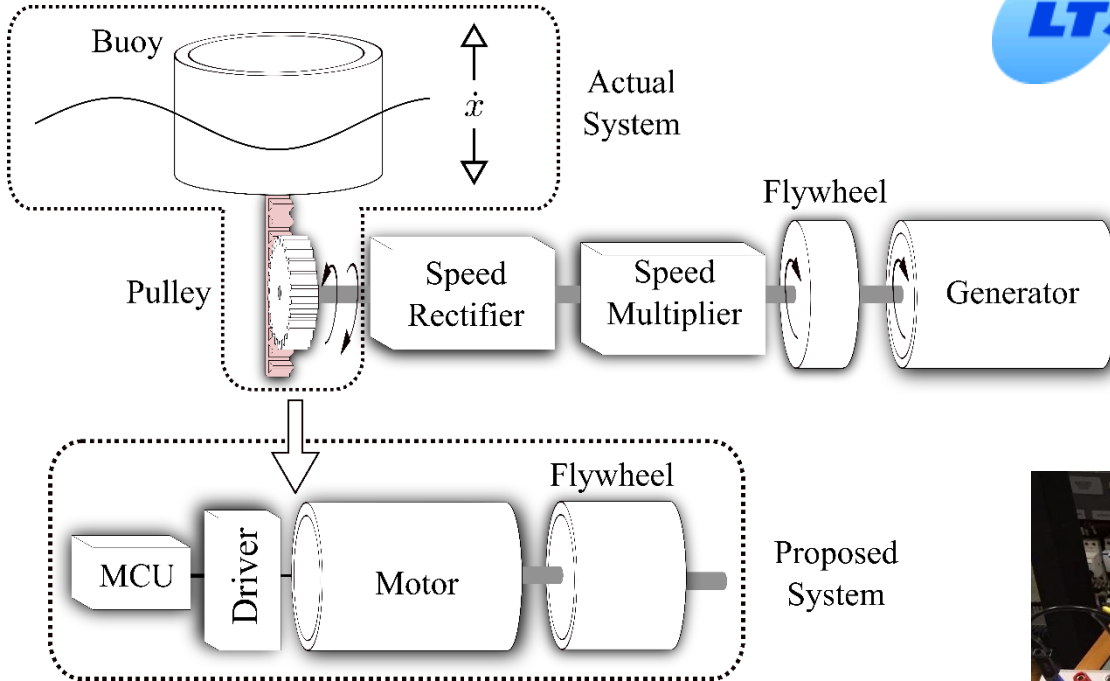
# Potencial teórico e técnico da energia de onda – Nearshore



Modelagem de Águas Rasas  
WW3 + SWAN

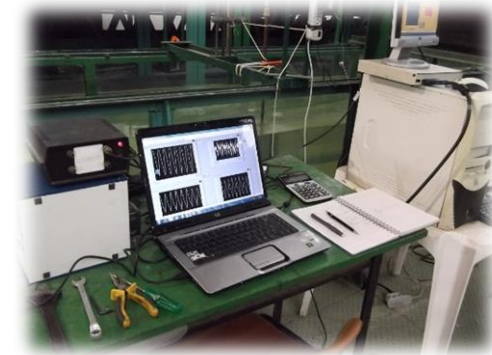


# Equipamento de teste seco (PTO Dry test)



# Ondas regulares (1:100 – 1:25)

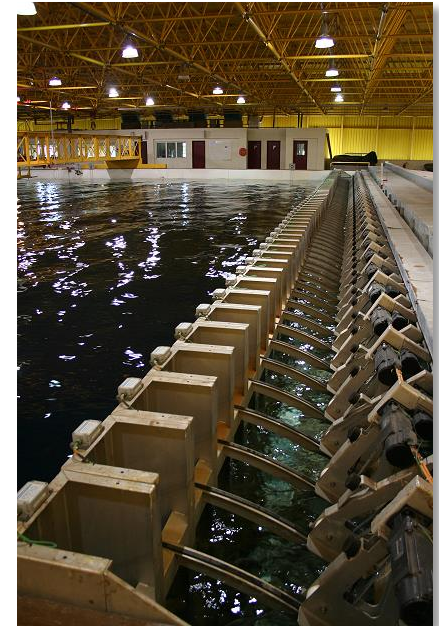
- Teste de decaimento
- Canal de ondas regulares
- Teste de controle *latching*
- Teste de processo de instalação





# Ondas regulares & irregulares (1:25 – 1:10)

- Ondas regulares & irregulares
- Condições extremas
- Simulação do vento e corrente



- 30 m × 40 m
- +15 m de profundidade
- Poço central de 10 m

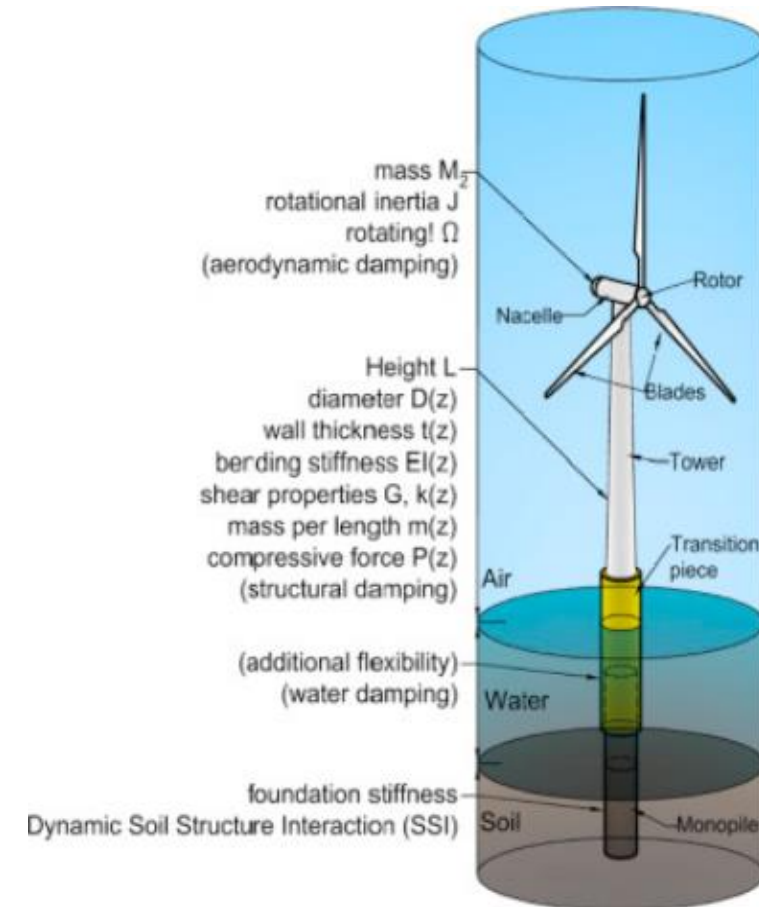


- Introdução
  - Energia Renovável no Mar
  - As tecnologias de conversão
  
- Estágio atual das tecnologias
  
- Atividades do Grupo de Energia Renovável do Oceano
  - Ensino
  - Pesquisa
  - Publicações científicas
  
- Os projetos em andamento
  
- Os projetos de pós-doutorado (Bolsas DTI – INEOF)

# Viabilidade tecno-econômica de monocolunas com Duto Sandwich como Suporte das Turbinas Eólicas Offshore

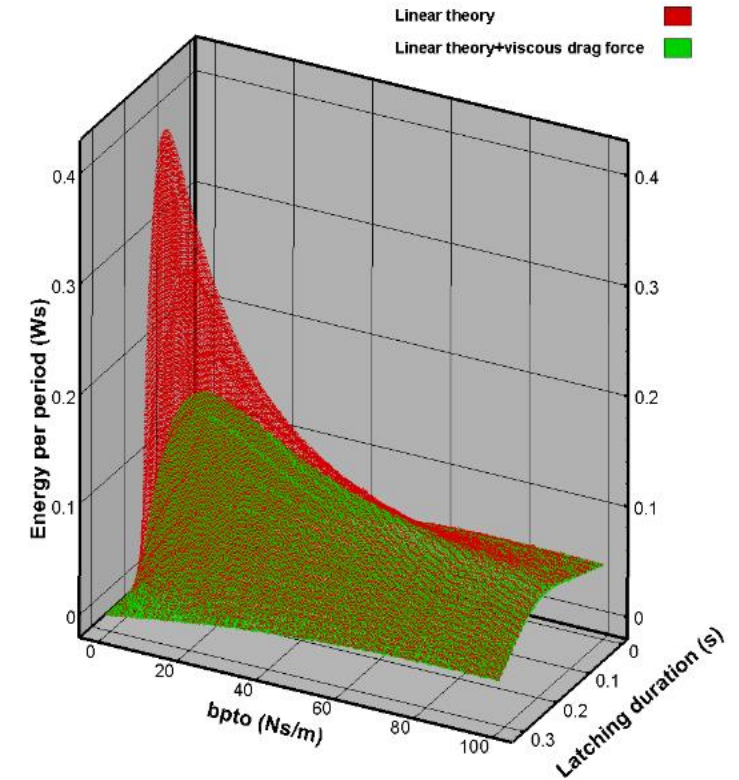
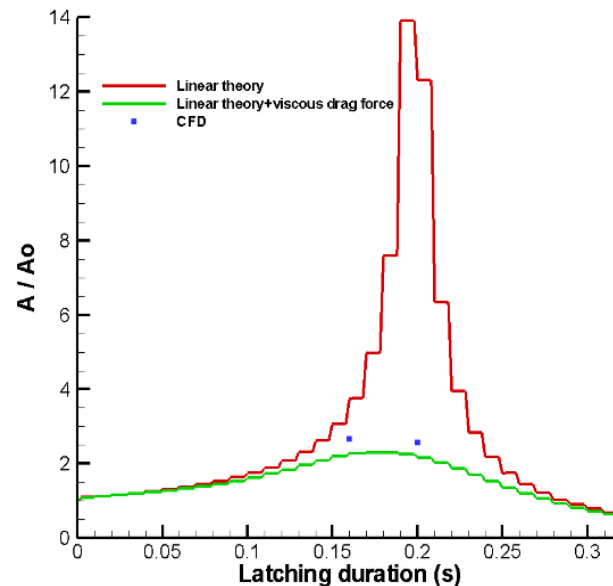
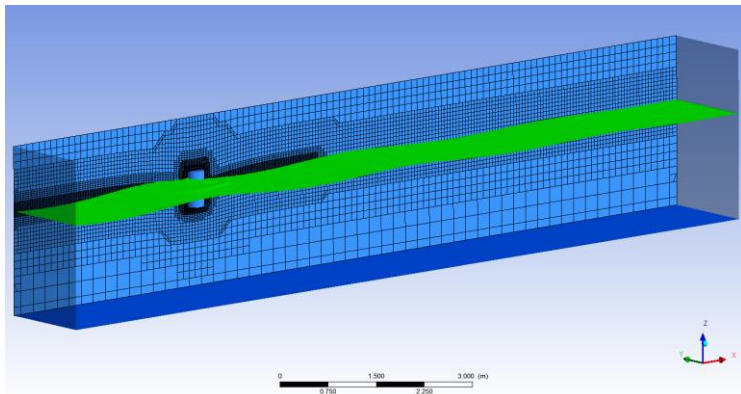


duto sanduíche com SHCC  
(*strain-hardening cementitious composites*)



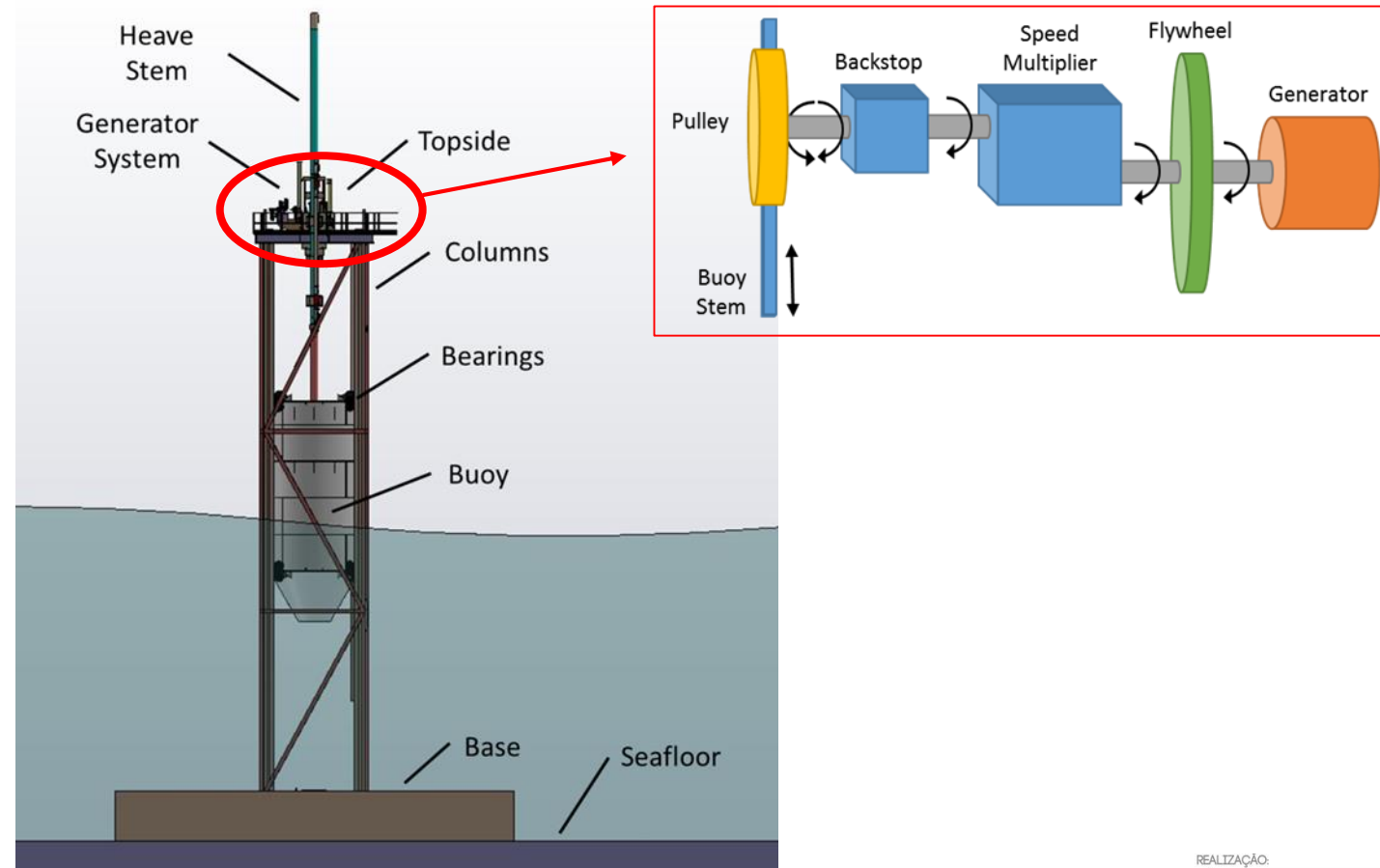
# Simulação numérica de controle latching aplicado a um point absorber

- Linear theory
- Linear theory + viscous drag force
- CFD



# Aplicação de controle latching adaptado a um conversor com Direct-Drive Mechanical PTO

- Sistema de conversão Eletromecânico
- Controle latching adaptado baseado nas características do sistema de conversão



# Obrigado!

[Milad.Shadman@lts.coppe.ufrj.br](mailto:Milad.Shadman@lts.coppe.ufrj.br)  
[segen@lts.coppe.ufrj.br](mailto:segen@lts.coppe.ufrj.br)