

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC**

**CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT**

**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**STEFANO GUILHERME BODNAR GOIS ROTHBARTH**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE USINA MARÍTIMA DE  
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO LITORAL NORTE DE SANTA  
CATARINA**

**JOINVILLE, SC**

**2017**

**STEFANO GUILHERME BODNAR GOIS ROTHBARTH**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE USINA MARÍTIMA DE  
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO LITORAL NORTE DE SANTA  
CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Sérgio Vidal Garcia Oliveira

**JOINVILLE, SC**

**2017**

**STEFANO GUILHERME BODNAR GOIS ROTHBARTH**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DE USINA MARÍTIMA DE  
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO LITORAL NORTE DE SANTA  
CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau em Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Banca Examinadora**

Orientador:

---

Prof. Dr. Sérgio Vidal Garcia Oliveira  
CCT/UDESC

Membro:

---

Prof. Dr. Adalberto de Araújo Barreto Filho  
CCT/UDESC

Membro:

---

Prof. Dr. Fernando Buzzulini Prioste  
CCT/UDESC

**Joinville, 28/06/2017**

## RESUMO

Diante do aumento do consumo de energia elétrica em todos os setores e classes econômicas é recorrente a busca por fontes alternativas de geração de energia limpa, de modo que haja o desenvolvimento do setor energético a partir do apoio de empresas do segmento e das leis vigentes, incentivando a inovação. Um sistema de geração renovável de energia é dito como aquele que se reabastece ao longo do tempo e sem se esgotar, como é o caso das energias contidas na ocorrência das marés e das ondas do mar. Após o entendimento dos modelos físicos disponíveis para as usinas maremotrizes e ondomotrizes, assim como das plantas empregadas ao redor do mundo, observou-se a geografia do Litoral Norte de Santa Catarina, de modo a se verificar o potencial e viabilidade da geração de energia elétrica a partir das fontes marítimas. A partir da análise de dados estimados e aferidos por institutos de pesquisa nacionais, concluiu-se que geradores que convertem energia das ondas do mar tendem a ser mais favoráveis para o perfil costeiro do norte catarinense do que as que convertem a energia das marés. Modelo de usina do tipo coluna de água oscilante (CAO) se mostrou uma opção viável para um dos perfis geográficos apresentados neste trabalho, pois resultaria em baixo impacto ambiental e bom efeito socioeconômico, com um retorno de investimento estimado de pelo menos 20 anos. Havendo o aumento das pesquisas nesta área e a nacionalização das técnicas de geração de energia a partir da energia do mar, este recurso pode se tornar posteriormente nova opção de energia renovável no país.

**Palavras-chave:** Energia limpa do mar. Fontes alternativas de energia. Maremotriz. Ondomotriz. Usina de ondas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura Institucional do Setor Elétrico .....	23
Figura 2 – Energias oceânicas segundo PDIC 2022.....	28
Figura 3 – Limites do Mar.....	32
Figura 4 – Regiões com maior potencial em fonte maremotriz .....	34
Figura 5 – Estrutura básica de barragem .....	35
Figura 6 – Estrutura como Hidrelétrica Marinha .....	36
Figura 7 – Turbina axial tipo bulbo .....	36
Figura 8 – Estrutura maremotriz do tipo cerca ou barreira com turbina <i>Darrieus</i> .....	37
Figura 9 – Estrutura maremotriz do tipo parque de turbinas .....	38
Figura 10 – Níveis de energia das ondas próximas à costa em comparação as ondas em alto mar e a beira mar .....	39
Figura 11 – Regiões com ondas de maior potencial em kW/m .....	40
Figura 12 – Estruturas ondomotriz do tipo flutuante.....	41
Figura 13 – Estrutura de uma central de ondas .....	42
Figura 14 – Esquema do sistema CETO.....	42
Figura 15 – Usina de ondas em Pecém/CE .....	43
Figura 16 – Estrutura de usina de elevação.....	44
Figura 17 – Vista aérea da usina maremotriz de <i>La Rance</i> .....	46
Figura 18 – <i>Annapolis Royal Generating Station</i> .....	46
Figura 19 – Usina elétrica maremotriz <i>Sihwa Lake</i> .....	47
Figura 20 – Usina de ondas <i>Islay LIMPET</i> .....	48
Figura 21 – Central de ondas Ilha do Pico .....	48
Figura 22 – Dispositivo flutuante de ondas <i>Azura</i> .....	49
Figura 23 – Mapa do litoral norte de Santa Catarina.....	51
Figura 24 – Imagem parcial Baía da Babitonga.....	52
Figura 25 – Canal do Linguado .....	53
Figura 26 – Praia de Itapoá.....	54
Figura 27 – Praia do Forte.....	55
Figura 28 – Parte do Costão do Morro da Enseada .....	55
Figura 29 – Praia Grande e Prainha ao fundo.....	56
Figura 30 – Praia do Ervino.....	56

Figura 31 – Balneário Barra do Sul .....	57
Figura 32 – Barra Velha .....	57
Figura 33 – Batimetria da região norte de Itapoá .....	60
Figura 34 – Batimetria da região sul de Itapoá e norte de São Francisco do Sul.....	60
Figura 35 – Batimetria leste de São Francisco: costão Enseada a praia Grande .....	61
Figura 36 – Batimetria da Praia Grande a Praia do Ervino .....	61
Figura 37 – Batimetria do Balneário Barra do Sul as Praias de Barra Velha .....	62
Figura 38 – Simulação de batimetria atual do Canal do Linguado .....	62
Figura 39 – Magnitude das marés no litoral do Brasil .....	64
Figura 40 – Litoral On-line: dados de marés e ventos no litoral norte catarinense....	65
Figura 41 – Litoral On-line: Maregrama.....	65
Figura 42 – Tipos de ondas.....	66
Figura 43 – Ondas <i>swell</i> .....	67
Figura 44 – Altura significativa e direção média das ondas (Região Sul).....	68
Figura 45 – Previsão de ondas para Balneário Barra do Sul .....	68
Figura 46 – Sistema de monitoramento costeiro SIMcos .....	69
Figura 47 – SIMcos no ponto 15 de monitoramento (Região Sul).....	70
Figura 48 – Área represada para estimativa de energia potencial .....	73
Figura 49 – Altura significativa no litoral norte catarinense .....	78
Figura 50 – Período médio das ondas no litoral norte catarinense .....	78
Figura 51 – Central de ondas <i>Islay LIMPET</i> .....	84
Figura 52 – Modelo de estrutura de usina CAO .....	84
Figura 53 – Esboço de turbina tipo <i>Wells</i> .....	85
Figura 54 – Etapas de instalação de uma usina CAO.....	86
Figura 55 – Região do Costão da Enseada.....	88
Figura 56 – Imagem da região do Costão da Enseada .....	89
Figura 57 – Altura significativa no litoral próximo ao Costão da Enseada.....	90
Figura 58 – Período médio das ondas próximo ao Costão da Enseada .....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média das marés na região portuária de São Francisco do Sul segundo o DHN .....	63
Tabela 2 – Registro de ondas no Pontal do Paraná.....	71
Tabela 3 – Potência média das ondas no Pontal do Paraná.....	77
Tabela 4 – Potência média estimada das ondas no litoral norte catarinense.....	79
Tabela 5 – Média das marés na região portuária de São Francisco do Sul segundo Epagri/Ciram .....	81
Tabela 6 – Valores esperados inicialmente na usina CAO <i>Islay LIMPET</i> .....	89
Tabela 7 – Potência média estimada das ondas próximas ao Costão da Enseada..	91
Tabela 8 – Número de unidades consumidoras atendidas por classe .....	93
Tabela 9 – Inflação anual Reino Unido e valores estimados até 2017 para a usina .	96
Tabela 10 – <i>Payback</i> simples estimado do sistema de geração .....	97
Tabela 11– <i>Payback</i> descontado estimado do sistema de geração.....	98
Tabela 12 – Fluxo de caixa anual para estimar a TIR .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações de Geração
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAO	Coluna de Água Oscilante
Celesc	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
Ciram	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
Eletrobrás	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
Epagri	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão Tecnológica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
FIESC	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
IGP-M	Índice Geral de Preços do Mercado
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MT	Mar Territorial
O&M	Operação e Manutenção
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PC	Plataforma Continental
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDIC	Programa de Desenvolvimento Industrial Catarinense
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
SIMcos	Sistema de Previsão e Monitoramento Costeiro
SIN	Sistema Interligado Nacional



TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVO GERAL	11
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO	11
1.4	HIPÓTESES	12
1.5	METODOLOGIA	12
1.6	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>14</b>
2.1	HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	14
2.2	HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA EM SANTA CATARINA	18
2.3	HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA: NORTE DE SANTA CATARINA	20
2.4	FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA	21
<b>2.4.1</b>	<b>Tipos</b>	<b>21</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Política energética e incentivo institucional</b>	<b>22</b>
2.4.2.1	Política envolvendo as usinas marítimas	24
2.4.2.2	Incentivos às usinas marítimas	25
2.4.2.3	Fiesc – PDIC 2022	28
<b>2.4.3</b>	<b>Regulação e mercado para as usinas de fonte marítima</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>OBTENÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO MAR</b>	<b>31</b>
3.1	FONTE RENOVÁVEL MAREMOTRIZ	34
<b>3.1.1</b>	<b>Tipos de arranjo</b>	<b>35</b>
3.1.1.1	Barragem de Marés ou Hidrelétrica Marinha	35
3.1.1.2	Cercas ou barreiras	37
3.1.1.3	Parque de turbinas	37
<b>3.1.2</b>	<b>Limites tecnológicos</b>	<b>38</b>
3.2	FONTE RENOVÁVEL ONDOMOTRIZ	39
<b>3.2.1</b>	<b>Tipos de arranjo</b>	<b>40</b>
3.2.1.1	Estruturas flutuantes	41
3.2.1.2	Coluna de água oscilante (CAO)	41
3.2.1.3	Osciladores com sistema hidráulico	42

3.2.1.4	Usina de elevação .....	43
<b>3.2.2</b>	<b>Limites tecnológicos .....</b>	<b>44</b>
3.3	CASOS DE SUCESSO.....	45
<b>3.3.1</b>	<b>Usinas maremotriz em operação.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Usinas de ondas em operação .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Usinas em fase de testes .....</b>	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>PERFIL DO LITORAL NORTE DE SANTA CATARINA.....</b>	<b>51</b>
4.1	ESPAÇOS GEOGRÁFICOS DA COSTA .....	51
4.2	CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA REGIÃO .....	58
4.3	PLANÍCIE OCEÂNICA.....	59
4.4	HISTÓRICOS DAS MARÉS .....	63
4.5	HISTÓRICOS DA ALTURA DAS ONDAS .....	66
4.6	POTENCIAL DE GERAÇÃO .....	71
<b>4.6.1</b>	<b>Mapeamento dos pontos com potencial de geração.....</b>	<b>71</b>
<b>4.6.2</b>	<b>Rendimento aproximado das marés .....</b>	<b>73</b>
<b>4.6.3</b>	<b>Rendimento aproximado das ondas .....</b>	<b>75</b>
<b>4.6.4</b>	<b>Qual fonte oferece maior potencial nesta região.....</b>	<b>79</b>
4.7	COLETA DE DADOS EPAGRI/CIRAM.....	80
<b>4.7.1</b>	<b>Históricos da altura e período das ondas .....</b>	<b>80</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Históricos das marés .....</b>	<b>80</b>
<b>4.7.3</b>	<b>Informações de corrente marítima.....</b>	<b>82</b>
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO E ESCOLHA DE UNIDADE GERADORA .....</b>	<b>83</b>
5.1	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UMA USINA CAO .....	84
5.2	CONSTRUÇÃO DE UMA USINA CAO.....	86
5.3	APROXIMAÇÃO MATEMÁTICA .....	87
5.4	ESTUDO DE CASO: USINA CAO NO COSTÃO DA ENSEADA.....	87
<b>5.4.1</b>	<b>Estimativa do potencial de geração.....</b>	<b>89</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Impactos ambientais .....</b>	<b>93</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Impactos sociais.....</b>	<b>94</b>
<b>5.4.4</b>	<b>Avaliações financeiras .....</b>	<b>94</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>101</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>102</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>112</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por meios alternativos de geração de energia elétrica tem sido fonte de estudos e notícias nos últimos anos, pois o emprego da eletricidade tem se intensificado em todos os setores e a dependência dos recursos de geração de energia elétrica disponíveis até o momento é bastante elevado. Dentre as fontes renováveis de energia que se tem a disposição, a fonte de energia oferecida pelo mar é uma ótima alternativa de se conseguir a produção limpa e renovável pretendida, tendo em vista a extensão do litoral brasileiro. Contando com as ondas do mar e as variações das marés, é possível criar elementos geradores de forma a aproximar e complementar a demanda dos consumidores de energia, que a cada ano aumenta mais. Por isso, o entendimento de como as entidades governamentais e empresas do setor energético planejam o futuro desta fonte, de que maneira promovem os incentivos, os tipos de plantas estudadas e os seus limites são de grande interesse para que em um futuro próximo os geradores de energia a partir das fontes do mar sejam uma realidade.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

A intenção deste trabalho é estudar o Litoral Norte catarinense quanto ao potencial e viabilidade da geração de energia a partir de usinas marítimas, com interesse maior nas ondas do mar e na variação das marés. Esta região tem uma alta concentração populacional e é também um forte polo industrial, onde empresas de porte internacional estão fixando postos de trabalho. Todas estão relativamente próximas do mar. Portanto, fazer um levantamento teórico quanto à possibilidade de investimento neste tipo de geração de energia para tamanha demanda traria, uma vez que constatada a viabilidade, nova alternativa para complementar a matriz energética desta região e, conseqüentemente, estimular o estudo de outras partes do litoral brasileiro.

### 1.2 OBJETIVOS GERAIS

Apresentar um levantamento teórico embasado em conceitos acadêmicos quanto ao potencial do Litoral Norte de Santa Catarina gerar energia elétrica através de fonte oceânica.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esclarecer se é possível ou não instalar usinas geradoras de energia ao longo do litoral norte catarinense, o nível de impacto ambiental e reflexos sociais e econômicos para esta região.

### 1.4 HIPÓTESES

A região Sul do Brasil é característica por ser de clima temperado, possuindo estações do ano bem distribuídas. Este é um tipo de clima onde se pode obter boa conversão da energia produzida pelas ondas do mar, já que em algumas épocas do ano há uma incidência maior de ventos, e produzem assim ondas de maior potencial energético. Quanto à variação das marés, se esperam maiores diferenças nas fases de Lua Cheia e Lua Nova, de modo que a variação entre marés seja relevante a ponto de permitir algum tipo de modelo de geração de energia.

O Litoral Norte de Santa Catarina integra as cidades de Itapoá, Garuva, Joinville, São Francisco do Sul, Balneário Barra do Sul, Araquari e Barra Velha ao longo de aproximadamente 120 km da costa, sendo proposto que parte da população ou indústrias da região possam usufruir desta energia gerada, de modo a contar com uma fonte geradora muito mais próxima do que o sistema de geração e transmissão atuais, apesar de que o comparativo envolve tecnologias já dominadas (hidrelétricas e termelétricas) contra tecnologias ainda em fase de desenvolvimento (maremotriz e usina de ondas). É possível que essa energia de fonte renovável e limpa seja acompanhada de uma melhoria contínua nos conceitos de instalações prediais, empregando técnicas alternativas e ecológicas de forma que a dependência da energia elétrica se torne menor e que os grupos consumidores façam melhor aproveitamento da energia elétrica.

### 1.5 METODOLOGIA

Após a revisão bibliográfica, o intuito foi realizar o levantamento do litoral norte catarinense quanto a sua geografia, ecossistema e os históricos que envolvem as marés e as ondas nesta área, a partir de consulta em trabalhos acadêmicos e também busca em banco de dados de instituições nacionais, como a Marinha do Brasil e Capitania dos Portos. Na região norte catarinense, a Capitania de São

Francisco do Sul é quem atende as cidades. As instituições estaduais e municipais, como o Epagri e a Defesa Civil, respectivamente, também foram fonte de pesquisa para coleta de dados. Foram elaboradas tabelas que sintetizaram estas informações. Outras referências que contenham conteúdo relevante ao projeto foram de grande contribuição. Após isso, mapearam-se as regiões com potencial de geração, qual oferece maior potencial e o rendimento estimado, com a realização de cálculos para então eleger tecnologia que pudesse ser estudada posteriormente.

## 1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em seis capítulos.

O primeiro capítulo apresenta a introdução, com os objetivos propostos, hipóteses e metodologia.

O segundo capítulo trás a revisão bibliográfica, com o histórico da energia elétrica no Brasil, conceitos sobre as fontes renováveis de energia estudadas e exploradas em geral, a política energética, incentivos e regulamentação das fontes oceânicas promovidas no país.

O terceiro capítulo apresenta informações sobre o mar e as fontes renováveis maremotriz e ondomotriz, além de empreendimentos que estão instalados ao redor do mundo e a situação em que se encontram.

No quarto capítulo são apresentadas informações a respeito do Litoral Norte de Santa Catarina, o perfil ambiental e geográfico, históricos das ondas e marés, o potencial de geração e dados obtidos de centro de pesquisa.

O quinto capítulo fala sobre a usina de coluna de água oscilante, modalidade de geração escolhida para estudo de caso em uma das áreas litorâneas apresentadas neste trabalho.

E o sexto capítulo trás as principais conclusões a respeito da proposta deste trabalho e algumas sugestões de estudo para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo busca resgatar os primeiros registros de uso da energia elétrica no Brasil. Com a expansão do consumo, como e quando o Estado de Santa Catarina começou a consumir e produzir a sua energia. Do mesmo modo, observar como a região Norte do Estado se desenvolveu com a expansão da oferta energética. Em seguida, discorrer a respeito das fontes renováveis de energia e as políticas e incentivos que envolvem as fontes marítimas de energia.

### 2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O Brasil durante mais de três séculos foi uma colônia de exploração, que usava recursos da terra e mão de obra escravizada. Assim, não havia a disseminação da cultura a não ser por meio da Igreja, promovendo a catequização. Alguns recursos mecânicos, como moinhos movidos a rodas d'água ou moendas em engenhos que trabalhavam com a força do boi eram o que havia de mais robusto.

Mas com a vinda da coroa portuguesa na primeira década de 1800, a colônia – que em 1822 se torna independente – começa ter acesso às informações de outras ciências. Apesar de a revolução industrial aqui ter ficado defasada em relação à Europa e Estados Unidos, a chegada da eletricidade no país foi muito mais alinhada com as descobertas e experimentos que se desenvolveram neste mesmo século em que o Brasil se torna um país.

Após as descobertas de Michael Faraday e Joseph Henry acerca dos motores e geradores por volta de 1830, é que as teorias de máquinas elétricas começaram a se desenvolver ao redor do mundo, e ao passo de aproximadamente 50 anos, geradores de capacidade relevante começam a aparecer em projetos comerciais, pois a tecnologia e o domínio das teorias eletromagnéticas avançaram de forma crescente.

Em 1879 o Imperador Pedro II “inaugura a iluminação elétrica da antiga Estação da Corte (...) da Estrada de Ferro Central do Brasil, com 6 lâmpadas de arco voltaico, tipo *Jablockhoff*, que substituem 46 bicos de gás” [1]. Esta primeira instalação foi promovida por Thomas Edison, que recebeu autorização do imperador para realizar a instalação de suas invenções sobre a luz elétrica na rede pública.

Nos anos seguintes houve novas instalações de sistemas de iluminação em praças e prédios, a partir de dínamos. Em 1883 se tem registro da instalação da

primeira Usina Hidrelétrica em Diamantina (MG), no Ribeirão do Inferno, utilizando queda da água e linha de transmissão de aproximadamente 2 km, mas destinada a uso privado. Linhas de bondes elétricos também eram testadas no Rio de Janeiro. Na última década de 1800, foram construídas outras usinas, onde se destacam a Usina Hidrelétrica Marmelos Zero, em Juiz de Fora (MG), Usina Térmica de Curitiba (PR) abastecida a lenha; a Usina Termelétrica Belém I (PA), movidas com máquinas a vapor e a Hidrelétrica Itamarati (RJ).

Com o aumento de projetos de usinas e início da criação das redes públicas de iluminação, nascem as primeiras concessionárias de energia. A partir de 1900, investidores internacionais trazem recursos financeiros para o Brasil, tendo em vista o acelerado progresso que vinha acontecendo. Um caso foi a São Paulo *Railway Light & Power Company Ltd.* (empresários dos Estados Unidos e Canadá), sendo um dos seus primeiros projetos a Usina Hidrelétrica Parnaíba (SP), que construiu barragem de 15 m de altura no Rio Tietê com potencial de geração inicial de 2 MW.

Em 1903 o Congresso Nacional aprova a primeira lei que regulamenta a exploração da geração e uso de energia elétrica no Brasil e decretos que normatizavam os contratos de concessão de uso. O aumento do consumo de equipamentos levou a abertura de empresas e comércios de materiais elétricos.

Por volta de 1926 acontece a primeira crise de abastecimento de energia na região Sudeste. Para conseguir atender a demanda, é colocada em funcionamento a Usina Hidrelétrica Cubatão (SP) na região da Serra do Mar, cuja instalação contava com sistema de represamento, reservatórios e tubulação forçada por mais de 700 m, pioneira no Brasil e com capacidade de geração de 28 MW.

O grande aumento de negociações das usinas que surgiram nos anos levou a publicação do Decreto nº 20.395 de 15 de setembro de 1931, que “suspende, até ulterior deliberação, todos os atos de alienação, oneração, promessa ou começo de alienação ou transferência de qualquer curso perene ou queda d’água” [2]. Além dessa, novos decretos foram sendo publicados e outros atualizados, como o Código de Águas (que surgiu em 1907, mas recebeu atualizações em 1934 e 1938), com o objetivo de estudar, controlar, tributar e fiscalizar as atividades de energia elétrica e regulamentar as usinas hidrelétricas e termelétricas.

Em 1945 o governo autoriza o Ministério da Agricultura a controlar a primeira empresa pública de eletricidade no Brasil, a Chesf (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco), que realizaria aproveitamento do potencial de energia no rio São



Francisco, fornecendo e distribuindo energia em alta tensão as empresas de serviços públicos de eletricidade dos estados do Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe.

A partir de 1950 políticas de governo são desenvolvidas, como o Plano Quinquenal, visando investimentos na indústria de base, transporte e energia. São criadas as empresas públicas de energia, como a Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (Celesc) em 1955. Em 1956 é criada a Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), com a missão de nortear a política atômica nacional.

Na década de 1960 se consolidam os sistemas, leis e empresas responsáveis pelos rumos da energia elétrica no Brasil. É criado o Ministério de Minas e Energia (MME), cuja missão é gerenciar todos os assuntos referentes à produção mineral e energia no país, e a Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), “para coordenar técnica, financeira e administrativamente o setor de energia elétrica brasileira” [3]. Em 1962, representantes do poder público contratam consultoria canadense e norte americana para analisar o potencial hidrelétrico e mercado energético no Sudeste – o Consórcio Canambra – sendo esta considerada uma das melhores análises de planejamento elétrico no país.

Em 1964 é aprovada por lei a unificação da frequência no país em 60 Hz, com adesão gradativa dos sistemas, pois esse foi um problema que apareceu ao passo que aconteciam as interligações dos sistemas de transmissão. Em 1969 se inicia o programa nuclear brasileiro, sendo delegada à Central Elétrica de Furnas a construção da Usina Nuclear de Angra dos Reis (RJ), que entra em operação em 1985 e geração inicial de 657 MW.

Nos anos de 1970 é criado o Cepel (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), que desenvolveu e aplicou tecnologia em novos equipamentos e sistemas elétricos para atender as demandas do setor de energia e também gerar direitos de propriedade nacional, buscando diminuir custos com patentes e royalties.

Na década de 80, é criado o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que desenvolveu plano de ações para que metas e programas de governo fossem mais coesos, fixar as políticas fiscais e financeiras e houvesse troca de conhecimento entre as concessionárias de forma a estimular o aumento da eficiência, diminuir o desperdício e uso mais racional da energia em processos industriais e dos equipamentos elétricos.

Em 1984 entra em funcionamento a Usina Hidrelétrica de Itaipu, localizada no rio Paraná e divisa entre o Brasil e Paraguai. Milhares de pessoas trabalharam neste projeto de 1975 a 1982, tal como milhares de toneladas de concreto e ferro foram usadas. Segundo informação disponível no site da Itaipu Binacional [4], a capacidade instalada é de 14 GW, com 20 unidades geradoras e, até 2017, a maior produtora de energia no mundo. Para transmitir essa energia à região Sudeste, foi projetado o sistema de extra-alta-tensão Sul-Sudeste, utilizando linhas de corrente alternada de 750 kV e de corrente contínua de 600 kV.

Em 1986 é lançado o Plano Diretor para Conservação e Recuperação do Meio Ambiente nas Obras e Serviços do Setor Elétrico, orientando sobre assuntos socioambientais para o setor de energia elétrica brasileira. É definido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que usinas geradoras com potência maior que 10 MW e linhas de transmissão com tensões superiores a 230 kV são projetos modificadores do meio ambiente. Isto significava que era necessária a realização de Estudo de Impacto e Relatório de Impacto Ambiental para licenciar os projetos.

Na década de 1990, os planos nacionais desenvolvidos nos anos anteriores estão em andamento e as leis aprimoradas, mas também vem uma onda de estagnação na infraestrutura de fornecimento e distribuição de energia, principalmente por falta de investimentos, em paralelo a uma ação de privatizações de diversas concessionárias de energia, sobretudo por meio de leilões. Em 1998 é criado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), entidade que coordena e controla a operação das instalações de geração e transmissão no Sistema Interligado Nacional (SIN).

Nos anos 2000, o governo federal apresenta o Programa Prioritário de Termelétricas, para atuar complementando o sistema elétrico em épocas de poucas chuvas, diminuindo assim a dependência das condições meteorológicas.

E em 2001 ocorre a maior crise energética nacional, reflexo do consumo elevado, infraestrutura de transmissão e distribuição de energia deficiente e também pela escassez de chuva no período, onde os níveis de água dos reservatórios das hidroelétricas ficaram muito baixos, instabilizando o sistema entre julho de 2001 e fevereiro de 2002. Foram feitas campanhas de racionamento de energia, estimulando os consumidores a usarem de forma mais sensata a eletricidade em suas casas e empresas. A situação de racionamento acaba quando no final de 2001 choveu o bastante para reestabelecer os reservatórios das hidrelétricas.

Em 2003 é firmado o Programa Nacional Luz para Todos, com a meta de ofertar energia elétrica a 12 milhões de brasileiros (10 milhões na área rural); em 2004 é criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), sendo de seu propósito “subsidiar o planejamento técnico, econômico e socioambiental dos empreendimentos de energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e fontes energéticas renováveis” [3].

Em 2008 é inaugurada no Ceará a Usina Eólica Beberibe, com 32 aero geradores e resultando em capacidade instalada de 25,6 MW. A usina foi contratada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA) e complementa a demanda energética da região com uma linha de transmissão de 24 km até uma subestação da Companhia Energética do Ceará.

Em 2013 foi período de poucas chuvas, o que motivou a criação e cobrança de bandeiras tarifárias (desde 2015) e que indicam as condições de geração de energia no Brasil e sinalizando quando as termelétricas estão em operação, gerando um custo maior de produção e repassando parte deste valor ao consumidor.

Segundo noticiado pelo portal Jornal GGN [5], o governo planeja construir mais de 25 usinas hidrelétricas na região Norte do Brasil, assim como foram previstos até 2016 leilões de energia voltada às fontes renováveis, segundo noticiado pelo EPE [6].

## 2.2 HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA EM SANTA CATARINA

O consumo energético de Santa Catarina até meados de 1950 foi oferecido por pequenos e médios sistemas elétricos em várias regiões do Estado, quase em sua totalidade iniciados e mantidos por empresários locais, que abasteciam suas empresas, e aos poucos foram compartilhando essa energia com o serviço público.

Consta como a primeira usina de Santa Catarina a hidrelétrica Piraí, em Joinville, que iniciou suas atividades em 1908. No mesmo período já havia instalação de iluminação pública em Florianópolis e Blumenau.

Em 1955 é criada a Celesc, que tratou de organizar e interligar os pequenos sistemas e usinas geradoras das empresas de energia regionais, partindo da elaboração de planos de eletrificação, de forma a abranger os serviços de eletricidade em todo o Estado. Aos poucos foi incorporando as empresas elétricas regionais. Em 2010, a Celesc registra mais de 2,3 milhões de consumidores.

Na década de 1960 foram construídas e colocadas em funcionamento duas linhas de transmissão importantes para o Estado: a Linha de Transmissão Tubarão - Lages - Herval do Oeste – Xanxerê, e a linha Tronco Norte, que interligava as subestações de Joinville, São Bento, Rio Negrinho, Mafra e Canoinhas. Também entra em operação a Usina Termelétrica Jorge Lacerda com potencial inicial de geração de 100 MW em 1965, região de Tubarão. Em 1969 entra em funcionamento a Eletrosul (Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A.), subsidiária da Eletrobrás e atuante nos três Estados do Sul do Brasil.

No período da “Crise do Apagão” entre 2001 e 2002, quase todo o país teve que racionar energia. A região Sul acabou não participando desta ação, pois o índice de chuvas estava regular nas regiões de represa, da mesma forma que as estruturas de transmissão e distribuição estavam atendendo satisfatoriamente o Estado.

Em 2000 entra em operação a Usina Hidrelétrica Itá, maior hidrelétrica privada do país e com potencial gerador de 1.450 MW. Em 2002 a Usina Hidrelétrica Machadinho com potência instalada de 1.140 MW, e em 2007 a Usina Hidrelétrica Campos Novos com capacidade de geração de 880 MW iniciam atividades.

Em 2014 a Eletrosul, em parceria com o governo alemão e com apoio da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), transformou a própria sede em um complexo de geração fotovoltaica, a Usina MegaWatt Solar, com capacidade instalada de 1 MWp, o suficiente para atender até 540 residências, segundo informado pela Eletrosul [7]. No mesmo ano, a Usina Fotovoltaica Cidade Azul, em Tubarão, foi “concebida como Usina Experimental para fins de pesquisa, desenvolvimento e capacitação técnica, objetivo do projeto P&D Estratégico nº 013/2011 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), no qual a Tractebel Energia é a proponente” [8]. Estima-se que os mais de 19 mil painéis fotovoltaicos gerando potência de 4,0 MW sirvam em torno de 12,5 mil pessoas. É no momento o maior conjunto de exploração solar do Brasil.

Também em 2014 é inaugurada em Pomerode uma usina de biogás, que produz biometano (que após processamentos químicos, é idêntico ao gás natural de fonte não renovável) do aproveitamento dos gases de dejetos suínos, com capacidade de comercialização de aproximadamente 2.500 m<sup>3</sup> de gás por dia.

### 2.3 HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA: NORTE DE SANTA CATARINA

A Hidrelétrica Pirai em Joinville é considerada a primeira do Estado, iniciando atividade em 1908 e produzindo no início 0,4 MW. Hoje o seu potencial é de 1,1 MW.

Um dos primeiros registros de sistema de iluminação elétrica pública na região foi em São Bento do Sul. Segundo publicado pelo historiador José Kormann no Jornal A Gazeta [9], a princípio surge o primeiro sistema elétrico na cidade com investimentos de empresa moveleira, que adquiriu caldeira que possuía gerador embutido para uso próprio, em 1906. Pouco tempo depois, é construída usina hidrelétrica na localidade de Rio Vermelho, interior da cidade, que fornecia energia elétrica para o centro, sendo os cabos de transmissão sustentados pelas árvores.

Em 1913 a Usina São Lourenço começa a operar no município de Mafra. Em 1943 é dada autorização para a antiga empresa Sul Brasileira de Eletricidade S.A (agregada posteriormente a Celesc) a “ampliar as suas instalações, mediante a construção de uma barragem de regularização a montante da atual Usina Bracinho, localizada no 8º salto, município de Joinville” [3].

Segundo registros da Celesc [10], em 1957 é elaborado pela Companhia Brasileira de Energia o Plano Regional de Eletrificação de Santa Catarina. No final da década de 1970 o sistema Tronco Norte foi reclassificado, passando da tensão 69 kV para 138 kV. Além disso, nos anos de 1990 foram coordenadas e realizadas diversas obras de aumento a confiabilidade do sistema e a construção de linhas de transmissão entre a região do Vale do Itajaí e Norte Catarinense.

É predominante na região norte catarinense as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH). Além das usinas citadas, outras que constam nos registros do Banco de Informações de Geração (BIG) da Aneel [11] para esta região são (em operação): Usina Cachoeira do Pinheirinho em Mafra (496 kW); Usina de Bituva (480 kW) na divisa entre Mafra e Rio Negrinho; Usina Rio Preto (360 kW) e Usina Salto Grande – Volta Grande (2,4 kW), ambas em Rio Negrinho; Usina Itapocuzinho (480 kW) em Jaraguá do Sul e Usina Itapocuzinho II (990 kW), entre Jaraguá do Sul e Schroeder; Usina Rio Vermelho em São Bento do Sul, com CGH de 396 kW e Pequena Central Hidrelétrica (PCH) de 2.320 kW. Também há na região a Usina Hidrelétrica de Bracinho em Schroeder, com 15 MW.

Há ainda, segundo o Informativo das Águas [12], projeto de criação do Complexo Hidrelétrico Usina Rio Vermelho de Energia (URVE), com a composição

de sete PCH e produção estimada em 25,65 MW e lago de 0,1068 km<sup>2</sup>. Essa informação fica reforçada pelos dados do BIG [11], pois há previsão de construção da Usina Rio Natal I (8,48 MW) e Rabo do Macaco (5,7 MW), integrantes deste Complexo Hidrelétrico em São Bento do Sul.

Existem usinas termelétricas movidas a combustíveis fósseis e biomassa, mas destinadas apenas a adição da demanda energética das empresas em caso de falta. Alguns exemplos: a empresa Arroz Urbano de Jaraguá do Sul utiliza bagaço de cana e produz 3,0 MW; a empresa de operações florestais Battistella em Rio Negrinho que conta com reaproveitamento de resíduos florestais e gera 3,15 MW e o aeroporto de Joinville com gerador a diesel de 588 kW.

## 2.4 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

A energia renovável é, de acordo com o Portal Energia [13], aquela em que seu uso é renovável e é naturalmente reabastecido ao longo do tempo sem possibilidade de esgotamento. É também definida como energia limpa, já que a quantidade de resíduos que são expelidos a atmosfera quando a energia é produzida ou consumida são menores, se comparado com fonte de origem fóssil.

### 2.4.1 Tipos

As formas disponíveis no Brasil com maior potencial de exploração são as de fonte solar, dos ventos, das chuvas, biomassa e do mar.

Na geração de energia solar/fotovoltaica, segundo o site Portal Solar [14], se produz energia a partir dos raios solares e por conta da radiação solar, podendo assim produzir energia em dias mais nublados ou chuvosos. Células fotovoltaicas feitas de material semicondutor contam com elétrons que se movimentam na incidência desta radiação e convertem a energia solar em elétrica. Seu uso é disseminado em grande escala e também na autogeração.

A energia eólica é definida pelo Atlas de Energia Elétrica no Brasil [15] como a “energia gerada pela migração das massas de ar provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta”. Ocorre quando o vento movimentando as pás do gerador da usina eólica e que ao girar provoca a conversão da energia mecânica em eletricidade. É um dos tipos renováveis que mais têm tido êxito em apoio e emprego no sistema energético nacional.

Os ciclos de chuva promovem o abastecimento de represas e reservatórios, que integram as pequenas e grandes hidrelétricas, forma predominante de geração de energia no país.

As fontes de biomassa, de acordo com o site Fontes de Energia [16], são aquelas geradas pela desintegração de materiais orgânicos. Dejetos de animais, resíduos agrícolas, serragem e bagaço da cana são alguns exemplos de combustível. As formas de se extrair energia são realizando a combustão, fermentação ou gaseificação dessas massas.

As fontes oceânicas podem oferecer potencial de geração de energia, segundo [15], a partir do “aproveitamento das marés, correntes marítimas, ondas, energia térmica e gradientes de salinidade, segundo o estudo sobre Fontes Alternativas inserido no Plano Nacional de Energia 2030”. Como as demais fontes geradoras, pode converter a energia cinética de movimento ou de nível das águas do mar, assim como obter eletricidade com a troca de calor em volumes de água num sistema fechado que conta com elemento evaporado que move uma turbina, e também de processo químico. É uma fonte que conta com bastante expectativa de resultados, pois se leva em consideração a cobertura global, mas ainda se encontra em um estágio de amadurecimento de pesquisas e projetos, já que estas ainda tendem a trabalhos experimentais. Nesta produção, o enfoque será nas usinas que operam com a variação de marés e com as ondas do mar.

#### **2.4.2 Política energética e incentivo institucional**

A quantidade de energia que um país pode produzir indica o seu grau de desenvolvimento. O Brasil teve um salto econômico quando as usinas hidrelétricas e termoelétricas começaram a aumentar a produção energética, abastecendo as indústrias e consumidores residenciais, dando maior volume de produção e negociações, bem como estimulando o mercado consumidor e o bem estar.

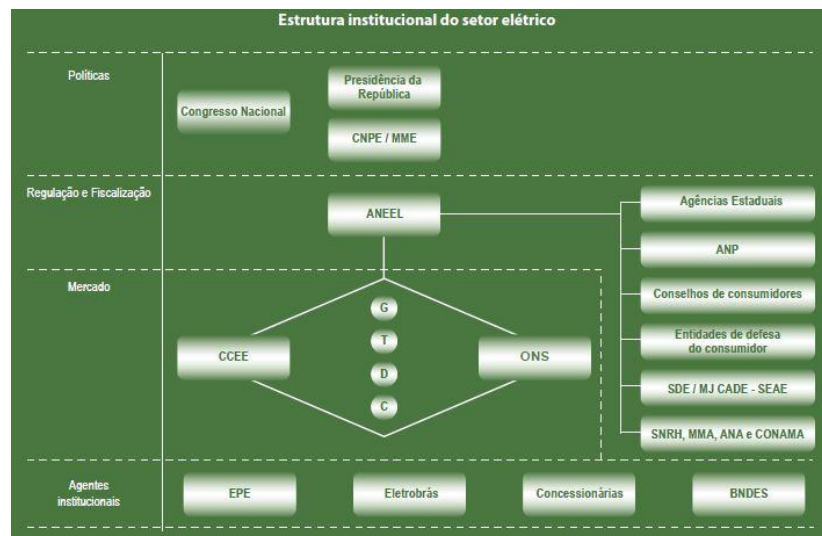
Mas o modo como essa energia era obtida começou a ser vista com maior abrangência e critérios, à medida que as fontes existentes começaram a atingir seus limites de disponibilidade e máxima produção e nas questões ligadas aos reflexos de impactos futuros ao meio ambiente, pois a alta dependência das condições climáticas e a emissão de carbono a atmosfera vieram a se tornar prejudiciais nesta alta escala de consumo.

A fim de organizar os planos de desenvolvimento da nação, a articulação política para o setor de energia elétrica precisou progredir. Assim, o Governo Federal, por várias décadas, organizou as leis e decretos acerca das questões energéticas, criando instituições de gestão, conselhos para assessoria e ministérios. O resultado dessas ações originou, por exemplo, o Plano Nacional de Energia Elétrica (1987-2010) e (1993-2015).

Segundo publicado pela Aneel [15], o Governo Federal por meio das leis 10.847/2004 e 10.848/2004 emprega o Novo Modelo do Setor Elétrico, a fim de designar o Poder Executivo Federal a formular políticas para o setor de energia elétrica. A tarefa está a cargo do Ministério de Minas e Energia, com auxílio do Conselho Nacional de Política Energética e do Congresso Nacional.

Os agentes responsáveis pelos incentivos institucionais hoje são a EPE, Eletrobrás, Concessionárias e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). O PROINFA, coordenado pelo MME e gerenciado pela Eletrobrás, tem papel significativo. Criado em 2002, o programa “estabelece a contratação de 3.300 MW de energia no SIN, produzidos por fonte eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas” [3]. A estrutura completa está apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura institucional do setor elétrico



Fonte: Atlas de energia elétrica do Brasil [15]

E o reflexo deste trabalho começa a ter resultados, pois segundo publicado no Portal Brasil [17] o setor econômico das energias renováveis manteve um bom crescimento, mesmo no período de crise. Justamente embasadas nos programas governamentais e dos órgãos reguladores, os negócios envolvendo as fontes eólicas



e solares foram as que mais ganharam adesão e contribuíram no incremento da matriz energética, juntamente com as de biomassa e PCH.

#### 2.4.2.1 Política envolvendo as usinas marítimas

Nesta seção serão apresentadas informações referentes à política energética prevista pelo Governo Federal, MME e Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) a respeito das usinas marítimas.

O Governo Federal tem incentivado as fontes alternativas de energia, tanto em razão do avanço das tecnologias disponíveis para algumas delas, assim como dos impactos negativos que as fontes atuais causam. Assim, uma vez que existam interessados em desenvolver projetos de exploração de energia do mar, estas fontes têm possibilidade real de receber apoio e investimentos.

O MME conta com a Secretaria de Energia Elétrica e com a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético para coordenar os assuntos pertinentes à energia elétrica. Três departamentos articulam esta última secretaria: Departamento de Planejamento Energético (DPE), responsável pela preparação do conteúdo de ações em longo prazo quanto os mecanismos de planejamento energético, gerenciando programas e projetos, como o Plano Nacional de Energia (PNE 2030), o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2024) e a Matriz Energética Nacional 2030; o Departamento de Desenvolvimento Energético (DDE), que resolve sobre planos para emprego de política nacional a fim de a oferta de energias alternativas e eficiência energética cresça; e o Departamento de Outorgas de Concessões, Permissões e Autorizações (DOC), que atua nos processos de liberação de projetos de geração e transmissão de energia no SIN.

O PNE 2030 se trata de um estudo em longo prazo visando integração das fontes de energia a favor do desenvolvimento do país. No que diz respeito aos recursos energéticos contando com a energia do mar, este plano projeta:

Outras fontes renováveis são os resíduos agrícolas e industriais, que apresentam alguma viabilidade no longo prazo, e a energia do mar, principalmente derivada das correntes de maré e das ondas. O aproveitamento dessas fontes ainda está em fase incipiente, tecnologicamente comparável à da geração eólica de 10-15 anos atrás, porém vem despertando interesse pelo pequeno impacto ambiental, grande previsibilidade, alta densidade energética e amplas perspectivas de evolução técnica. Nesse caso, o aproveitamento da energia cinética das marés é a tendência tecnológica que se consolida pela similaridade com a geração eólica. [18]

O PDC 2024 é embasado em conceitos técnicos, trazendo indicadores para a tomada de ações quanto a melhor relação projetada de crescimento da nação e aumento da oferta. Não há previsão neste plano da contribuição das matrizes marítimas para o sistema energético brasileiro.

E o relatório que define a Matriz Energética Nacional 2030 juntamente com os planos citados anteriormente, “consolidam os estudos desenvolvidos sobre a expansão da oferta e da demanda de energia no Brasil nos próximos 25 anos” [19]. Ela compartilha a mesma informação apresentada no PNE 2030.

Conforme definido no site do MME [20], o CNPE é elemento de conselho do Presidente da República para criação de políticas e condutas de energia. No Decreto de nº 3.520/2000 [21], a respeito da estrutura e funcionalismo do CNPE, o conselho:

IV - estabelecer diretrizes para programas específicos, como os de uso do gás natural, do carvão, da energia termonuclear, dos biocombustíveis, da energia solar, da energia eólica e da energia proveniente de outras fontes alternativas - Redação dada pelo Decreto nº 5.793, de 29.5.2006. [21]

#### 2.4.2.2 Incentivos às usinas marítimas

Nesta seção serão apresentadas informações referentes aos incentivos ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica (P&D) previsto pelo EPE, Eletrobrás, concessionárias de energia e BNDES a respeito das usinas marítimas.

A EPE é um dos principais agentes em prol do desenvolvimento da energia elétrica no país. Realiza desde 2004 estratégias econômicas, técnicas e socioambientais ligadas à geração de eletricidade a partir das fontes energéticas fósseis e renováveis. A empresa elaborou o PNE 2030 (PNE 2050 em andamento), sendo as perspectivas sobre as fontes provenientes do mar bastante preliminares. De acordo com notícia divulgada pelo Portal Brasil [22], em questão de acesso as tecnologias usando as usinas de fonte renovável, o EPE indica que até 2019 o governo promoverá apenas leilões de energia que contemplem as usinas hidrelétricas, solar, eólicas e biomassa. Contudo, um bom levantamento a respeito das fontes oceânicas apresentado pelo EPE está no documento “Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica” [23], que traça um panorama bastante completo desta fonte, contendo informações socioambientais, econômicas e técnicas muito relevantes a nível nacional.

A página eletrônica da Eletrobrás [24] informa ser a maior empresa da América Latina no setor de energia elétrica, que trabalha visando oportunidades de negócio, parcerias e investimentos nacionais e internacionais, da expansão do uso sustentável de energia no Brasil, e se tratando de um holding, administra empresas de GTD (Geração, Transmissão e Distribuição).

Os enfoques da Eletrobrás, registrados desde a época de sua criação, são nos negócios das energias sustentáveis, desde que com compensação e segurança financeira equivalente aos esforços empregados. Em 1977, a Eletrobrás publica o livro “A Energia Elétrica no Brasil: da primeira lâmpada à Eletrobrás”, tratando de informações históricas, dados estatísticos e projeções futuras a respeito do setor elétrico brasileiro. Sobre as fontes marítimas:

Novas pesquisas neste assunto têm sido também estendidas a duas outras formas de não convencionais, que são o uso dos ventos e da energia das marés [...]. O aproveitamento da energia das marés já vem sendo feito há muitos anos e de forma comprovada na França. Visando sua utilização no Brasil, a Eletrobrás, em cooperação com o Ministério da Marinha, vem preparando um inventário dos locais com condições de aproveitamento com marés altas e conformação costeira apropriada. Em particular, iniciamos estudos de viabilidade técnica da construção de uma usina-piloto no Rio Bacanga, no Maranhão, em associação com a barragem já existente, construída naquele local. [1]

No mesmo livro, sobre “Perspectivas do Futuro (os grandes projetos)”, no que diz respeito às fontes alternativas de energia:

A execução da política definida pelo Governo para o setor energético envolve três fontes fundamentais: aumento da produção de petróleo; poupança da energia; e oferta de alternativas, a fim de diminuir a dependência externa [...]. A Eletrobrás deverá ser responsável pelos projetos de fontes não convencionais de energia elétrica [...], atualmente em fase de implantação dos programas [...] para a região Nordeste, energia das marés, eólica, biomassa [...]. Para a viabilidade técnica e econômica de alternativas para a produção de energia, dois critérios são considerados: desenvolvimento a curto e médio prazo, que colabore no sentido de aliviar a pressão da demanda do setor energético [...]; estudos e desenvolvimentos a prazo mais longo que visem preparar o Brasil para a era que se aproxima, com alterações da estrutura de consumo energético. [1]

E também:

Usinas maremotriz – No tocante ao programa de aproveitamentos maremotrizes, as diretrizes escolhidas foram as seguintes: instalação de usina-piloto, com um grupo bulbo na barragem construída no Rio Bacanga, e que serve de ligação rodoviária da Ilha de São Luís ao continente; instalação de marégrafos em algum ponto da costa Norte, visando medir os desníveis de mares e suas frequências. [1]

A Eletrobrás elaborou e publicou em 2010 o Plano Estratégico do Sistema Eletrobrás 2010-2020 [25], que visa traçar planos de investimento para o futuro e aproveitar oportunidades para oferecer mais energia sustentável ao setor de energia. Lá, esse plano analisa o contexto de desenvolvimento do plano estratégico, onde eles reconhecem tendências tecnológicas e fatos estabelecidos, como por exemplo, de que a demanda energética aumentará, as hidrelétricas ainda serão a maior fonte de geração de energia e as fontes alternativas estarão cada vez mais presentes. Sobre a energia sustentável das fontes marítimas, este plano a classifica dentro de um “conjunto de mudanças potenciais e em andamento, ainda não concretizadas, mas que podem produzir grandes impactos e efeitos sobre o Sistema Eletrobrás” [25]. Também foi emitido em 2015 um Caderno Executivo sobre o Plano Estratégico do Sistema Eletrobrás 2015-2030. Segundo divulgado na publicação:

Além da construção, a expansão em G e T considera também a aquisição de ativos. Permanece o foco na geração de energia limpa, que representa atualmente 89% da nossa matriz, com ênfase nas fontes hídrica, nuclear e eólica. A geração térmica a gás natural também será enfatizada. A fonte solar e as novas tecnologias de geração, tais como correntes marinhas e marés serão objeto de pesquisa & desenvolvimento e farão parte da carteira de experimentos da companhia. [26]

As concessionárias de energia em grande maioria têm voltado suas atenções e investimentos nas fontes de energia com tecnologia dominada ou em franca ascensão, pois há naturalmente uma necessidade de agregar o valor de investimento com retorno positivo e riscos controlados.

Contudo, algumas empresas de energia contam com programas de pesquisa e desenvolvimento que deram oportunidade ao desenvolvimento de trabalhos relacionados às fontes oceânicas de energia. Empresas de energia que têm registro de projetos junto a Aneel: Eletrobrás Furnas, Companhia Tractebel Energia (ENGIE Brasil Energia), a Petrobrás S/A, a UTNF (Usina Termelétrica Norte Fluminense S/A) e a CEEE-GT (Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica).

O BNDES é o meio mais acionado pelo Governo para realizar os investimentos de desenvolvimento do país em longo prazo, em todos os setores da economia. No que diz respeito às linhas de financiamento para as fontes renováveis de energia, o BNDES disponibiliza o Fundo Clima [27], cuja meta é dar suporte de investimento em tecnologias, em geração e distribuição de energia limpa, promovendo este apoio de forma direta e indireta. Os municípios, Estados, Distrito

Federal, entidades de administração pública indireta, consórcios públicos, empresas fixadas no Brasil, produtores rurais e cooperativas podem ser clientes do BNDES. Sobre os projetos passíveis de apoio, este fundo contempla as fontes oceânicas:

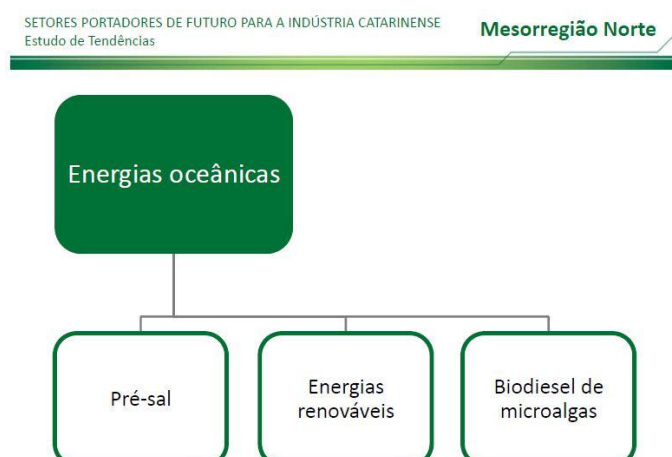
Implantação de projetos de geração de energia a partir da captura da radiação solar, energia dos oceanos (marés, ondas e outras) e da biomassa, exceto derivada da cana-de-açúcar ou de resíduos sólidos urbanos; Implantação de projetos que visem ao desenvolvimento tecnológico dos setores de energia eólica, da biomassa, dos oceanos (marés, ondas e outras) hidráulica ou solar; e Implantação de projetos da cadeia produtiva do setor de energia dos oceanos ou de energia solar, inclusive plantas de purificação de silício. [27]

É estabelecido valor mínimo de financiamento de R\$ 3 milhões em projetos renováveis, assim como taxas de juros e de risco de crédito. O banco participa em até 90% do valor dos itens que podem ser financiados, em até 16 anos (período de carência de oito anos).

#### 2.4.2.3 Fiesc – PDIC 2022

A Fiesc é uma federação administrada pelo setor industrial, que desenvolve o ambiente de negócios e incentiva a inovação no cenário da indústria de Santa Catarina. Tendo esta missão, a organização elaborou o Programa de Desenvolvimento Industrial Catarinense (PDIC 2022), com a intenção de estabelecer a direção dos esforços industriais para os próximos anos, de forma a se manter competitiva diante do cenário industrial nacional e internacional. Para as energias oceânicas, a Figura 2 ilustra as perspectivas.

Figura 2 - Energias Oceânicas segundo PDIC 2022



Fonte: Fiesc [28]

Como visto na Figura 2, foi desenvolvido programa de acordo com cada região do Estado. Na mesorregião Norte foi feito estudo de tendências dos setores portadores do futuro para a indústria catarinense para o setor de Economia do Mar, sendo que as energias oceânicas englobam o pré-sal, de forma a mapear as reservas petrolíferas presentes no litoral catarinense; as energias renováveis, no âmbito das ondas do mar e usinas eólicas *offshore*; e o biodiesel a partir do óleo obtido das microalgas.

### **2.4.3 Regulação e mercado para as usinas de fonte marítima**

A ANEEL em parceria descrita na Figura 1 realiza a tarefa de regular e fiscalizar os assuntos pertinentes à energia elétrica no Brasil. Hoje, nos registros do BIG [11] e disponibilizados pela Aneel, não consta nenhum tipo de usina cuja geração seja de fonte marítima ou oceânica, e nem existe no Código Único de Empreendimentos de Geração (CEG), que é o “código criado para identificar [...] o empreendimento de geração de energia elétrica, que uma vez criado, o acompanhará independente de alteração de atributos ou proprietários da usina” [29], uma sigla para esse tipo de geração e fonte de geração, pois não há usina instalada de forma permanente no sistema brasileiro.

O Programa de P&D da Aneel dá impulso às pesquisas de novas fontes geradoras, de modo a aumentar as opções e contribuir para um cenário mais sustentável. Segundo divulgado no site da Aneel, em “Temas para Investimento em P&D” [30], as empresas e universidades têm tido oportunidade de desenvolver suas propostas. Um dos temas sugeridos pelo P&D são as “Fontes alternativas de geração de energia elétrica”, que tem apoio para desenvolvimento, melhoria de sistemas de geração ou análise de viabilidade econômica, onde a geração a partir das marés e das ondas vem ganhando aos poucos maior atenção. Contudo, ainda é difícil a inserção competitiva destas fontes alternativas no mercado aberto. Para melhorar este quadro, é necessário conseguir melhores custos de investimento.

Na gestão do programa de P&D, constam informações contábeis, credenciais e a lista de projetos de P&D (regido pela Resolução Normativa nº 316/2008) que as empresas do setor elétrico do país promoveram investimentos. Sobre os projetos de usinas de ondas, há os seguintes registros [31]:

- “Implantação de Protótipo de Conversor de Ondas *Onshore* nas Condições de Mar do Nordeste do Brasil”, realizada pela Tractebel Energia S/A e registrado na Aneel sob o código PD-0403-0002/2008;
- “Teste de conceito de conversor *offshore* para geração de eletricidade pelas ondas do mar”, realizada pela Petrobrás S/A e registrado na Aneel sob o código PD-0553-0002/2009;
- “Desenvolvimento de modelo numérico experimental de estruturas marinhas de amplificação de ondas para geração de energia elétrica”, realizada pela UTNF Usina Termelétrica Norte Fluminense S/A e registrado na Aneel sob o código PD-0678-0510/2010;
- “Processo de osmose direta para a geração de energia utilizando gradiente de salinidade”, realizada pela Tractebel Energia S/A e registrado na Aneel sob o código PD-0403-0024/2011;
- “Desenvolvimento de dispositivo para conversão de energia das ondas do mar em energia elétrica”, realizada pela CEEE-GT e registrada na Aneel sob o código PD-5785-2108/2012;
- “Implantação de Conversor *Offshore* para Geração de Eletricidade pelas Ondas do Mar”, realizada pela Furnas Centrais Elétricas S/A e registrado na Aneel sob o código PD-0394-1248/2012.

Os projetos da Tractebel (sede em Florianópolis/SC) e controlada pelo grupo franco-belga Engie, estão sendo coordenadas pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – UFRJ (COPPE). O primeiro projeto citado se trata da Usina de Ondas no Porto de Pecém, litoral do Ceará.

CCEE e ONS cuidam do mercado energético, realizando a administração dos setores de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. E assim estes órgãos procederão, uma vez que existirem usinas de fonte marítima.

### 3 OBTENÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA ENERGIA DO MAR

A informação é amplamente conhecida: a superfície do globo terrestre é coberta por mais de 70% de água. O mar é fonte de vida e energia, e o início das expedições marítimas estimulou o desenvolvimento e evolução da humanidade, das diversas ciências, descobrindo novos povos e territórios e conectando todo o mundo.

A exploração de petróleo e seus derivados estão fortemente concentrados nas bacias oceânicas. As condições climáticas dos ventos, solar, pressão atmosférica, influências do Sol e da Lua que geram as marés, graus de salinidade e temperatura são alguns fatores modificadores das massas de água e que oferecem propriedades químicas e mecânicas, que podem ser convertidas em eletricidade.

Segundo estudo publicado pelo Portal Brasil [32] o mar é de importância nacional, colaborando no desenvolvimento da nação, pois conta, por exemplo, com grandes portos que intermediam aproximadamente 95% dos negócios do comércio exterior. Portanto, há uma oferta grandiosa de recursos naturais nas fontes energéticas e que ainda é pouco conhecido, se fazendo necessário o fortalecimento das pesquisas nas ciências do mar e das tecnologias que podem ser usadas dentro dos limites marítimos nacionais, uma vez que a costa brasileira engloba 395 municípios localizados ao longo de 8.500 km, sendo relevante a quantidade de consumidores próximos desta fonte de geração.

Os assuntos relativos ao mar, como as fronteiras marítimas, direito de uso econômico, entre outros, foram firmadas pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, em 1982. Segundo Menezes [33] o Direito do Mar é “o conjunto de regras celebradas no plano internacional [...] entre Estados ou organizações internacionais, cujo objetivo é disciplinar as relações globais para uso e utilização dos mares e oceanos, sua preservação e exploração”. O território marítimo brasileiro também é conhecido como Amazônia Azul, devido à área oceânica ser quase tão grande quanto à floresta amazônica brasileira. Segundo notícia publicada pelo Portal Brasil [34], Antônio Cachapuz de Medeiros, especialista brasileiro em direito internacional e que em outras ocasiões representou o Brasil em encontros internacionais sobre assuntos referentes aos direitos do mar, em 2016 tomou posse como juiz do Tribunal Internacional do Direito do Mar.

O Brasil participou dos encontros que culminaram na Convenção das Nações Unidas desde o início, contando com representantes da Marinha brasileira. Em 1995,

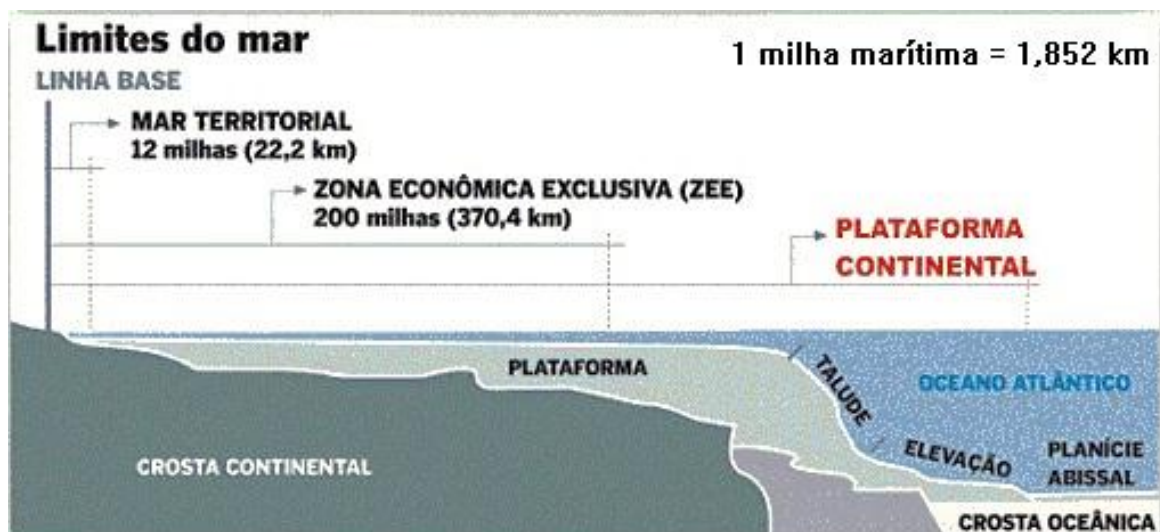


o presidente da República baixa o Decreto nº 1.530 [35], que “declara a entrada em vigor da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, concluído em Montego Bay, Jamaica, em 10 de dezembro de 1982”. O artigo 56 diz respeito aos direitos, jurisdição e deveres do Estado litorâneo na Zona Econômica Exclusiva (ZEE), considerando a produção de energia usando o mar:

1. Na zona econômica exclusiva, o Estado costeiro tem: a) direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos das águas sobrejacentes ao leito do mar, do leito do mar e seu subsolo, e no que se refere a outras atividades com vista à exploração e aproveitamento da zona para fins econômicos, como a produção de energia a partir da água, das correntes e dos ventos [...]. [35]

A Marinha do Brasil e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) explicam e esclarecem quais os objetivos e limites marítimos que o país pode explorar. Segundo o site da Marinha do Brasil [36], todos os estados litorâneos tem permissão de estabelecer o Mar Territorial (MT), a ZEE e a Plataforma Continental (PC) estendida. No MT, há a soberania plena pelos Estados, enquanto no ZEE e PC a instância fica limitada ao aproveitamento dos recursos naturais e exploração. No ZEE os bens econômicos desde a superfície oceânica, leito do mar e subsolo marinho são de direito do país. O MT e a ZEE compõe as águas Jurisdicionais Brasileiras Marinhas, cuja área aproximada é de 3,5 milhões de km<sup>2</sup>. E a extensão brasileira do PC é de 350 milhas náuticas. A Figura 3 discrimina esses limites.

Figura 3 - Limites do Mar



Fonte: Marinha do Brasil [36]

No que tange o aproveitamento energético, de acordo com Menezes [33], os Estados compreenderam que as tecnologias têm avançado na ZEE e que podem explorar o potencial econômico do espaço marítimo reservado a eles, desde as questões alimentares e biológicas até a conservação energética.

Há a necessidade de se estudar mais o mar, sua composição e os potenciais energéticos. A análise científica se faz necessária, tendo os cursos de oceanografia e ciências do mar papel fundamental no que diz respeito à coleta de informações, análises e conclusões. Direcionando o foco para as fontes de geração de energia do mar, disciplinas relacionadas são as de oceanografia física, física marinha e geológica. Segundo Menezes [33], a Convenção de Direitos do Mar pressupõe os meios de colaboração nessas pesquisas do melhor aproveitamento marinho. Ainda assim, é carente o envolvimento e investimento dos governos e empresas privadas.

Esta foi a mesma constatação dos participantes da 62ª reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), realizado em 2010 em Natal/RN, noticiado pelo Portal Brasil [37]. Foi apurado que o número de pesquisadores dedicados às ciências do mar é bastante menor se comparado com outros segmentos. Pouco mais de 6.700 graduandos se formaram nestas ciências, sendo em engenharia da pesca 38% e em oceanografia 33%, entre 1968 e 2008, cuja causa principal desta baixa procura esta no poucos atrativos de trabalho. Em 2013 ocorreu o “Encontro de Coordenadores de Cursos de Graduação em Ciências do Mar”, a fim de definir os temas mais importantes para o desenvolvimento científico desta área, no período entre 2014 e 2023, segundo o Portal Brasil [38].

Em 2014, o MMA promoveu a “Jornada de Gerenciamento Costeiro e Planejamento Espacial Marinho”, com a proposta de realizar estudos sobre o litoral brasileiro e apresentar os resultados obtidos com as melhorias do “Projeto Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil)”, que se trata do uso de um programa de modelagem numérica com informações da costa brasileira (histórico de ondas e marés, por exemplo) e ajuda nos estudos e análises dos eventos de erosão nas praias e inundação costeira, segundo informada no site do MMA [39].

É importante ressaltar o quão sensível são os mares e oceanos a respeito das mudanças climáticas, como o aquecimento global, já que o uso de recursos fósseis emitem quantidades massivas de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Os buracos na camada de ozônio também são negativos, pois reflete no degelo das calotas polares e alteram assim os níveis dos oceanos, a sua acidez, os ecossistemas, entre outros. A 21ª

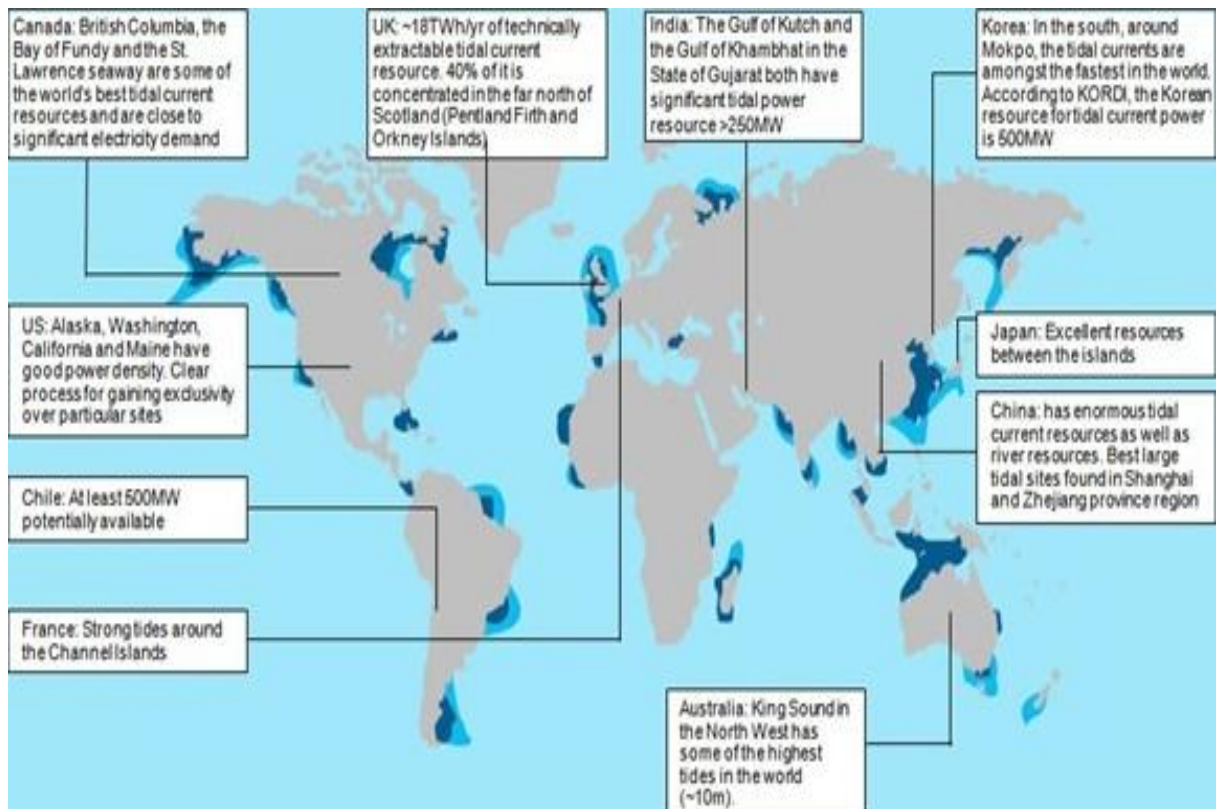
Conferência do Clima (COP 21) realizada em 2015 visa estabelecer acordo global de diminuição da poluição na atmosfera, refletindo a favor dos pontos citados.

### 3.1 FONTE RENOVÁVEL MAREMOTRIZ

O objetivo desta seção é trazer informações referentes à estrutura que define uma usina que aproveita as variações das marés para converter esta energia mecânica em elétrica. Apresentar alguns arranjos estudados e empregados, assim como entender quais fatores que limitam as estruturas.

A energia das marés pode ser obtida aproveitando o fluxo gerado quando ocorrem às marés altas e baixas ao longo do dia, estas geradas pela ação gravitacional da Lua e do Sol e dos efeitos da rotação do planeta. As usinas de marés podem ser instaladas ao longo dos litorais e os atrativos para considerar esta fonte como um recurso de geração são que ela não gera poluentes ao promover a transformação em eletricidade e ser um fenômeno contínuo e abundante. As áreas do planisfério com os maiores potenciais maremotrizes estão destacadas em tons de azul escuro na Figura 4.

Figura 4 – Regiões com maior potencial em fonte maremotriz



Fonte: *Renewable Green Energy Power* [40]

### 3.1.1 Tipos de arranjo

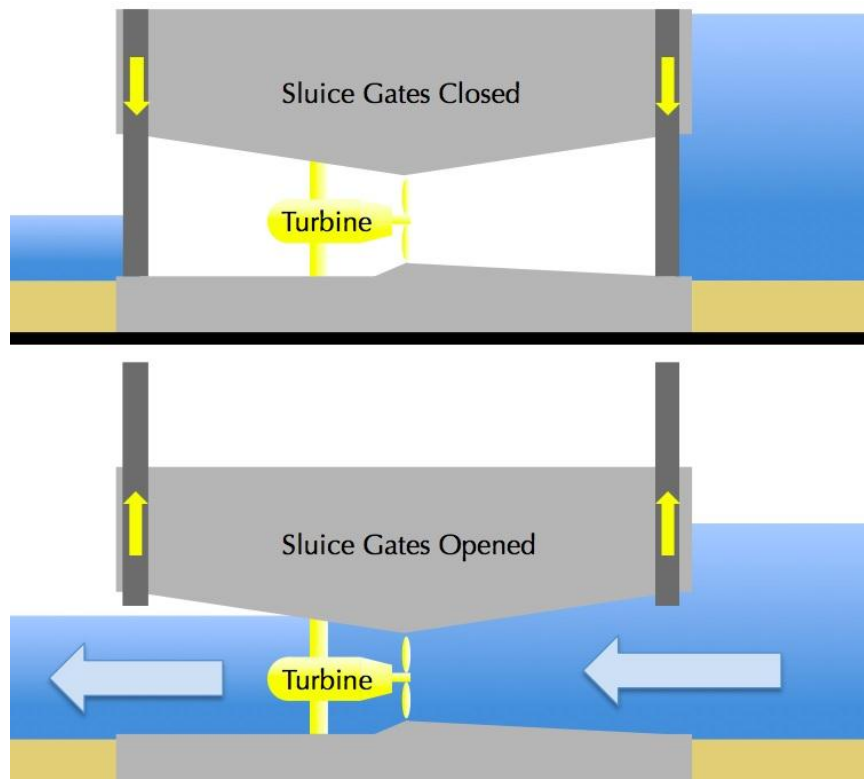
Existem três principais modelos de estruturas voltadas as usinas maremotrizes estudadas e empregadas regularmente:

- Barragem de Marés ou Hidrelétrica Marinha (*Tidal Dam*);
- Cercas ou barreiras (*Tidal Fences*);
- Parque de turbinas (*Tidal Turbines*).

#### 3.1.1.1 Barragem de Marés ou Hidrelétrica Marinha

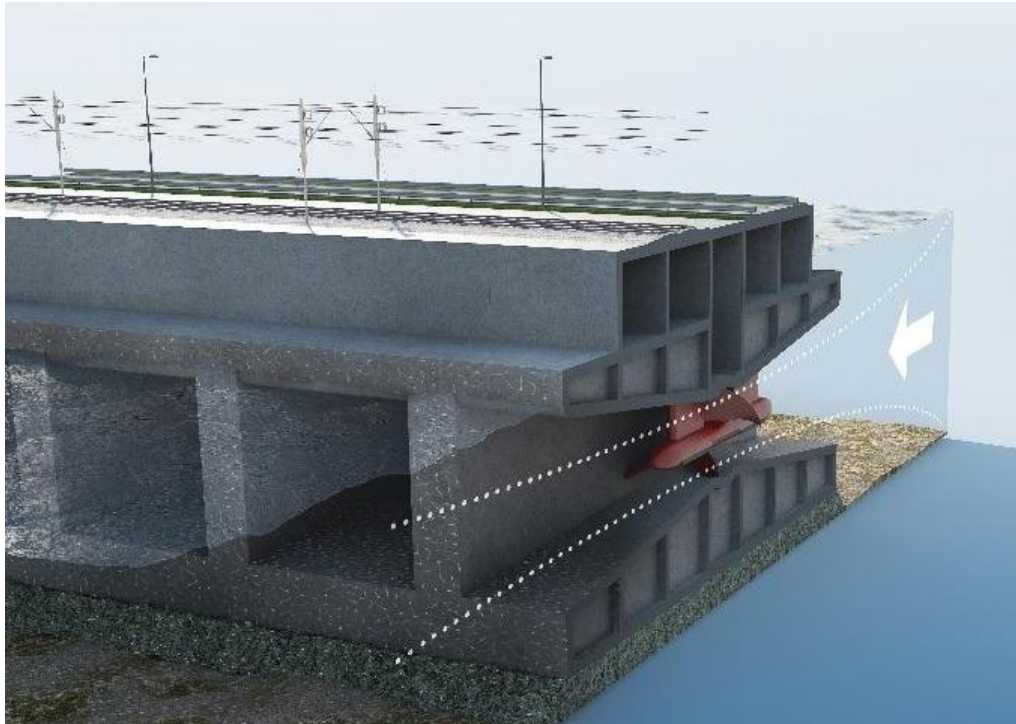
Também considerada como hidrelétrica marinha, é uma estrutura de usina que conta basicamente com um sistema que utiliza comportas, realizando o represamento da água, através de diques ou barragens, onde ficam as turbinas geradoras, além da linha de transmissão da energia obtida, que vai para uma casa de máquinas e se realiza o processamento eletrônico que irá injetar a energia convertida na rede elétrica. Conceitualmente, muito parecida com as hidrelétricas, como apresentado na Figura 5 e Figura 6.

Figura 5 – Estrutura básica de barragem



Fonte: Halcyon Tidal Power [41]

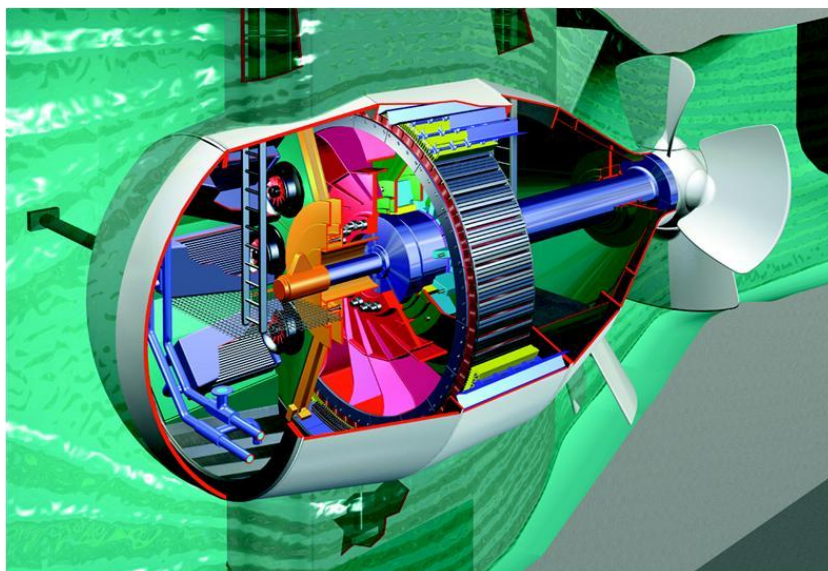
Figura 6– Estrutura como hidrelétrica marinha



Fonte: *Generable Energy* [42]

Os modelos de turbina podem ser as do tipo *Kaplan*, *Straflo* ou *Bulbo*, exemplificado na Figura 7, pois são normalmente usadas em desníveis de até 20 m, e tem como característica velocidade de rotação mais lenta e poder ficar submersa, possuindo boa capacidade de geração. Lembrando que a densidade da água do mar varia entre  $1.025 \text{ kg/m}^3$  e  $1.050 \text{ kg/m}^3$ .

Figura 7– Turbina Axial Tipo Bulbo



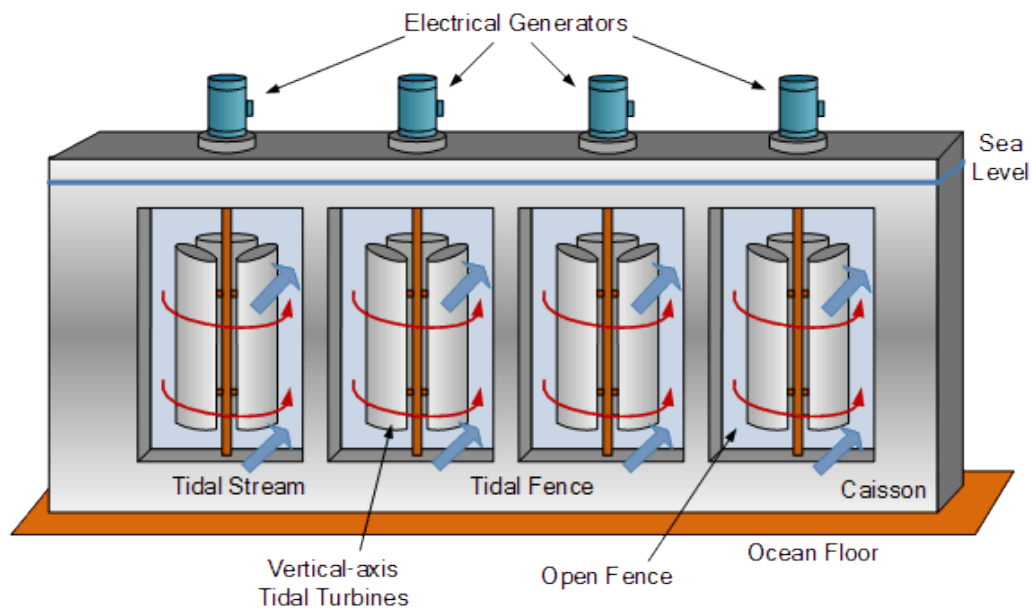
Fonte: *Tianfa Heavy Machinery* [43]



### 3.1.1.2 Cercas ou barreiras

É um tipo de estrutura que fica no fundo do mar, contando com uma configuração que agrupa uma série de turbinas de eixo vertical, aproveitando as correntes submarinas e não utiliza barragem ou comportas, como detalhado na Figura 8. Podem ser interessantes para entradas de mar, como canais ou estuários. De acordo com a publicação do site *Alternative Energy Tutorials* [44], as turbinas recomendadas para este caso seriam as de estrutura do tipo *Savonius* ou *Darrieus*. As velocidades em geral são baixas, mas há uma compensação pelo volume de água que gira a turbina, conseguindo assim a conversão de energia mecânica em elétrica. E os geradores podem ficar acima do nível do mar, assim como as linhas de transmissão até as unidades de conversão.

Figura 8– Estrutura Maremotriz do Tipo Cerca ou Barreira com turbina *Darrieus*



Fonte: *Alternative Energy Tutorials* [44]

### 3.1.1.3 Parque de turbinas

São um tipo de arranjo instalado no leito marítimo, contando com uma configuração que agrupa uma série de turbinas e aproveita as correntes submarinas, sendo uma estrutura similar à apresentada na Figura 9. Também podem estar instaladas nas bases de alguma estrutura existente, como plataformas ou pontes. Neste caso, as linhas de transmissão são subaquáticas e turbogeradores herméticos. As turbinas podem estar fixas, ou contar com sistema de

posicionamento, de acordo com o sentido do fluxo da maré. A empresa *General Electric Renewable Energy (GE Renewable Energy)* tem projeto e marca registrada deste tipo de configuração de aproveitamento energético, segundo [45], onde o diâmetro do rotor varia de 18 m a 23 m, indicando a aplicação deste modelo de usina em locais com maior profundidade.

Figura 9 – Estrutura Maremotriz do Tipo Parque de Turbinas



Fonte: *The Guardian* [46]

### 3.1.2 Limites tecnológicos

A geografia do litoral tem que reunir algumas características específicas de modo a se conseguir gerar eletricidade a partir de um dos tipos apresentados, pois o perfil de costa marítima é de suma importância. As condições naturais geográficas facilitarão possíveis intervenções, já que o grande objetivo também é provocar o menor impacto possível à fauna e flora da região, outro limitante deste tipo de empreendimento. A grande variação das marés, velocidade de corrente marinha ou o leito do fundo do mar determinarão a escolha. Assim, combinando essas características, pode se conseguir resultados com essa fonte geradora de energia.

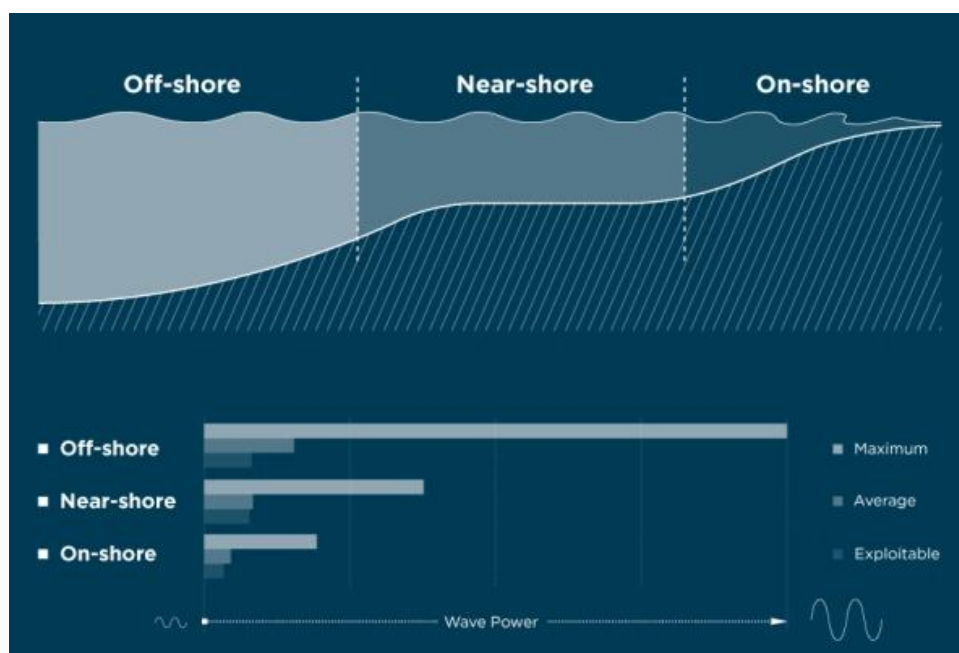
As variações que compensem a geração devem ser a partir de 5 m na barragem, que resulta em corrente de maré que enche e esvazia com força suficiente para movimentar as turbinas com alguma eficiência. Os materiais utilizados devem ser especiais (materiais navais ou revestimentos especiais) que resistam ao ambiente agressivo (tempestades, por exemplo) e insalubre do litoral, o tornando os custos dos equipamentos e de instalação gradativamente maiores.

### 3.2 FONTE RENOVÁVEL ONDOMOTRIZ

O objetivo desta seção é trazer informações referentes à estrutura que define uma usina ou os mecanismos de aproveitamento da energia das ondas do mar para transformar energia mecânica em elétrica. Também é proposto apresentar alguns arranjos estudados e empregados pelas empresas e instituições que promovem as pesquisas, assim como entender quais são os fatores limitantes destas estruturas.

A energia das ondas pode ser obtida aproveitando o movimento oscilatório da superfície do oceano em alto mar ou das ondas nos litorais a beira mar, como pode ser visto na Figura 10, contando com sistema mecânicos de captura e conversão da energia. As condições de temperatura sobre a superfície do mar e a atmosfera provocam os ventos, que produzem as ondas, cuja energia contida nelas é maior e mais constante em alto mar, e que tende a ficar menor e irregular conforme a onda se aproxima da costa, pois essa energia vai sendo menor pela proximidade com o fundo do mar e o movimento transversal de propagação das ondas em relação à costa. Segundo publicado pela revista Super Interessante [47], há correlação bem definida entre a velocidade do vento e o tamanho das ondas, e que a escala Beaufort mede a intensidade dos ventos baseado no exame do aspecto da superfície marinha.

Figura 10 – Níveis de energia das ondas próximas à costa em comparação as ondas em alto mar e a beira mar



Fonte: *AW Energy* [48]



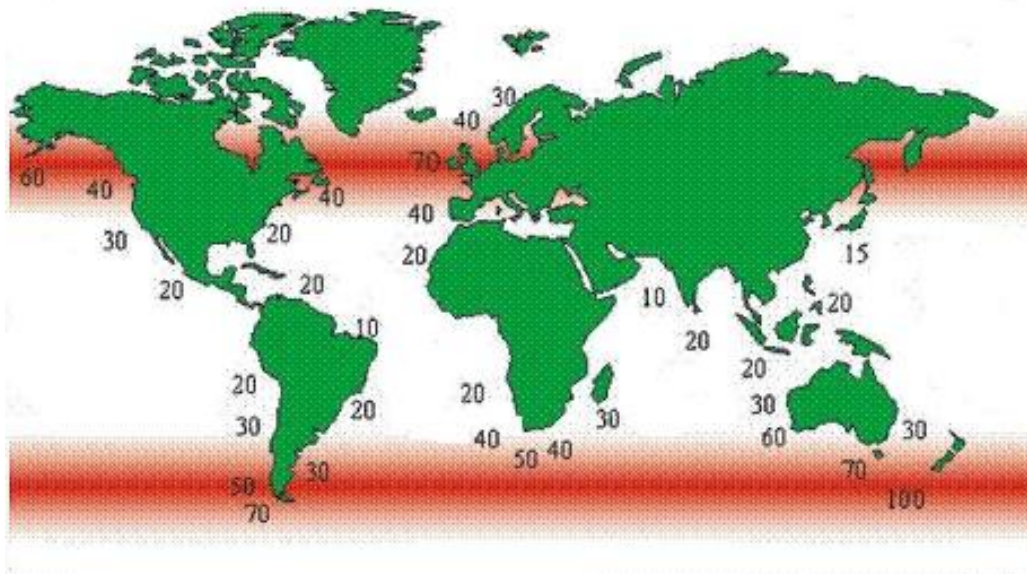
O uso das propriedades físicas da onda do mar para geração de energia sugere ser mais acessível para estudos, pois considerando a quantidade de experimentos desenvolvidos é possível que se consiga combinar os vários tipos de modo a atender pequenos e grandes consumos de energia.

Segundo Cruz [49] a potência de uma onda em alto mar é dada por:

$$P = H_{sig}^2 \times T \quad (1)$$

A unidade de medida de potência é em kW/m, onde  $H_{sig}$  representa a amplitude e  $T$  o período da onda. Ondas com amplitude de 2 m e período na faixa de 10 s podem conter mais de 40 kW/m de frente de onda. Portanto, países com grande extensão litorânea e ilhas são fortes aspirantes à exploração dessa energia. A Figura 11 assinala o potencial global.

Figura 11 – Regiões com ondas de maior potencial em kW/m



Fonte: Cruz [49]

### 3.2.1 Tipos de arranjo

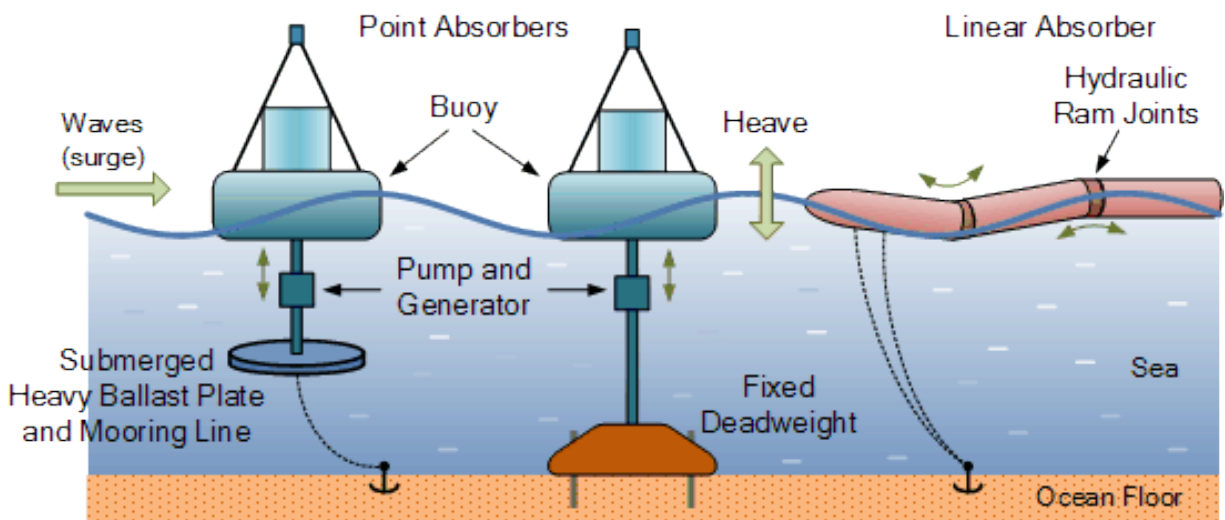
Algumas linhas de estruturas estudadas voltadas às usinas ondomotrizas são:

- Estruturas flutuantes;
- Coluna de água oscilante;
- Osciladores com sistema hidráulico;
- Usina de elevação.

### 3.2.1.1 Estruturas flutuantes

As estruturas voltadas aos geradores de energia a partir das ondas do mar tem sido das mais variadas, pois se imagina no uso autossuficiente em boias sinalizadoras, faróis e plataformas em alto mar, estas com potencial de consumo relativamente baixo. E também na produção em escala de mercado, cujas estruturas estão mais próximas do continente, em forma de câmaras de captura das ondas, parque de boias flutuadoras ou braços flutuantes interligados a um sistema hidráulico e até represas flutuantes. Alguns exemplos são mostrados na Figura 12. As estruturas flutuantes para gerar energia compõe em síntese uma boia, um dispositivo vertical que atuará em ressonância com as ondas e atuará alguma bomba em conjunto a um gerador. Podem estar ancoradas, fixas no fundo do mar ou contar com algum sistema de contra peso que mantenha a estrutura estável e capaz de reagir produzindo energia na passagem das ondas.

Figura 12 – Estruturas Ondomotriz do Tipo Flutuante



Fonte: *Alternative Energy Tutorials* [50]

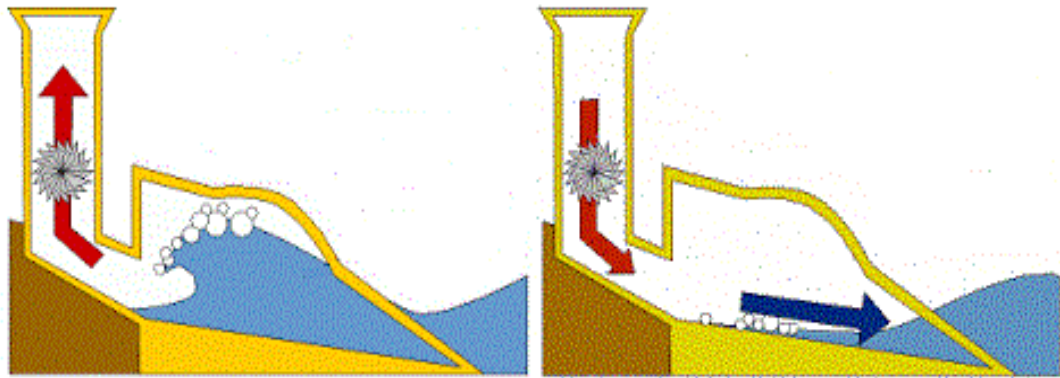
Também tem se estudado estruturas oscilantes lineares, que internamente contam com sistemas hidráulicos que movimentam sistema gerador de energia, pela captura da oscilação mecânica da onda.

### 3.2.1.2 Coluna de água oscilante (CAO)

Outro modelo experimentado é a beira mar, conhecidas como *Oscillating Water Column* (OWC) ou CAO, mostrada na Figura 13, no qual se constrói uma

câmara por onde a onda do mar entra, e internamente ela conta com turbinas que se movimentam pela variação de pressão do ar comprimido dentro desta câmara.

Figura 13 – Estrutura de uma Central de Ondas do tipo CAO

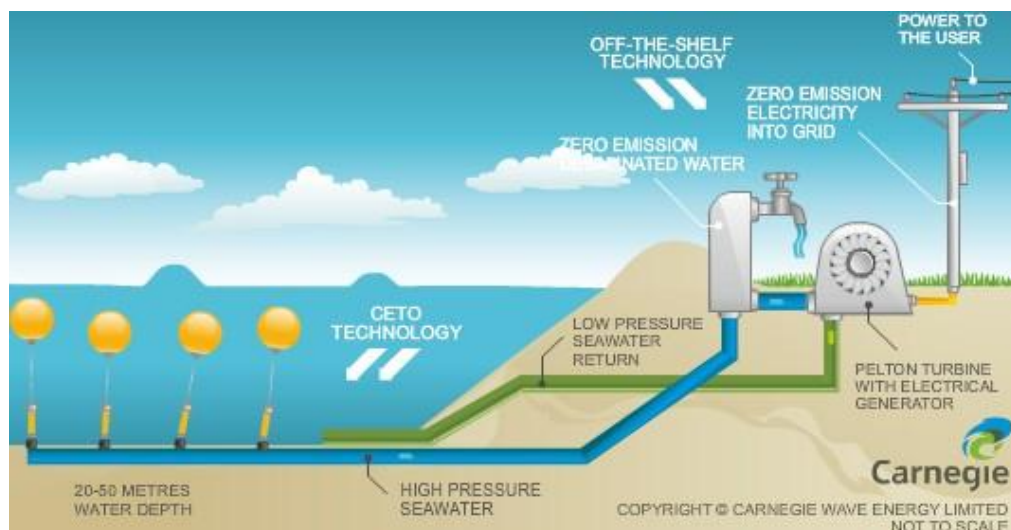


Fonte: Energia Inteligente [51]

### 3.2.1.3 Osciladores com sistema hidráulico

Há também projeto idealizado pela empresa australiana *Carnegie Wave Energy*, o sistema CETO. De acordo com o site Engenharia Civil [52] e mostrada na Figura 14, é um sistema flutuante ancorado abaixo do nível do mar, em que um sistema vertical converte a oscilação do mar em pressão através de uma bomba e conduz a água sobre pressão até um sistema hidráulico localizado em terra firme, que movimenta gerador de eletricidade. Além disso, essa mesma água bombeada passa por elemento que remove o sal do mar, de modo a se obter água doce.

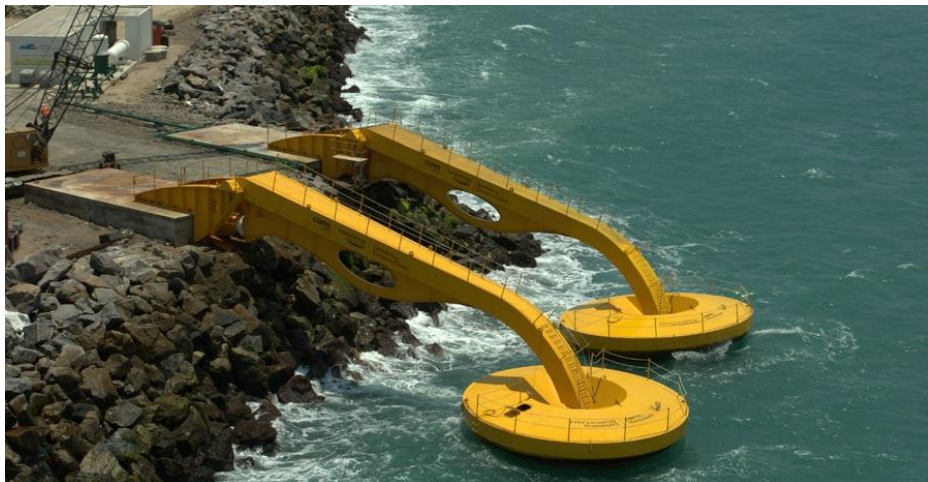
Figura 14 – Esquema do sistema CETO



Fonte: *Carnegie Wave Energy* [53]

No Brasil foi concebido um modelo de braço flutuante, que colocada no quebra mar, reage pela ação mecânica das ondas nestes flutuadores. Há um sistema hidráulico que emprega pressão ao fluido para movimentar turbina geradora de eletricidade, emulando queda d'água semelhante a das usinas hidrelétricas. O protótipo foi instalado em 2012 produzindo 50 kW na cidade de Pecém, no Ceará. O projeto foi coordenado pelo COPPE em parceria com a Tractebel Energia, cuja aplicação está indicada na Figura 15.

Figura 15 – Usina de Ondas em Pecém/CE



Fonte: Pensamento Verde [54]

Modelo semelhante ao empregado em Pecém está sendo desenvolvido pela companhia israelense de energia *SDE Energy Ltd.*

#### 3.2.1.4 Sistema de elevação

Sobre represas flutuantes, foi desenvolvido pela empresa dinamarquesa *Wave Dragon* [55], uma estrutura que coleta as ondas do mar através de dispositivos de elevação e que está disposta num formato que imita uma baía e numa escala de centena de metros quadrados, de modo que as ondas que quebram dentro desta área tendam a ser lançadas para dentro de um reservatório, represando temporariamente esta água a alguns metros acima do nível do mar. Abaixo do conteúdo reservado há um duto forçado com turbina geradora, normalmente do tipo *Kaplan*, e quando é liberada a água, esta move a turbina que gera eletricidade. Modelo desta estrutura é apresentado na Figura 16. É um dispositivo que fica sobre a superfície marítima e ancorada em regiões com mais de 25 m de profundidade. Ao

contrário das outras estruturas flutuantes, não trabalha com mecanismos que se movimentam ou promovem bombeamento, mas sim busca converter energia potencial em elétrica.

Figura 16 – Estrutura de usina de elevação



Fonte: *Wave Dragon* [55]

### 3.2.2 Limites tecnológicos

É uma fonte muito dependente das condições do mar, como direção e amplitude das ondas e das correntes marítimas nas regiões de interesse e fica sujeita aos períodos do ano onde pode haver situação mais intensa de energia, como tempestades e ciclones. O impacto ao ecossistema pode ser considerado baixo, mas deve se ter cuidados na escolha de estrutura geradora em relação à questão de navegação ou regiões pesqueiras, por exemplo. A geografia da costa onde se quer aplicar os projetos deve reunir características favoráveis, implicando em escolhas distintas para cada interesse.

Apesar da oferta abundante de projetos registrados ao longo das décadas, um complicador natural destes protótipos são as propriedades dos materiais utilizados, visto que por estarem sujeitas as ações climáticas como vendaval, ressacas e outros, os equipamentos precisam ser muito robustos, refletindo em aumento de custos em todas as etapas do programa. Historicamente, muitos projetos foram iniciados e posteriormente tiveram seus programas cancelados, pois o custo de manutenção destes equipamentos ou das plantas se tornou inviável.



Também há limitação técnica relativa à conversão de energia mecânica em elétrica, pelo rendimento considerado baixo nos sistemas que alimentam as turbinas e geradores, com muitas perdas de eficiência por atrito mecânico e viscoso.

Apresenta-se como desafio elaborar um sistema de controle que responda satisfatoriamente ao cenário marítimo de frequência de ondas que não é constante, já que essa inconstância gera instabilidade na geração de energia, o que é ruim quando se tem o interesse de criar mercado deste tipo de fonte geradora.

Além disso, por primeiramente ser necessário trabalhar em escalas reduzidas, é essencial que se crie mais laboratórios de tecnologia marinha, pois esta é uma forma de se conseguir reduzir custos nas pesquisas e promover o avanço das tecnologias, e existem poucos laboratórios para este fim. Criar um protótipo que seja lançado diretamente no mar é realmente caro, ainda mais com a escassez de investimentos, por ser uma tecnologia ainda vista como uma promessa e com retorno financeiro demorado, desinteressando empresas privadas, que tem direcionado seus esforços as fontes solares, eólicas e de biomassa, cujo retorno de investimento é real e já existir fornecedores dominando esta tecnologia. Existem empreendimentos que representam os projetos de energia a partir das ondas, mas ainda não há projeto de fonte ondomotriz que seja referência ou comercialmente viável e impulse este mercado, ao contrario das outras fontes alternativas citadas.

### 3.3 CASOS DE SUCESSO

Esta seção visa apresentar alguns casos de usinas ao redor do mundo que tiveram êxito, uma vez que houve viabilidade econômica, retorno financeiro, condições favoráveis tecnológicas e geográficas, projetos futuros e também outros projetos realizados, mas que por falta de continuidade de um dos fatores acima, tiveram seus programas interrompidos.

#### 3.3.1 Usinas maremotriz em operação

A usina que teve êxito na exploração da energia das marés se encontra em Bretanha, na França – a Central Maremotriz de *La Rance*. Segundo publicado na revista Super Interessante [47] e que pode ser verificado na Figura 17, esta central maremotriz com 750 m de barragem e em torno de 13 m de variação da altura de maré, fornece de forma comercial energia a rede elétrica pública desde 1967, com

24 turbinas do tipo bulbo reversível que combinadas fornecem 240 MW e produção média anual de 500 GWh, quantidade que pode ser ofertada em volume industrial ou uma cidade com aproximadamente 200 mil habitantes.

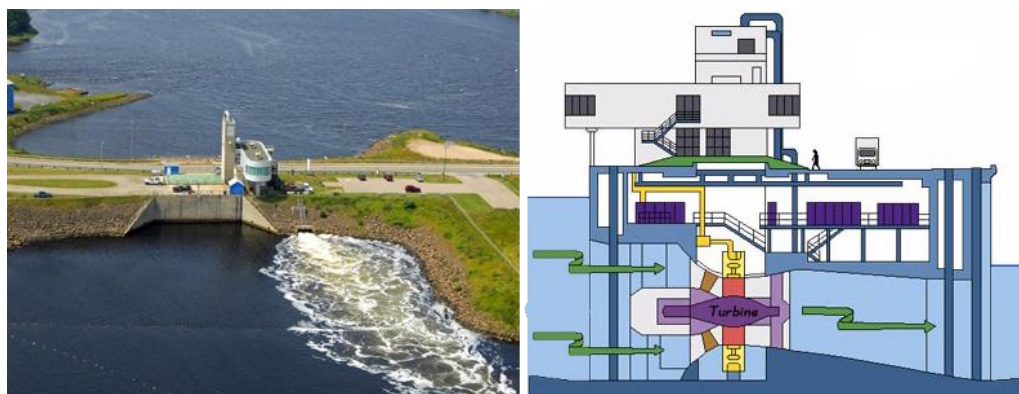
Figura 17 – Vista aérea da Usina Maremotriz de *La Rance*



Fonte: Wikipédia [56]

Na baía de *Fundy*, entre os Estados Unidos e Canadá, foram registradas as maiores variações de marés no planeta, chegando a atingir o pico de 16,3 m. Desde a década de 1980 há estudos nesta região, a fim de se instalar central geradora de energia elétrica. A empresa de energia canadense *Nova Scotia Power Corporation* desde 1984 opera a *Annapolis Royal Generating Station*, na Baía de Annapolis, mostrada na Figura 18. Segundo publicado pelo *The Canadian Encyclopedia* [57], é a única estação de geração de fonte maremotriz da América do Norte que fornece energia de forma comercial a consumidores da região, com fornecimento de 20 MW utilizando turbogerador do tipo *Straflo* e geração média de 50 GWh/ano.

Figura 18 – Annapolis Royal Generating Station



Fonte: *Energias Bienes Comunes* [58]

Outro grande projeto se encontra na Coreia do Sul, na província de *Gyeonggi*, a Usina Maremotriz *Sihwa Lake*, como pode ser visto na Figura 19. Entrou em operação em 2012, produzindo 254 MW de energia e geração média anual de 552 GWh. Segundo Lee [59], ela opera com marés na ordem de 5,5 m e podendo chegar a 7,8 m nas marés de primavera. É a maior produtora mundial de energia utilizando a técnica de barragem de marés.

Figura 19 – Usina Elétrica Maremotriz *Sihwa Lake*



Fonte: *Gyeonggi-Do* [60]

Além dos projetos citados, existem outras usinas em funcionamento na China (Usina Elétrica Maremotriz *Jiangxia*, em operação desde 1980 produzindo 3,2 MW), na Rússia (Usina Elétrica Maremotriz *Kislaya Guba*, em operação desde 1968 e produzindo 1,7 MW), outra na Coreia do Sul (Usina Elétrica Maremotriz *Uldolmok*, em operação desde 2009 e produzindo 1,5 MW) e no Reino Unido (*Strangford Lough SeaGen*, em operação desde 2008 e produzindo cerca de 1,2 MW), segundo lista criada e publicada na Wikipédia [61].

Desta mesma lista, se destacam projetos futuros na Coreia do Sul, Reino Unido, Rússia, Filipinas e Índia, cuja energia de produção estimada de todas elas atinge cerca de 130 GW a partir de 2020.

### 3.3.2 Usinas de ondas em operação

No Reino Unido, em 1991 entra em operação a primeira usina de ondas no mundo que fornece energia a rede urbana da Escócia, a *Islay LIMPET*, com capacidade média de 250 kW de produção, utilizando a tecnologia de coluna de água oscilante. Na Figura 20 é vista sua arquitetura.



Figura 20 – Usina de Ondas *Islay LIMPET*



Fonte: Universidade de Columbia [62]

Em Portugal, está instalada a Central de Ondas Ilha do Pico, nos Açores. Utiliza a tecnologia de central de ondas com coluna de água oscilante, produzindo cerca de 400 kW de potência com turbina do tipo *Wells* e geração média anual de 50 MWh, sendo a primeira no mundo que forneceu energia a rede elétrica pública da ilha a partir de fonte ondomotriz. Nota-se o local da aplicação na Figura 21.

Figura 21 – Central de Ondas Ilha do Pico



Fonte: Radio e Televisão de Portugal [63]

Existem outras usinas em funcionamento na Espanha (Usina de Ondas de Quebra Mar *Mutriku*, em funcionamento desde 2009 produzindo cerca de 300 kW de potência) e no Haváí está sendo testado um dispositivo chamado *Azura* (ver Figura 22), sendo um projeto experimental de abastecimento da rede de energia na região

a partir de boia flutuante que absorve a energia de oscilação das ondas. É considerada a primeira do tipo na América do Norte ligada a rede, gerando aproximadamente 20 kW e ficando instalada em torno de 30 m longe da costa.

Figura 22 – Dispositivo flutuante de ondas *Azura*



Fonte: *Azura Wave* [64]

### 3.3.3 Usinas em fase de testes

No que diz respeito aos dispositivos geradores em fase de testes, há casos onde os estudos estão em andamento e outros que por falta de continuidade de projeto ou recursos financeiros acabaram tendo seus programas paralisados pelas empresas parceiras ou pelo governo. Serão citados alguns casos.

Sobre projetos em fase de testes, na Europa a empresa de energia marítima *EMEC Orkney (The European Marine Energy Centre Ltd.)* [65] tem feito inúmeras parcerias, com fabricantes de turbinas e outras especialidades, a fim de explorar em boa parte dos litorais daquele continente as energias provenientes das ondas e das marés. Assim, estão sendo realizadas dezenas de projetos em países do norte europeu. Alguns exemplos são o emprego de turbina em regiões de forte fluxo da corrente das marés na região da ilha escocesa de *Eday*, e na Finlândia a empresa parceira *Wello Oy* desenvolve conversor de energia das ondas. Além das citadas, a *EMEC* coordena pelo menos 30 projetos de parques de conversão de energia ondomotriz e mais de 50 projetos de energia maremotriz em todo o Reino Unido.

A usina de ondas em Pecém entrou em funcionamento em 2012, tendo sido investido cerca de 15 milhões de reais nesta primeira fase do projeto e prevendo expansão da matriz geradora nos anos seguintes. Porém, segundo publicado pelo site Diário do Nordeste [66], a usina já está abandonada desde meados de 2013, pois o COPPE começou estudos em outro modelo (cuja esta nova parceria está sendo realizada com a Eletrobrás Furnas) logo após fim do contrato junto a Tractebel Energia. Há expectativa de se retomar o projeto em 2017.

A usina maremotriz do Bacanga no Maranhão teve projeto lançado na década de 1970 pelo Governo Federal em conjunto com a Eletrobrás, que após a crise do petróleo na mesma década, viram que a dependência desta fonte fóssil poderia ser um complicador para os projetos de crescimento futuro da nação. Por meio deste evento começaram os incentivos as fontes alternativas de energia no plano nacional. Contudo este projeto se limitou a construção da barragem na região, que envolveu apenas o vertedouro de aproximadamente 42 m de extensão e reservatório capaz de reter até 6,5 m de água, mas depois ficou em segundo plano diante da rápida evolução das outras fontes limpas de energia. Nos últimos anos, ambientalistas e outros representantes do setor energético têm retomado estudos sobre esta usina, inspirada em projetos que começaram a ter êxito em outros lugares do mundo.

O Parque de Ondas da Aguçadoura foi construído 5 km afastado da costa portuguesa de Póvoa de Varzim, em 2008, sendo criado um pequeno parque ondomotriz que contou com três geradores do tipo Pelamis, com produção estimada de 2,2 kW, sendo esta a fase inicial do projeto. Em menos de um ano, o projeto foi interrompido pela saída da empresa responsável pelo monitoramento da estrutura, pois houve grandes danos provocados pelo ambiente marítimo. Segundo a Associação de Energias Renováveis [67], este empreendimento tinha por parte do governo de Portugal e dos investidores grande expectativa de sucesso, mas após os maus resultados deste projeto (que consumiu quase 10 milhões de euros) o investimento em energia das ondas e maremotrizes sofreu forte desaceleração. Depois deste evento, novos estudos têm sido feitos pelos especialistas portugueses a fim de compreender melhor o encaminhamento tecnológico das fontes marítimas e se projeta que até 2020 Portugal consiga instalar 250 MW de potência em energias oceânicas.

## 4 PERFIL DO LITORAL NORTE DE SANTA CATARINA

Este capítulo trará informações sobre o Litoral Norte catarinense, apresentando o perfil geográfico da costa, fatores ambientais, o leito do mar na região e também considerações sobre os históricos de marés e ondas registradas pelas organizações militares que monitoram e atendem esta região.

### 4.1 ESPAÇOS GEOGRÁFICOS DA COSTA

O clima nesta região, conforme descrito por Mattos [68] “é do tipo subtropical úmido, com forte distinção entre duas épocas do ano: verão e inverno”.

Predomina na região litorânea a vegetação de manguezal, assim como enseadas e ilhas. A Figura 23 apresenta a ilha de São Francisco do Sul, banhada pela Baía da Babitonga, e as regiões de Itapoá, Balneário Barra do Sul e Barra Velha.

Figura 23 – Mapa do litoral norte de Santa Catarina



Fonte: Mapas Blog [69]

### Sobre a baía:

Localizada abaixo da latitude 26° S tem uma área de 1.567 km<sup>2</sup>.  
 Preserva a maior área de mangue e é o maior estuário de Santa Catarina.  
 Os ventos predominantes são de nordeste e de leste.  
 A precipitação média anual é de 2.300 mm.  
 As marés oscilam entre 80 cm e 1,90 m de altura.  
 No canal principal, na direção NE/SW, a profundidade atinge 28 m.  
 O canal do Palmital leva sedimentos para o interior da baía.  
 O canal do Linguado foi fechado em 1937 e é intensamente sedimentado.  
 É cercada por seis municípios – Araquari, Barra do Sul, Garuva, Itapoá, Joinville e São Francisco do Sul. [70]

Segundo informações do site do município de São Francisco do Sul [71] a baía é composta por 24 ilhas e segundo o blog *Travel Forever!* [72], ela é um dos principais estuários de Santa Catarina, tendo em torno de 160 km de costa e 65 km<sup>2</sup> de manguezais, além de ser uma grande reserva de Mata Atlântica, apresentada na Figura 24.

Figura 24 – Imagem parcial Baía da Babitonga



Fonte: Eco Babitonga [73]

Faz parte da Baía o Canal do Linguado, apresentado na Figura 25, com pouco mais de 20 km de extensão, que fazia a ligação entre a baía e o Oceano Atlântico, definindo os limites da ilha de São Francisco do Sul e o continente. Segundo apresentado pelo blog Instituto Nossa Casa [74], na primeira década de 1900 o canal começou a realizar projeto de aterramento e ponte sobre as duas porções do canal, para a concepção de linha férrea que chegaria até o porto em São



Francisco do Sul. O trecho de 700 m entre São Francisco e a Ilha do Linguado foi aterrada, enquanto a ponte provisória entre a ilha do Linguado e o continente atravessava 400 m de canal, cuja profundidade média avaliada era de 4 m na época. O estreitamento do canal sob a ponte foi de aproximadamente 70%, o que aumentou a velocidade das correntes de marés, gerando erosão nas bases da estrutura e aumentando a profundidade do canal nos anos seguintes para aproximadamente 20 m. Em 1935 foi realizado o fechamento total do canal para resolver o problema do enfraquecimento da estrutura da ponte existente. Isso fez a região ligada a Baía da Babitonga se tornar assoreada por sedimentos lançados pelos municípios da região e o lado ligado ao mar se transformou em laguna, com o aparecimento de bancos de areia e diminuindo a profundidade do canal. Esta ação fez com que o ecossistema da região fosse afetado, pois antes do bloqueio, o fluxo das marés no canal caracterizava o perfil estuário desta área até a década de 1930. Desde a década de 1970 se discute a reabertura parcial ou total do canal, com o interesse em restaurar parte das características estuárias e também pela vontade de duplicação da BR-280 que cruza a região, mas os impactos desta ação e dos custos ainda são bastante inconsistentes. Um exemplo da dificuldade da abertura do canal é referente aos moradores que ocupam hoje áreas que antigamente eram parte do canal, pois essas áreas urbanizadas voltariam a ser inundadas.

Figura 25 – Canal do Linguado



Fonte: Jornalismo Ambiental [75]

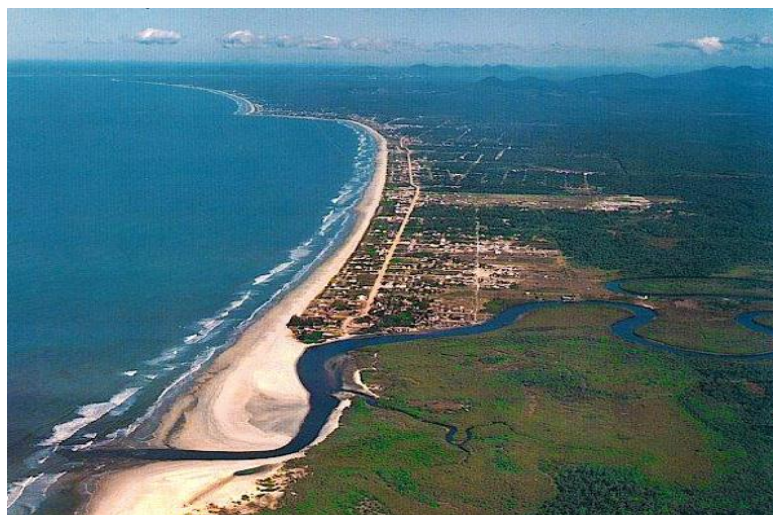
O canal do Linguado atualmente não conta com variação brusca de maré enquanto fechado, pouco mais de 1 m entre um lado e o outro, segundo o Blog Instituto Nossa Casa [74]. Mas como mencionado anteriormente, possuía grande correnteza de maré quando o canal estava parcialmente aberto.

A região em mar aberto do Oceano Atlântico contém algumas ilhas, cujas distâncias da costa variam de 500 m a 2 km. No Balneário Barra do Sul se encontram as ilhas Feia, das Araras e dos Remédios. Em São Francisco do Sul, junto à praia do Ervino estão as ilhas do Norte, do Porto, do Meio, Tamboretas, Rema e do Sul. Existem algumas ilhas próximas à região da Enseada e Praia do Forte. E em Itapoá se localizam as ilhas Itapeva e Saí-Guaçu.

As praias que integram a baía da Babitonga são as mais calmas, como as que banham a Vila da Glória e as que ficam próximas do centro de São Francisco do Sul, como as praias de Paulas, a praia do Capri e parte da praia do Forte (junto ao Forte Marechal Luz). Já seguindo pela costa em mar aberto, a praia de Itaguaçu e Ubatuba, praia da Enseada e praia do Molhe tem perfil de praias mais apropriadas para o banho, pois contam com águas mais tranquilas.

As praias que contam com o mar mais agitado, com fortes ondas, costões de pedras e comumente utilizado para a prática do surfe são as praias de Itapoá (Figura 26); em São Francisco do Sul: parte da praia do Forte (em direção ao Sumidouro, Figura 27), costão do morro da Enseada (Figura 28), Prainha (praia da Saudade) e praia Grande (Figura 29), praia do Ervino (Figura 30); e as praias da Barra do Sul (Figura 31) e Barra Velha (Figura 32).

Figura 26 – Praia de Itapoá



Fonte: Praias Santa Catarina [76]

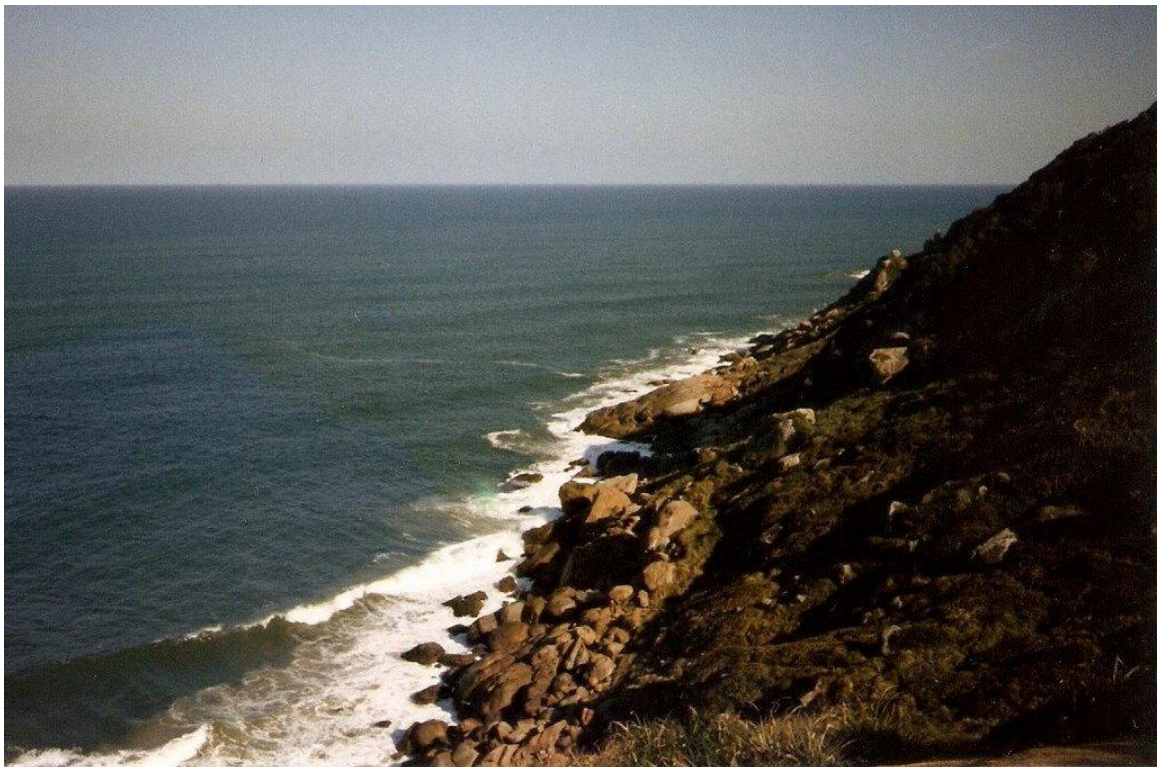


Figura 27 – Praia do Forte



Fonte: produção do próprio autor (2014).

Figura 28 – Parte do Costão do Morro da Enseada



Fonte: *World Maps* [77]



Figura 29 – Praia Grande e Prainha ao fundo



Fonte: Jornal Notícias do Dia [78]

Figura 30 – Praia do Ervino



Fonte: Mitula Imóveis [79]

Figura 31 – Balneário Barra do Sul



Fonte: Residencial Salinas na Barra [80]

Figura 32 – Barra Velha



Fonte: Jornal Notícias do Dia [78]

## 4.2 CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA REGIÃO

Os fatores ambientais do Litoral Norte de Santa Catarina são bem definidos e com comportamento similar nos locais de interesse propostos no trabalho. Estão disponíveis no site da Petrobrás Transportes S.A. (Transpetro) arquivos que fornecem informações específicas próximas às regiões portuárias. No caso das áreas próximas ao Porto de São Francisco do Sul, o arquivo publicado em 2016 *Port Information* [81] explica as várias condições meteorológicas. Sobre os ventos:

No inverno, é provável ocorrerem ventos tempestuosos do sul por mais de 48h [...]. Os registros indicam que os ventos fortes na região provêm do quadrante sul, gerados por formações de frentes frias ou de uma linha de instabilidade. Um dos ventos mais fortes [...] teve uma intensidade de cerca de 130 km/h [...] em um intervalo de curto tempo [...]. [81]

Sobre as ondas:

Os ventos provenientes do quadrante sul são geralmente provocados por frentes frias. Raramente são registradas ondas com amplitude maior que 3,5 metros. Geralmente, ocorrem ondas com altura de 2,5 metros por ocasião dos ventos procedentes do sul nos meses de junho a outubro. [81]

Sobre as correntes de marés e outras correntes próximas ao porto:

Não se pode, com exatidão, correlacionar as correntes com o vento observado no local, visto que elas, da mesma forma que as ondas, são geradas por ventos ao largo que nem sempre correspondem aos ventos locais. Pode-se prever [...] que, com um aumento ou diminuição do vento gerador ao largo, haverá um correspondente aumento ou diminuição da intensidade da corrente [...]. [81]

Sobre a subida e queda das águas no terminal portuário:

A amplitude média normal aproximada da maré no Terminal é 1,20 metros (4 pés), por ocasião da maré de sizígia há variações maiores com até 2,50 metros (8,5 pés). O calado máximo para amarração no TEFTRAN (18 metros) foi calculado em função da pior condição de maré. [81]

E sobre a questão da visibilidade, precipitação e tempestade com raios:

A visibilidade de modo geral é boa, mas ocorre cerração nas primeiras horas da manhã do outono e do inverno. No período de verão aparece, às vezes, uma névoa seca que diminui a visibilidade. [...] As maiores precipitações na região ocorrem ao anoitecer e por vezes prolongam-se durante a noite [...]. A média pluviométrica anual na região está em torno de 980 mm. [...] As tempestades com raios são mais frequentes nas estações da primavera e verão, no período da tarde e início da noite, os elementos que contribuem para sua incidência são as frentes frias e as altas temperaturas durante o dia. [81]

### 4.3 PLANÍCIE OCEÂNICA

O modo de se aferir e conseqüentemente entender como é o relevo do fundo do mar são realizando coleta de dados batimétricos. Como descrito no site do Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil [82] a batimetria padrão coleta dados em embarcações que sondam as áreas de interesse em linhas contínuas, espaçadas uniformemente, onde as sondagens indicam as profundidades e representam o relevo submarino. Utilizam-se receptores que medem posição e ecobatimentos medem a profundidade. Por padrão, cartas náuticas representam as profundidades reduzidas às médias das baixa-mares de sizígia, que elimina variação da maré e garante aos navegadores não passar por profundidades menores do que as apresentadas, estas em curvas de nível. Outro meio de medição do relevo marinho é por batimetria multifeixe.

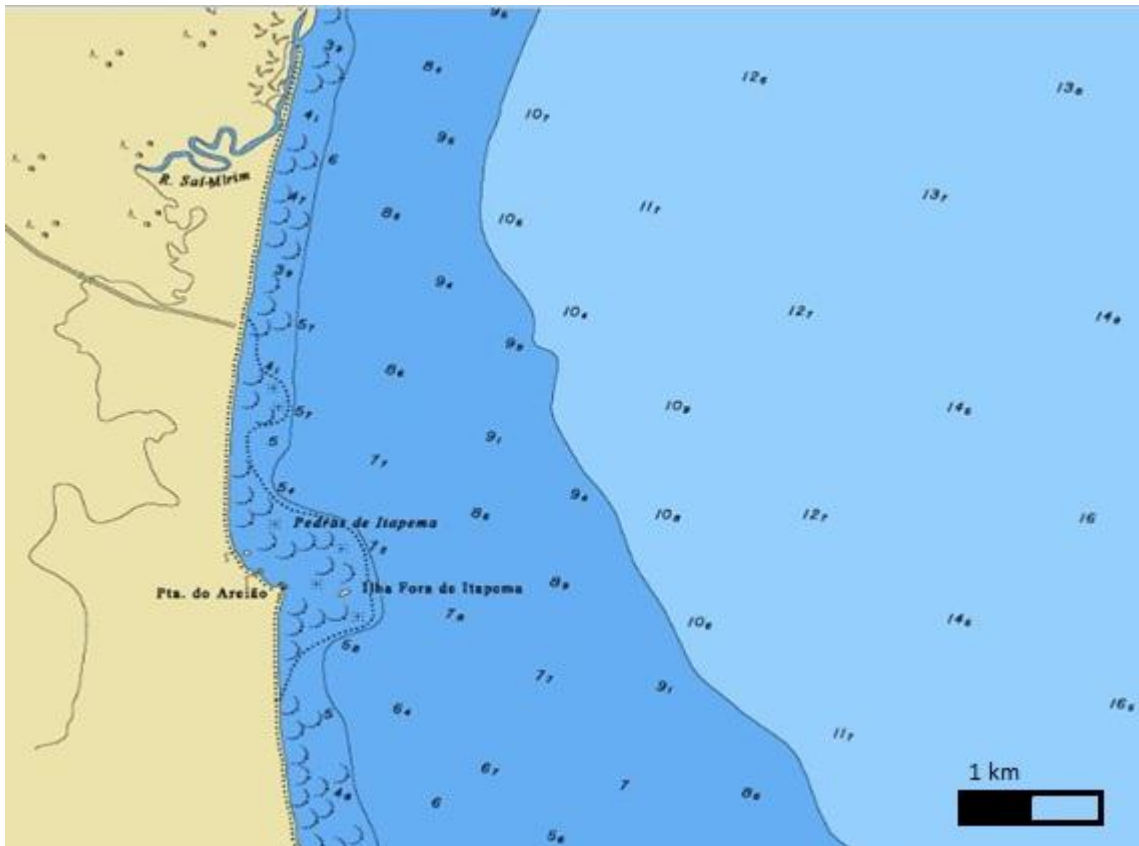
A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha disponibiliza gratuitamente as Cartas Náuticas Raster, com informações que orientam os navegadores quanto à geologia de navegação, com informações bastante precisas de profundidade e existência de molhes de pedras, ilhas, oleodutos, monoboias e outras. Das figuras 33 a 38 serão apresentadas informações batimétricas referentes à região de Itapoá, Praia do Forte, Costão da Enseada, Prainha, Praia Grande, Praia do Ervino, Barra do Sul e Barra Velha, extraídas da Carta Raster número 1830 [83], que descreve a batimetria nas proximidades do Porto de São Francisco do Sul. Para entendimento da área aproximada de cada figura, tendo em vista a escala da carta original, as medidas foram expressas em quilômetros, na forma cartesiana (x, y):

- Figura 33: (20,5 km; 18,5 km);
- Figura 34: (24,5 km; 13,0 km);
- Figura 35: (19,0 km; 18,0 km);
- Figura 36: (19,5 km; 18,5 km);
- Figura 37: (20,0 km; 22,5 km).

A Figura 38 trás a simulação de batimetria atual do Canal do Linguado, realizado em defesa de tese de mestrado, reforçando o assoreamento após fechamento do canal.



Figura 33 – Batimetria da região norte de Itapoá



Fonte: Diretoria de Hidrografia da Marinha [83]

Figura 34 – Batimetria da região sul de Itapoá e norte de São Francisco do Sul



Fonte: Diretoria de Hidrografia da Marinha [83]

Figura 35 – Batimetria leste de São Francisco: costão da Enseada a praia Grande



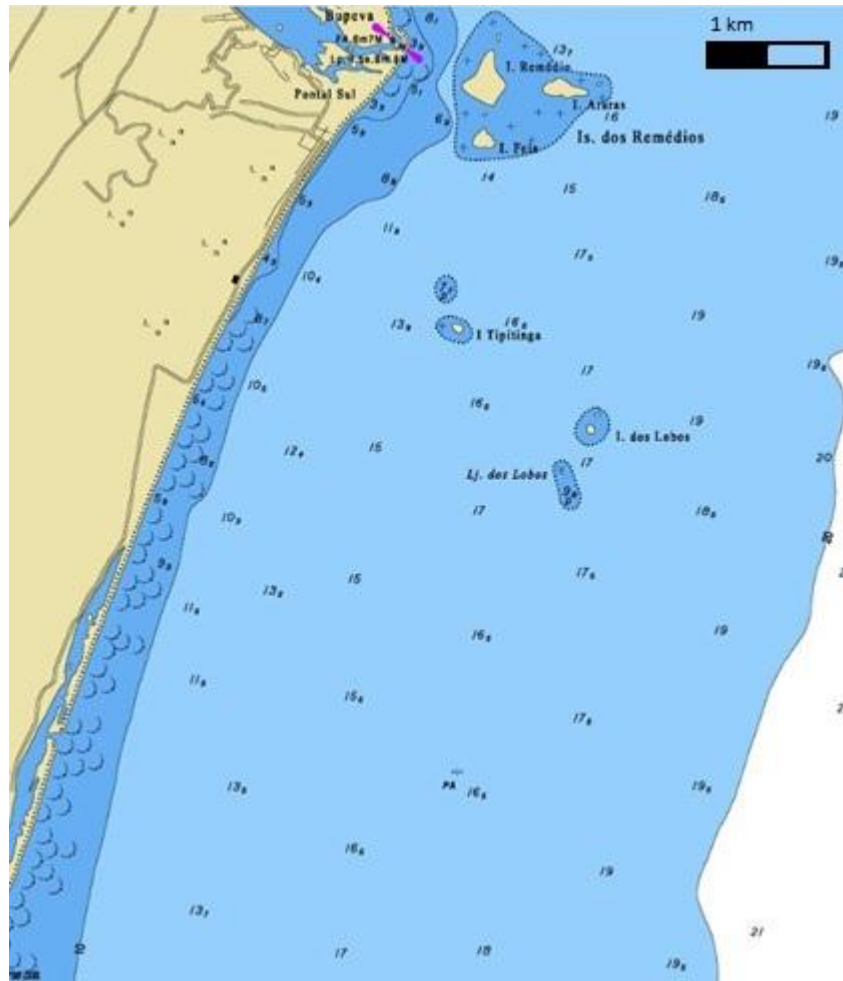
Fonte: Diretoria de Hidrografia da Marinha [83]

Figura 36 – Batimetria da Praia Grande a Praia do Ervino



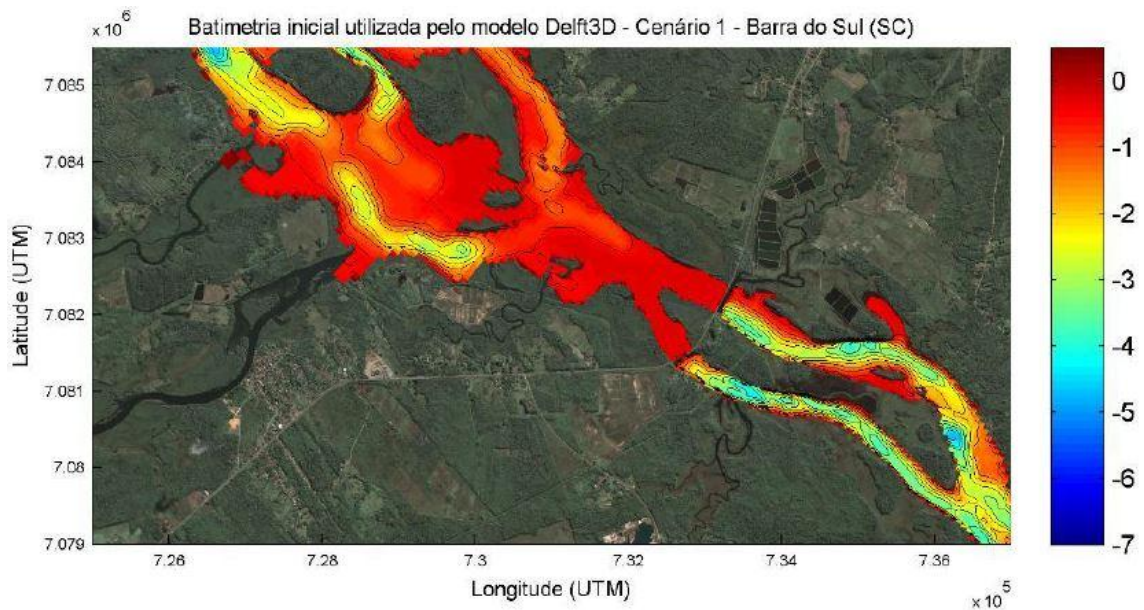
Fonte: Diretoria de Hidrografia da Marinha [83]

Figura 37 – Batimetria do Balneário Barra do Sul as Praias de Barra Velha



Fonte: Diretoria de Hidrografia da Marinha [83]

Figura 38 – Simulação de batimetria atual do Canal do Linguado



Fonte: Silva [84]

#### 4.4 HISTÓRICOS DAS MARÉS

As tabelas previstas das marés são calculadas, segundo o site Tábua de Marés [85], por meio de uma equação ajustada pelos métodos de mínimos quadrados através do algoritmo de *Foreman*, que utiliza uma série de medições temporais obtidas pelos marégrafos em anos anteriores. Segundo o site Portal Educação [86], os marégrafos atuam através da técnica de análise harmônica, expressa pela série de Fourier, que combina o efeito de mais de 70 dados de maré, com período desde 12 h até 1.600 anos, e quanto mais tempo o equipamento realizar coleta de informações, mais precisa será a caracterização das marés. A equação de marés  $\eta(\tau)$  é dita:

$$\eta(\tau) = a_0 + \sum_{n=1}^k a_n \cos(\omega_n t - \alpha_n) \quad (2)$$

Onde  $a_0$  é nível médio de referência estabelecido,  $a_n$  é a amplitude,  $\alpha_n$  a fase,  $k$  são as componentes harmônicas consideradas e  $\omega_n$  são as frequências angulares correspondentes, segundo apresentado no Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction, 1977, apud Tábua de Marés [85]. A Tabela 1 foi elaborada considerando cinco dias de cada mês (1°, 8, 15, 22, 29) em tabelas do DHN [87] em 2016, com a média mensal no intervalo de cinco anos de marés altas (MA) e marés baixas (MB).

Tabela 1 – Média das marés na região portuária de São Francisco do Sul segundo o DHN

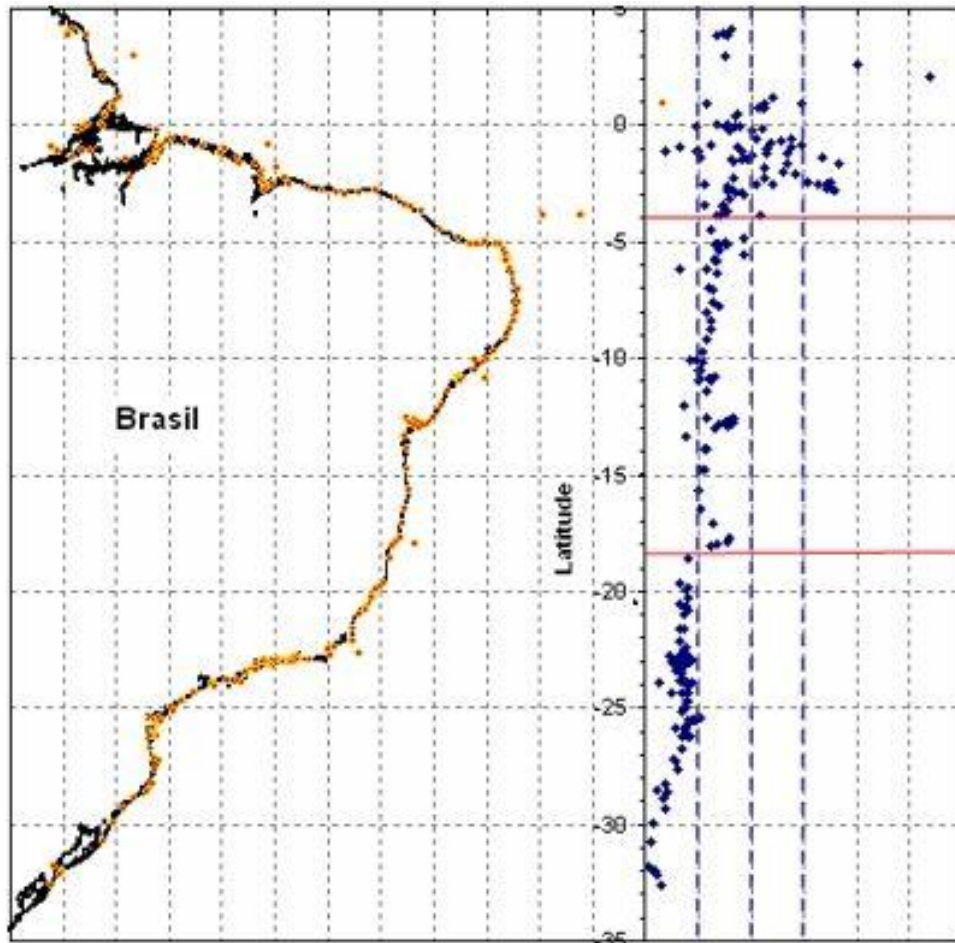
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)
2011	1,35/ 0,24	1,29/ 0,30	1,33/ 0,23	1,48/ 0,30	1,58/ 0,49	1,61/ 0,54	1,53/ 0,42	1,47/ 0,27	1,42/ 0,22	1,49/ 0,35	1,45/ 0,48	1,36/ 0,31
2012	1,39/ 0,43	1,35/ 0,35	1,38/ 0,33	1,45/ 0,29	1,37/ 0,33	1,46/ 0,28	1,44/ 0,24	1,44/ 0,32	1,48/ 0,23	1,44/ 0,24	1,36/ 0,35	1,44/ 0,37
2013	1,48/ 0,22	1,46/ 0,36	1,44/ 0,24	1,45/ 0,31	1,39/ 0,35	1,41/ 0,44	1,37/ 0,45	1,41/ 0,29	1,43/ 0,24	1,45/ 0,32	1,51/ 0,32	1,50/ 0,36
2014	1,50/ 0,47	1,50/ 0,32	1,50/ 0,30	1,46/ 0,22	1,45/ 0,29	1,42/ 0,34	1,42/ 0,28	1,42/ 0,28	1,40/ 0,39	1,42/ 0,42	1,44/ 0,33	1,39/ 0,38
2015	1,34/ 0,41	1,43/ 0,28	1,43/ 0,24	1,46/ 0,27	1,47/ 0,29	1,45/ 0,45	1,44/ 0,42	1,50/ 0,28	1,50/ 0,38	1,45/ 0,25	1,46/ 0,35	1,41/ 0,35
Média	<b>1,41/ 0,35</b>	1,41/ 0,32	1,42/ 0,27	<b>1,46/ 0,28</b>	1,45/ 0,35	<b>1,47/ 0,41</b>	1,44/ 0,36	1,45/ 0,29	1,45/ 0,29	1,45/ 0,32	1,44/ 0,37	1,42/ 0,35
$\Delta h(m)$	<b>1,06</b>	1,09	1,15	<b>1,18</b>	1,10	<b>1,06</b>	1,08	1,16	1,16	1,13	1,07	1,07

Fonte: produção do próprio autor, 2016, baseado em dados disponíveis em 2016 pelo DHN [87]



O portal da DHN [87] informa que o litoral brasileiro apresenta perfil de marés predominantemente semidiurno, que são duas marés baixas e duas marés altas durante um dia de lua nova ou cheia. A Figura 39 mapeia a amplitude de marés na costa do Brasil e indicada a baixa variação das marés na região norte de Santa Catarina (latitude 26°).

Figura 39 – Magnitude das marés no litoral do Brasil



Fonte: Diretoria de Hidrografia da Marinha [87]

As linhas pontilhadas dividem as micro, meso, macro e hiper maré, e as linhas em vermelho indicam as latitudes onde ocorrem mudanças mais significativas no perfil de maré das costas. A amplitude de maré varia de micro maré ( $\approx 0,5$  m), mais característico na região Sul, até a macro maré ( $\approx 7,0$  m), e em casos menos comuns atinge a hiper maré ( $\approx 11$  m), na região Norte. No extremo sul do país se registram marés mistas, que também contam com duas marés baixas e duas marés altas no mesmo dia das grandes luas, mas a diferença entre marés é maior. Ao analisar a Tabela 1, nota-se que a diferença entre MA e MB na média dos cinco anos é pouco

maior que 1 m. Janeiro e junho têm a menor variação (1,06 m) e a maior é em abril (1,18m), ressaltando a conclusão de que esta região conta com marés do tipo micro.

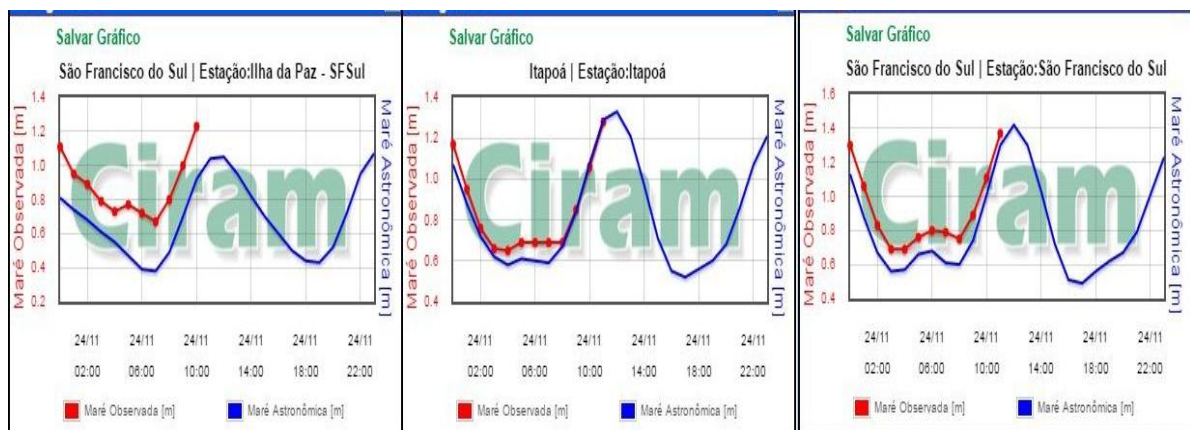
A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão Tecnológica (Epagri) e o Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia (Ciram) também fornecem informações a respeito do comportamento das marés, focado no estado de Santa Catarina, disponibilizando dados de “Previsão para o Mar” e o serviço “Litoral On-line”, como pode ser visto na Figura 40 e Figura 41.

Figura 40 – Litoral On-line: dados de marés e ventos no litoral norte catarinense



Fonte: Epagri/Ciram [88]

Figura 41 – Litoral On-line: Maregrama



Fonte: Epagri/Ciram [88]

A estação do Balneário Barra do Sul gera dados de meteograma, onde são disponibilizados dados de direção e velocidade do vento máximo e médio (km/h), temperatura instantânea do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), total de chuva acumulada no período de sete dias (mm), a pressão atmosférica (hPa), umidade relativa instantânea (%) e a radiação média ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

#### 4.5 HISTÓRICOS DA ALTURA DAS ONDAS

Os parâmetros de velocidade, amplitude e outros dados das ondas podem ser registrados por ondógrafos ou estimada por computação numérica.

Ondas podem ser medidas através de sensores de pressão colocados no fundo do mar e que são sensíveis às oscilações de alta frequência da superfície do mar, registrando-as internamente. O uso de vanos ondógrafos (de pressão) numa determinada área permite conhecer, além das amplitudes e períodos, também a velocidade de propagação e o comprimento das ondas.

As ondas podem também ser medidas em plataformas fixas, com sistemas de boias acopladas a régua e pena, os quais registram variações de alta frequência do nível da superfície do mar.

Atualmente, ondógrafos direcionais são utilizados, baseados em boias de superfície fundeadas (em geral na plataforma continental) e que medem a aceleração da água, fornecendo assim a altura e direção das ondas.

Finalmente, medições da altura significativa de ondas são realizadas através de altimetria de satélite, em função da forma dos ecos de sinais eletromagnéticos. (Harari, 2002, *apud* Vieira [70]).

Na Figura 42, segundo Gomes [89], as ondas são classificadas como:

Figura 42 – Tipos de ondas

Onda	Período	$\lambda$	Tipo de Onda*	Forçante
Capilar	< 0,1 s	< 2 cm	profunda - rasa	ventos locais
Chop	1-10 s	1-10 m	profunda- rasa	vento locais
Swell	10-30 s	> dezenas m	profunda- rasa	tempestades distantes
Seiche	10 min- 10 h	> dezenas Km	rasa- intermediária	vento, ressonância de maré
Tsumani	10-60 min	> dezenas Km	rasa-intermediária	distúrbio submarinos
Marés	12,4-24,8 h	centenas de Km	rasa	Astronômica

Fonte: Gomes [89]

Além das ondas oceânicas de superfície, que surgem dos ventos sobre o mar e a submete a pressões, a onda que mais colabora com carga de energia e ser mais frequente no Litoral Norte catarinense são as do tipo *swell*, cujo perfil está apresentado na Figura 43.

Figura 43 – Ondas *swell*

<b>SWELL</b>	<b>CAUSAS MAIS PROVÁVEIS</b>	<b>LITORAL QUE ATINGE</b>
Sudoeste a Sudeste	Frentes-frias e ciclones extratropicais	Do Rio Grande do Sul até a Paraíba
Nordeste a Sudeste	Pistas de vento Leste sobre o oceano Atlântico Sul, provocadas por áreas de Alta pressão, distúrbios de Leste e frentes tropicais	Praticamente todo o litoral do Brasil
Noroeste a Nordeste	Frentes-frias e ciclones sobre o oceano Atlântico Norte	Do Pará até a Paraíba e Fernando de Noronha

Fonte: Surf & Ciência [90]

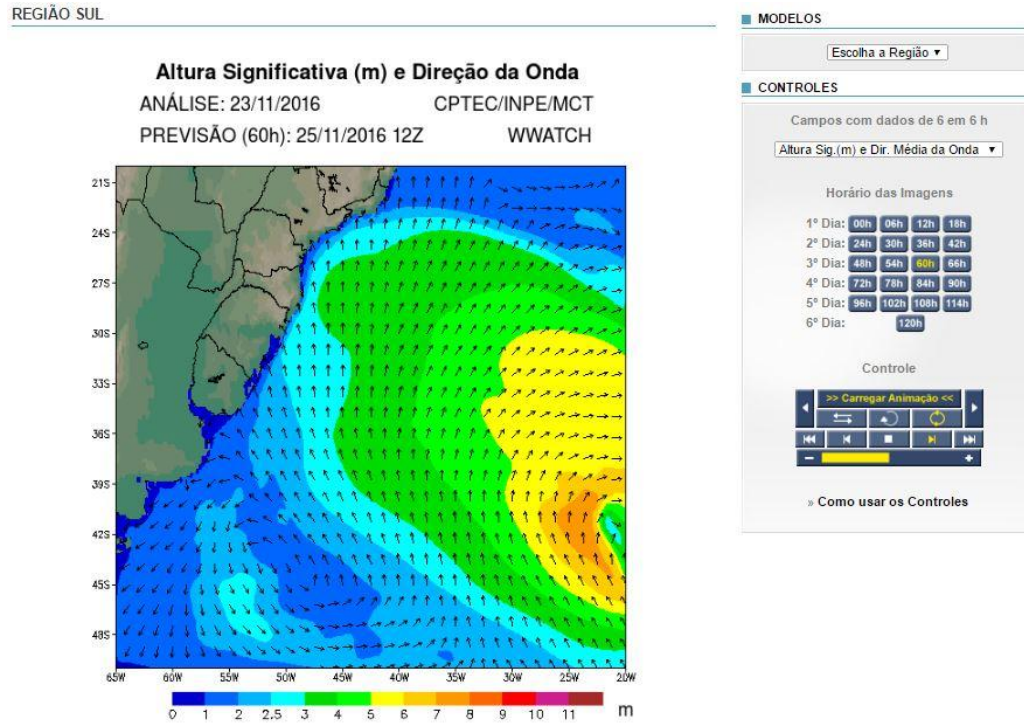
Os ventos exercem grande efeito nas ondas produzidas, pois o comportamento padrão das ondas no litoral catarinense se dá pelos ventos de leste e também, em determinadas épocas do ano, pelas massas de ar frio e ciclones extratropicais, que provocam inclusive ressacas. O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) em conjunto com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) fornecem diariamente dados sobre as condições climáticas. As ondas são simuladas pelo sistema numérico WWATCH III, cuja “previsão de agitação marítima é realizada diariamente com dados de vento de superfície obtidos pelo modelo global AVN do NCEP” [91].

A Figura 44 mostra que este modelo gera previsão de até 120 h, com intervalos de 6 h entre cada estimativa, com dados de vento 10 m acima da superfície de simulação. Mas o modelo só é apropriado para profundidades acima de 40 m. As setas indicam a direção das ondas e a barra de cores indica a altura significativa das ondas em metros. Outras informações que o sistema oferece são de intensidade e direção dos ventos, com período médio, de pico ou *windsea*. O Epagri/Ciram usa o mesmo sistema para fornecimento das informações.

A previsão das ondas para um período de cinco dias também é fornecido pelo CPTEC/INPE, como exemplificado na Figura 45. No caso 00Z, a onda tem 1,4 m de altura e está em direção sul-sudeste e o vento sopra a 6,6 m/s na direção leste. Apesar de a previsão estar apresentada para o Balneário Barra do Sul, o prognóstico é o mesmo para as praias próximas. Ou seja, a mesma previsão se aplica as regiões de Araquari, Barra Velha, Itapoá e São Francisco do Sul, alvo de estudo desta proposta.

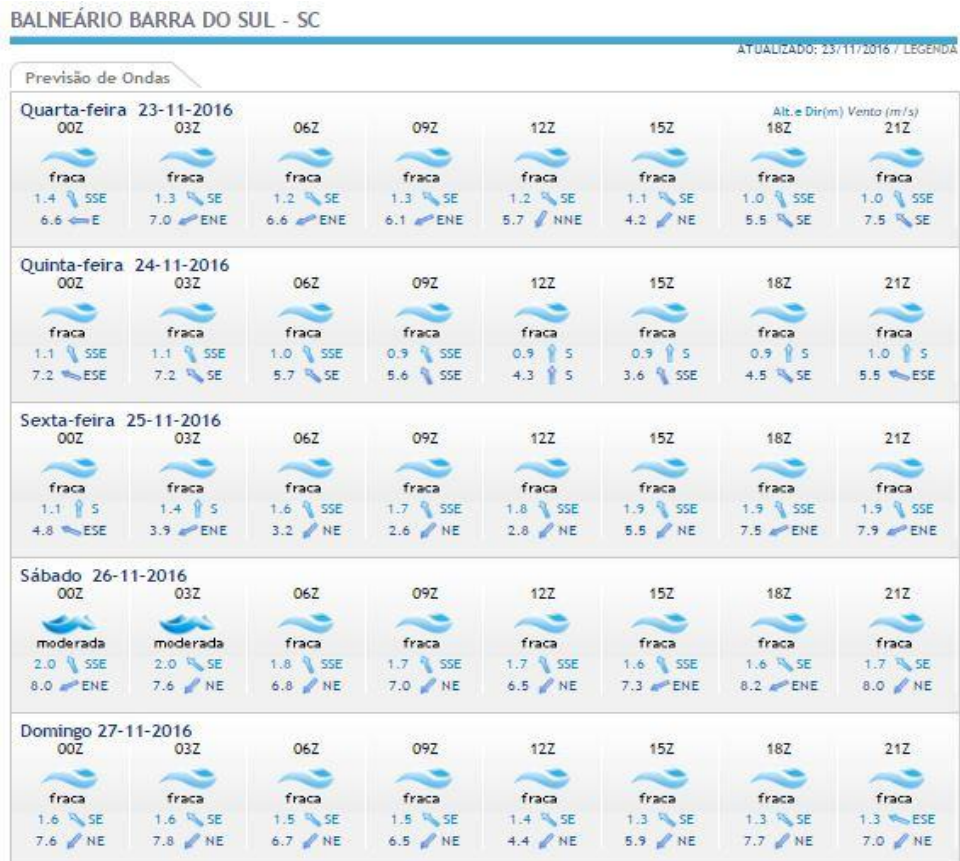


Figura 44 – Altura significativa e direção média das ondas (Região Sul)



Fonte: CPTEC/INPE [92]

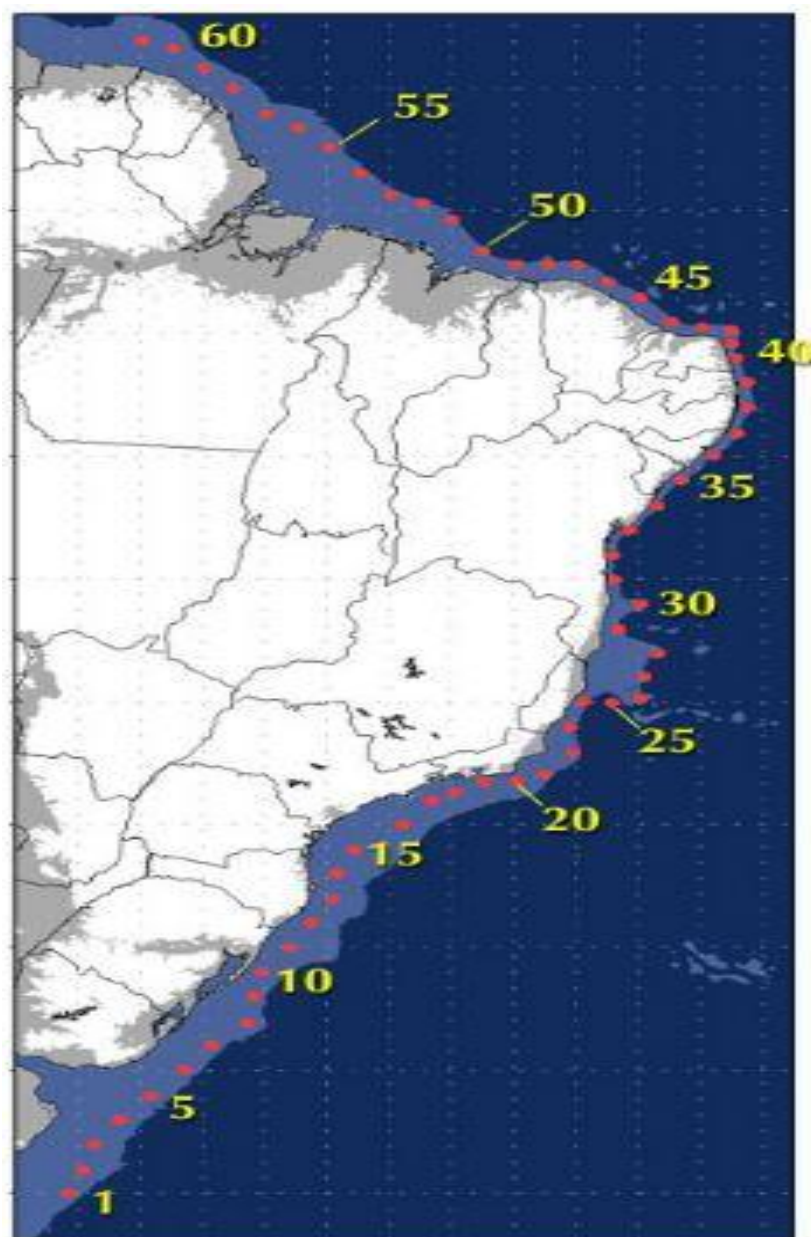
Figura 45 – Previsão de ondas para Balneário Barra do Sul



Fonte: CPTEC/INPE [91]

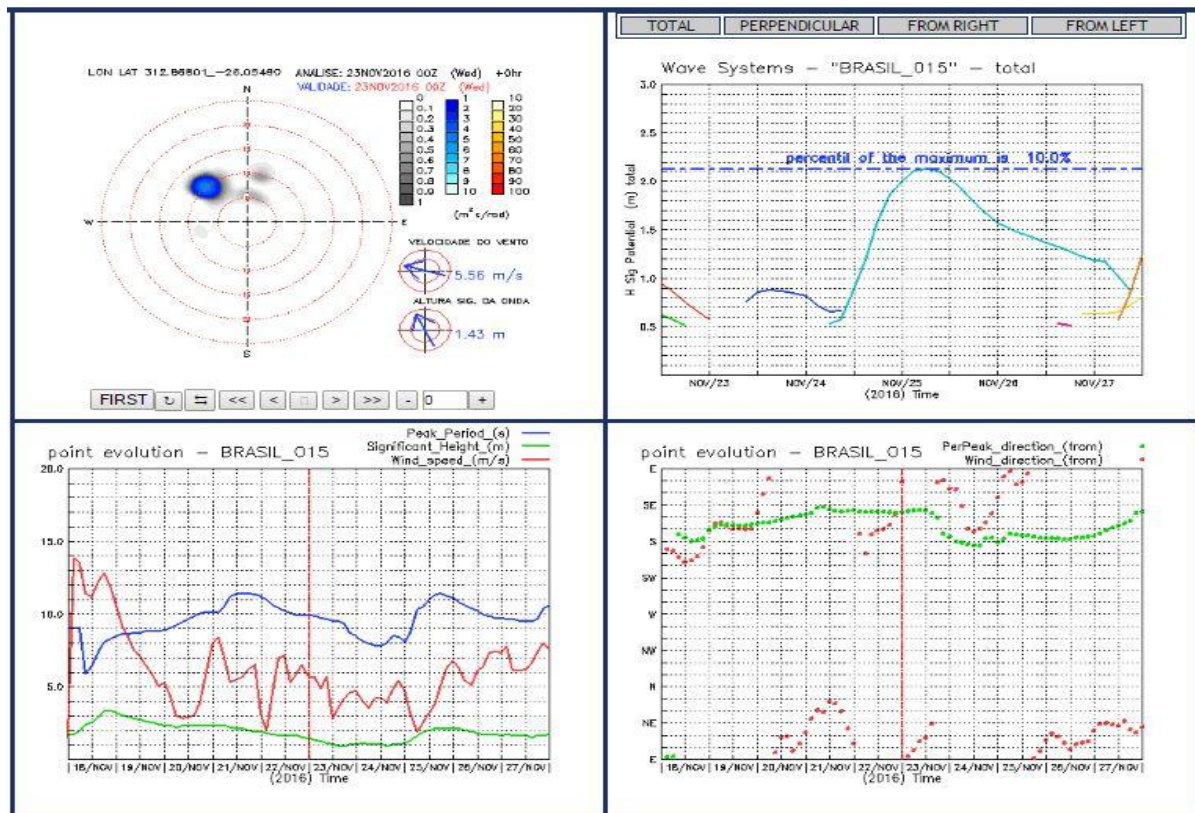
Outra ferramenta computacional disponibilizada pelo CPTEC/INPE é o SIMcos, mostrado na Figura 46 e Figura 47. Um sistema de previsão e monitoramento costeiro idealizado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) em 2007. Segundo o CPTEC/INPE [93], por meio de modelagem numérica se monitora e prevê condições que podem atingir as áreas costeiras e em alto mar, como marés, correntes aquáticas, ondas na superfície oceânica, ventos de superfície, tempestades e foz dos rios e sedimentos.

Figura 46 – Sistema de monitoramento costeiro SIMcos



Fonte: CPTEC/INPE [93]

Figura 47 – SIMcos no ponto 15 de monitoramento (Região Sul)



Fonte: CPTEC/INPE [93]

Os sistemas de monitoramento estão na isóбата de 100 m da costa brasileira. Isóбата é “uma curva que é usada em mapas para representar o mapeamento dos pontos da mesma profundidade em oceanos e lagos com grandes dimensões” [94].

Em regiões de menor profundidade, o portal Rede Ondas [95] monitora ondas em águas rasas com o objetivo de fornecer dados em tempo real das condições do mar do litoral brasileiro, com o objetivo de fornecer informações de forma gratuita sobre a agitação do mar, para auxiliar na segurança das atividades marítimas. Ao longo do tempo, a Rede Ondas criou base de dados [96] para definir perfil mais detalhado das ondas na costa brasileira. Na região paranaense do Pontal do Paraná, aproximadamente 30 km ao norte de Itapoá, se encontrava equipamento de aquisição de dados, pertencente ao Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta), gerido pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

A Tabela 2 apresenta dados adquiridos durante 18 meses pela boia meteorológica, instalada a 10 km da costa na isóбата de 16 m. Segundo a Rede Ondas [97], o equipamento estava em manutenção até 2016.



Tabela 2 – Registro de ondas no Pontal do Paraná

Período de medições	Altura Significativa Média – $H_{sig}$ (m)	Período Médio das ondas – $T_p$ (s)	Direção e sentido médio de propagação das ondas – $D_p$ (°)
Dez. 13	0,8434	7,865	138,3
Jan. 14	0,8224	8,580	130,5
Fev. 14	0,9495	8,678	122,4
Mar. 14	0,8761	8,995	139,2
Abr. 14	1,127	10,34	149,4
Mai. 14	1,040	10,26	147,0
Jun. 14	0,9430	9,056	144,2
Jul. 14	1,078	9,496	140,5
Ago. 14	1,041	11,13	143,8
Set. 14	1,180	8,953	136,9
Out. 14	1,053	8,344	131,5
Nov. 14	1,040	7,886	132,2
Dez. 14	1,032	7,620	132,6
Jan. 15	0,9210	8,423	136,9
Fev. 15	1,011	8,184	139,9
Mar. 15	1,027	8,752	149,2
Abr. 15	1,000	8,832	146,0
Mai. 15	1,151	9,768	144,4
Jun. 15	0,932	9,630	139,6
Jul. 15	1,021	8,834	139,2

Fonte: produção do próprio autor, 2016, com base em informações da Rede Ondas [96].

## 4.6 POTENCIAL DE GERAÇÃO

Esta seção visa analisar a partir das informações apresentadas nos capítulos anteriores qual o potencial de geração de energia elétrica a partir das marés e das ondas, tanto próximas do litoral, em baixas profundidades, quanto em profundidades maiores, a algumas dezenas de quilômetros da costa.

### 4.6.1 Mapeamento dos pontos com potencial de geração

A respeito das marés, conforme discutido na seção 3.1.2, as variações que compensem a geração devem ser a partir de 5 m (16,4 ft.) nas barragens, resultando assim em corrente de maré que enche e esvazia com força suficiente para movimentar as turbinas com alguma eficiência. Baseado na Tabela 1 verifica-se que a variação de marés na região norte catarinense é pouco maior que 1 m em condições normais, nas marés astronômicas calculadas pela DHN. Marés meteorológicas e de tempestades elevam um pouco essa média, como as registradas na região de Joinville em outubro de 2016, com picos de até 1,8 m segundo a Defesa Civil de Joinville [98]. Os modelos que trabalham com a corrente marítima, como as cercas de turbinas ou parques de turbinas vistas na seção 3.1.1.2

e 3.1.1.3, respectivamente, poderiam ser considerados em regiões estuárias como o Canal do Linguado na região da BR-280 que cruza o canal, e próximos a Boca da Barra, que se conecta ao Oceano Atlântico, desde que a velocidade mínima de corrente seja de 1,0 m/s ( $\approx 1,94$  nós), segundo Neves [99].

A respeito das ondas em profundidades acima de 40 m, há bastante informação e previsão, acompanhada de dados sobre os ventos, temperatura e pressão sobre a superfície oceânica. Estando a vários quilômetros da costa (*offshore*), as condições da onda são mais estáveis, pois o leito oceânico interfere pouco e a energia é conservada ao passo que ela se propaga pelas ondas, com período de onda mais lento e altura de onda podendo oferecer boas estimativas de geração de energia a partir desta fonte renovável, onde alguns modelos vistos na seção 3.2.1 poderiam ser imaginados nessas áreas.

As ondas nas regiões próximas ao litoral (*nearshore*) contam com profundidades abaixo de 40 m. Estas começam a transformar parte da energia que vem do alto mar em aumento de altura da onda, já que começam a sofrer interferência pela diminuição da profundidade, o que pode ser observado nas informações de batimetria apresentados na seção 4.3, e o período da onda diminui. A altura significativa da onda e o período são fatores que estimam a potência energética da onda, e modelos apresentados na seção 3.2.1.1 e na Figura 22, por exemplo, poderiam ser considerados para este estudo nas regiões de Itapoá, Praia Grande, Praia do Ervino, Balneário Barra do Sul e Barra Velha.

E as ondas que chegam a costa (*shoreline*) podem ser consideradas em aplicações como as vistas na seção 3.3.2 na Figura 20 e Figura 21 em regiões como o Costão da Enseada e na Praia Grande, pois recebem ondas de boa intensidade. Apesar de a praia do Forte reunir boas ondas em algumas áreas, a proximidade com o canal por onde os navios acessam os portos de São Francisco do Sul e de Itapoá dificultam o emprego de algum projeto, mas modelos como o da Figura 12 ou Figura 15 poderiam ser cogitados. O modelo da Figura 15 também pode ser avaliado para a região da Boca da Barra, no Balneário Barra do Sul, pois lá há molhe de pedras para manter as características da saída do canal, já que recebem ondas com alguma intensidade.

#### 4.6.2 Rendimento aproximado das marés

Relembrando os conceitos de maré, de acordo com Neves [99], a Terra e a Lua são massas que geram forças uma na outra. O movimento da Terra em torno do Sol também interfere nas marés. Se considerado um fragmento com massa  $m_1$  na superfície terrestre, a lei gravitacional de Newton define a força gravitacional como:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad (3)$$

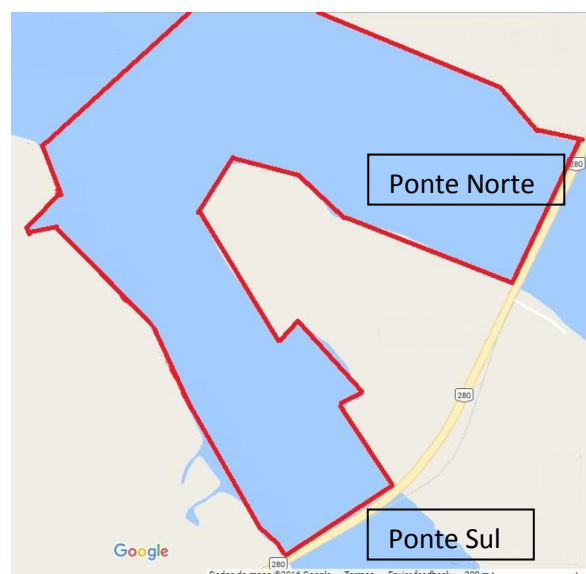
Também segundo Neves [99], se for levado em conta a variação entre a força que atrai a Terra em direção a Lua e a força que promove a rotação do planeta, se consegue a seguinte relação que define a força geradora das marés:

$$\text{Tidal}_{\text{force}} = \frac{2 \cdot G \cdot m \cdot m_1 \cdot a}{R^3} \quad (4)$$

Onde  $G$  = constante gravitacional universal,  $m$  = massa do planeta Terra,  $a$  = raio médio do planeta e  $R$  = distância entre a superfície terrestre e lunar. O afastamento de  $m_1$  do centro terrestre caracteriza a maré alta.

A energia que a maré pode oferecer é do tipo potencial proveniente da variação do nível do mar, e a energia cinética do fluxo das correntes marítimas. Considerando a área indicada na Figura 48, na região do Canal do Linguado, entre os municípios de Araquari, Balneário Barra do Sul e São Francisco do Sul:

Figura 48 – Área represada para estimativa de energia potencial



Fonte: Google Maps [100]

A energia potencial pode ser explorada a partir de retenção de nível de mar para que se converta a energia potencial em elétrica, a partir de turbinas de baixa velocidade, pois se trata de baixas variações de conteúdo represado. Basicamente, o conteúdo de energia disponível depende do volume de água. Estimando o uso de usina na ponte sul, a área aproximada é de 750.000 m<sup>2</sup>. Se for considerada a maior média de variação de maré da Tabela 1 (h=1,18 m), o volume é:

$$\begin{aligned} V &= A \cdot h & (5) \\ V &= (750.000) \cdot (1,18) \\ V &= 885.000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

A densidade da água do mar é aproximadamente  $\rho=1.025 \text{ kg/m}^3$  e  $g=9,81 \text{ m/s}^2$ . A energia potencial será:

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} \cdot V \cdot \rho \cdot g \cdot h & (6) \\ E &= \frac{1}{2} (885.000) \cdot (1.025) \cdot (9,81) \cdot (1,18) \\ E &= 52,5 \times 10^8 \text{ J} \end{aligned}$$

Segundo o portal *Hydropower* [101], o termo  $\frac{1}{2}$  da equação avalia o esvaziamento da área represada. Considerando que há duas marés altas e duas marés baixas por dia, uma vez que na maré baixa o potencial energético é zero, nas marés altas o potencial energético por dia ( $E_{\text{dia}}$ ) será:

$$\begin{aligned} E_{\text{dia}} &= 2 \cdot E & (7) \\ E_{\text{dia}} &= 2 \cdot (52,5 \times 10^8) \\ E_{\text{dia}} &= 105 \times 10^8 \text{ J} \end{aligned}$$

Logo, o potencial médio de geração ( $P_{\text{ger\_med}}$ ) de energia fica:

$$\begin{aligned} P_{\text{ger\_med}} &= \frac{E_{\text{dia}}}{t_{\text{dia}}} & (8) \\ P_{\text{ger\_med}} &= \frac{105 \times 10^8}{(24) \cdot (60) \cdot (60)} \\ P_{\text{ger\_med}} &= \frac{105 \times 10^8}{86.400} \\ P_{\text{ger\_med}} &= 121,5 \text{ kW} \end{aligned}$$

E considerando que a eficiência de conversão de energia seja de 30%, de acordo com o portal *Hydropower* [101], a potência média gerada no Canal do Linguado seria:

$$P = P_{ger\_med} * 0,3 \quad (9)$$

$$P = 36,5 \text{ kW}$$

Esse valor não atinge 10% do que inicialmente produziu a Usina Hidrelétrica do Pirai em Joinville/SC, em 1908, quando começou produzindo energia elétrica a partir de uma potência instalada de 400 kW, como visto na seção 2.3. Segundo Guilherme [102], alguns tipos de turbina a fio d'água são do tipo *Kaplan*, *Bulbo*, *Propeller*, *Tubulares* e *Straflo*, mas onde as dimensões de queda d'água são na faixa de 15-25 m. Comercialmente, a empresa chinesa *Xin Yi Hydro* [103] têm turbinas do tipo *Kaplan* com potencial de geração entre 10 kW e 50 kW, segundo o portal da empresa.

A energia cinética funciona de forma equivalente a uma estrutura eólica, salvo que as estruturas ficam debaixo da água e as correntes marítimas movem as pás da turbina ao invés dos ventos. Contudo, informações mais detalhadas desta forma de geração levam a poucas literaturas que expressem o comportamento físico destas plantas, tanto em relação a dados coletados como a tecnologia envolvida, que se encontra em fase de desenvolvimento e dificultando maiores conclusões.

#### 4.6.3 Rendimento aproximado das ondas

Segundo apresentado pela Rede Ondas [95], as informações consideradas básicas para entendimento das condições do mar, e que condicionam a uma estimativa de potência das ondas, são os parâmetros de direção, da altura significativa e do período das ondas.

A direção do mar indica de onde as ondas vêm. As ondas nem sempre vem da mesma direção, mas costuma haver uma direção de origem para onde as ondas apontam. A altura das ondas é variada, já que os ventos atuam de forma irregular sobre a superfície da água, sendo a altura definida como a variação vertical entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo. A altura significativa (*Hsig*) representa o estado do mar, e é obtida pelas médias de 33% das maiores ondas aferidas. Isto é, tendo uma bateria de 60 medições, se pega as 20 maiores ondas e se obtém a média,

sendo este o valor significativo da altura das ondas. E o período se refere ao pico de maior energia do espectro direcional.

O CPTEC/INPE se baseia no sistema SIMcos, que mostra os conceitos do grau de potencial das ondas. Segundo *Holthuijsen (2007), apud CPTEC/INPE [104]*, a energia total (cinética + potencial) por área de unidade horizontal é:

$$E_{\text{total}} = \rho \cdot g \cdot m_0^2 \quad (10)$$

Onde  $\rho$  é a densidade,  $g$  a aceleração gravitacional, e  $m_0$  é o momento inicial, que é retirado do  $n$ -ésimo momento definido por:

$$m_n = \int_0^\infty f^n E(f) df, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (11)$$

Com:

$$E(f) = \int_0^{2\pi} E(f, \theta) d\theta \quad (12)$$

Representando o espectro de frequência unidimensional a partir do espectro de densidade de variância  $E(f, \theta)$ , onde  $f \approx 1/T$  é a frequência,  $T$  o período, e  $\theta$  a direção de propagação da componente espectral  $E(f, \theta)$ . A altura significativa das ondas  $H_{sig}$  é dada por  $H_{sig} = 4 m_0^{1/2}$ . O fluxo de energia por unidade de comprimento, ou a potência das ondas  $P$ , é:

$$P = \rho g \int_0^\infty c_g(f) E(f) df \quad (13)$$

Onde  $c_g = \frac{g}{4\pi f}$  é a velocidade do grupo de ondas, o que reduz a potência das ondas para:

$$P = \rho g^2 \int_0^\infty \frac{E(f)}{f} df \quad (14)$$

Definindo o período médio  $T_a \approx \frac{1}{f_a}$ :

$$T_a \approx \frac{m_{-1}}{m_0} = \frac{\int_0^\infty f^{-1} E(f) df}{\int_0^\infty E(f) df} \quad (15)$$

A potência da onda torna-se:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} (H_{sig}^2) T_a \quad (16)$$

A potência  $P$  em kW/m das ondas próximas as costa fica expressa como aproximadamente:

$$P \approx 0,5(H_{sig})^2 T_a \quad (17)$$

Com base na Tabela 2 pode se dimensionar a potência média aproximada das ondas, conforme apresentado na Tabela 3:

Tabela 3 – Potência média das ondas no Pontal do Paraná

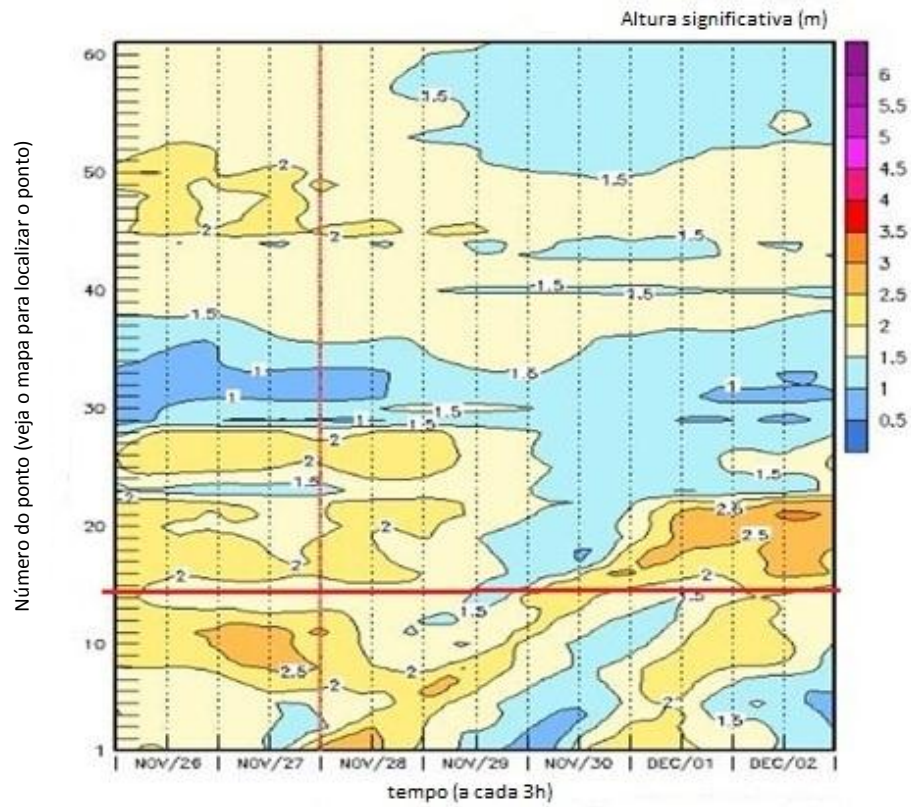
Período de medições	Potência média das ondas (kW/m)
<b>Dez. 13</b>	<b>2,8</b>
<b>Jan. 14</b>	<b>2,9</b>
Fev. 14	4,0
Mar. 14	3,5
<b>Abr. 14</b>	<b>6,6</b>
Mai. 14	5,6
Jun. 14	4,0
Jul. 14	5,5
Ago. 14	6,0
Set. 14	6,2
Out. 14	4,6
Nov. 14	4,3
Dez. 14	4,1
Jan. 15	3,6
Fev. 15	4,2
Mar. 15	4,6
Abr. 15	4,4
<b>Mai. 15</b>	<b>6,5</b>
Jun. 15	4,2
Jul. 15	4,6

Fonte: produção do próprio autor, 2016

Os baixos valores se justificam pela aproximação das ondas com a costa e a maior interferência do leito marinho. Em profundidades maiores, a altura significativa é maior, conforme mostrado na Figura 49, próximo de 2 m. Sobre isso, seguem estimativas de potencial gerador no período de 26 de novembro a 02 de dezembro de 2016, com informações obtidas no CPTEC – SIMcos.

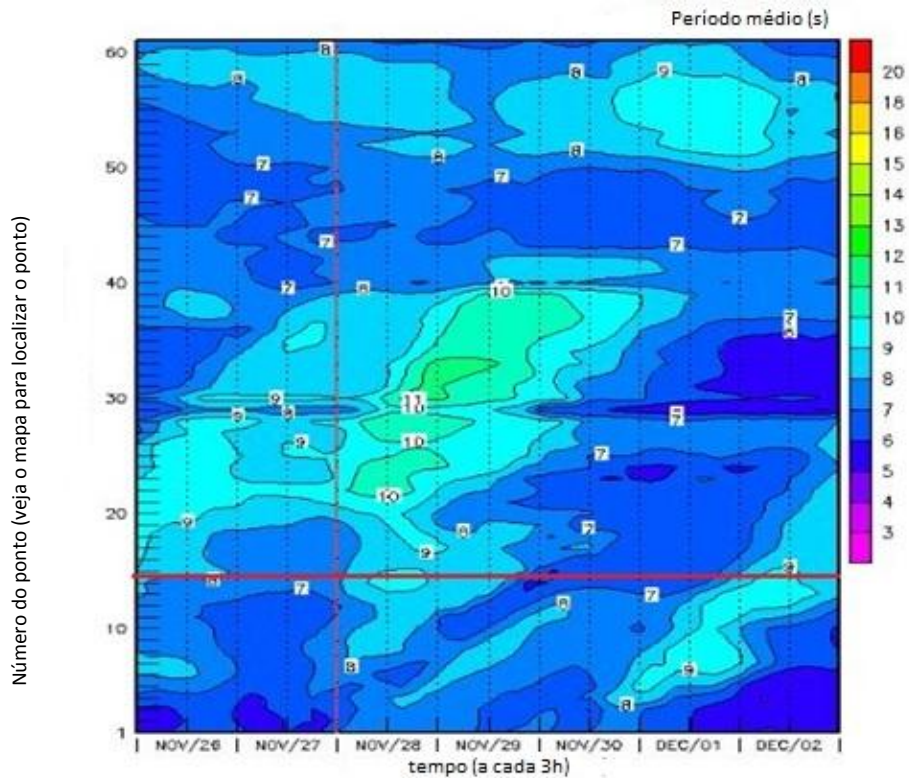


Figura 49 – Altura significativa no litoral norte catarinense



Fonte: CPTEC/INPE [92]

Figura 50 – Período médio das ondas no litoral norte catarinense



Fonte: CPTEC/INPE [92]

A linha vermelha na horizontal vista na Figura 50 entre os pontos 14 e 15 do sistema SIMcos indicam aproximadamente a região ao norte de Santa Catarina e o comportamento das ondas em altura significativa e o seu período. A Tabela 4 relaciona estas informações, levando a potência de ondas presumida.

Tabela 4 – Potência média estimada das ondas no litoral norte catarinense

	$H_{sig}$ (m)	$T_a$ (s)	$P$ (kW/m)
26 nov. 2016	2,125	8,000	18,10
27 nov. 2016	2,000	8,000	16,00
28 nov. 2016	2,000	9,500	<b>19,00</b>
29 nov. 2016	1,750	8,750	13,40
30 nov. 2016	2,000	7,000	14,00
01 dez. 2016	1,500	7,500	8,440
02 dez. 2016	1,750	9,250	14,20

Fonte: produção do próprio autor, 2016

Os valores obtidos se aproximam do valor esperado para a região, visto na Figura 11, com a potência média das ondas no período apresentado de 14,7 kW/m.

#### 4.6.4 Qual fonte oferece maior potencial nesta região

Tendo em vista o que foi apresentado na seção 4.6.2, projetos que visam energia da maré no local estudado não se mostram viáveis atualmente, pois a tecnologia disponível para conversão da energia potencial em elétrica carece de algumas condições mínimas, como pelo menos 5 m de variação entre maré alta e maré baixa, que a região não entrega. Sobre as correntes de marés, onde se pode converter a energia cinética em elétrica, a literatura e o acesso à informação ainda está em fase de desenvolvimento, pois se trata de tecnologia em fase experimental.

Sobre as ondas o cenário é mais otimista. A área disponível para estudo é mais ampla e existem tecnologias que podem aproveitar de forma pontual e talvez em escala comercial a energia ondomotriz, em todas as faixas de mar (*shoreline*, *nearshore* e *offshore*), conforme estimado nas condições mostradas na seção 4.6.3.

## 4.7 COLETA DE DADOS EPAGRI/CIRAM

A partir de informações solicitadas ao Epagri/Ciram por meio de ficha de solicitação de dados (apêndice A), é proposto analisar os registros históricos feitos por equipamentos funcionais e calibrados a respeito das seguintes condições marítimas:

- Ondas incidentes no litoral de estudo;
- Índice de marés na mesma região;
- Dados de velocidade das correntes marítimas.

Estas informações aplicadas no contexto do estudo podem oferecer aproximações mais verdadeiras a respeito dos potenciais energéticos buscados.

### 4.7.1 Históricos da altura e período das ondas

Foi solicitado ao centro de informações dados históricos referentes à altura média das ondas, em metros, e o período médio das ondas, em segundos, nas regiões de Itapoá, São Francisco do Sul, Balneário Barra do Sul e Barra Velha. Infelizmente, não há registros destas informações no banco de dados do centro.

Desta forma, até 2017 a forma de estimar estes dados é através do serviço “Previsão para o Mar”, no site do Epagri/Ciram, que oferecem estimativas de direção e altura das ondas, período médio das ondas e ventos, num intervalo de cinco dias, na faixa de mar com profundidade superior a 40 m, visto na seção 4.4. Outra maneira de se obter as previsões de altura significativa e período de ondas são através de modelagem numérica WWatch III, conseguido pelo Sistema de Previsão de Ondas e Monitoramento Costeiro ATLASUL, apresentado na seção 4.5.

### 4.7.2 Históricos das marés

Foi solicitado ao centro de informações dados históricos referentes à altura média das marés nas regiões de Itapoá, São Francisco do Sul, Balneário Barra do Sul e Barra Velha. Foi disponibilizado documento com 475 páginas do histórico das alturas das marés, em centímetros, nas regiões de Itapoá e São Francisco do Sul, em três postos de aferição, no período de 11/06/2014 a 25/04/2017, medidos de 1 em 1 h. Um fragmento deste documento pode ser visto no apêndice B.

Na seção 4.4 foi apresentada a Tabela 1, com a média das marés altas e baixas no período de 01/01/2011 a 31/12/2015 a partir de dados disponibilizado pelo DHN. Para efeito de comparação com os dados disponibilizados pelo Epagri, tomaram-se os registros do posto de Itapoá (2903) para obter as médias das alturas das marés dentro de um mesmo período citado como base para a Tabela 1, que segue na Tabela 5 a seguir. O período onde os dados registrados pelos dois centros de informação estão disponíveis e podem ser comparados são de 11/06/2014 a 31/12/2015.

Esta tabela segue as mesmas atribuições das consideradas na Tabela 1, a qual foi elaborada a partir de cinco dias escolhidos de cada mês (1°, 8, 15, 22, 29), com a média mensal das marés altas (MA) e marés baixas (MB).

Tabela 5 – Média das marés na região portuária de São Francisco do Sul segundo Epagri/Ciram

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)	MA/ MB (m)
2014	---/---	---/---	---/---	---/---	---/---	1,55/ 0,29	1,45/ 0,18	1,50/ 0,16	1,45/ 0,21	1,40/ 0,27	1,45/ 0,32	1,38/ 0,33
2015	1,59/ 0,37	1,55/ 0,28	1,57/ 0,36	1,59/ 0,32	1,42/ 0,17	1,51/ 0,26	1,56/ 0,23	1,36/ 0,00	1,64/ 0,24	1,49/ 0,10	1,51/ 0,31	1,47/ 0,15
<b>Média</b>	1,59/ 0,37	1,55/ 0,28	1,57/ 0,36	1,59/ 0,32	1,42/ 0,17	1,53/ 0,28	1,51/ 0,21	<b>1,43/ 0,08</b>	1,55/ 0,22	1,44/ 0,18	<b>1,48/ 0,32</b>	1,42/ 0,24
<b><math>\Delta h(m)</math></b>	1,22	1,27	1,21	1,27	1,25	1,25	1,30	<b>1,35</b>	1,33	1,26	<b>1,16</b>	1,18

Fonte: produção do próprio autor, baseado em informações disponíveis pelo EPAGRI/CIRAM (2017)

Tendo como referência a região do canal do Linguado, pode se quantificar novamente a energia possivelmente obtida dentro da área simulada, conforme apresentado na Figura 48, mas com dados da maior variação de maré da Tabela 5.

Se a área sugerida é de aproximadamente 750.000 m<sup>2</sup>, então o volume de massa líquida, segundo a equação 5 é de 1.012.500 m<sup>3</sup>. A densidade da água do mar é aproximadamente  $\rho=1.025 \text{ kg/m}^3$  e  $g=9,81 \text{ m/s}^2$ . A energia potencial, com base na equação 6, fica em torno de  $68,7 \times 10^8 \text{ J}$ .

Considerando que há duas marés altas e duas marés baixas por dia, uma vez que na maré baixa o potencial energético é zero, nas marés altas o potencial energético por dia será de  $137,4 \times 10^8 \text{ J}$ , de acordo com a equação 7.

Conforme a expressão 8, o potencial médio de geração de energia é de aproximadamente 159,1 kW. E considerando que a eficiência de conversão de

energia seja de 30%, a energia média gerada no Canal do Linguado seria, de acordo com a equação 9, de 47,7 kW.

Assim, nota-se que a energia gerada baseado na maior altura de maré com os dados do Epagri/Ciram fica aproximadamente 30% acima do que foi calculado a partir das informações do DHN, que foi de 36,5 kW. Mesmo assim, ainda seria uma geração de energia muito baixa, diante do grau de investimento para viabilizar um projeto de usina maremotriz.

#### **4.7.3 Informações de corrente marítima**

Também foi solicitado ao centro de informações dados referentes às correntes marítimas, em metros por segundo, na região do Canal do Linguado, entre as cidades de Araquari e de São Francisco do Sul, e também na região conhecida como Boca da Barra, no Balneário Barra do Sul. Não há registros destas informações no banco de dados do centro e nem modelos matemáticos disponíveis no site do centro similar aos sistemas de informações citadas anteriormente (Litoral On-line, por exemplo), a fim de estimar estas velocidades.

## 5 CARACTERIZAÇÃO E ESCOLHA DE UNIDADE GERADORA

Tendo em vista todas as informações obtidas ao longo da pesquisa, modelos próximos à costa como as apresentadas na Figura 12 e Figura 22 são produtos atrativos, mas há de se levar em conta as questões de navegação e pesca extrativista e a transmissão dessa energia até o continente, cujo acesso físico as áreas são mais severas. Um modelo de usina geradora de energia a partir das ondas do mar que contém um perfil com pontos favoráveis ao estudo é a do tipo coluna de água oscilante (OWC), apresentada na seção 3.2.1.2. Esta estrutura se caracteriza por ser aplicada de forma fixa na costa, aproveitando a incidência de ventos locais, perfil mais rochoso e pouco acessível, ou que o ambiente não ofereça espaço recreativo, além de ser um modelo que praticamente não depende do nível de marés para seu funcionamento, já que a estrutura em contato com o mar vai aproveitar especialmente as características de altura e período das ondas.

As vantagens envolvem ser uma estrutura que em quase totalidade fica fora do mar, tanto a parte de construção civil como a parte elétrica e de eletrônica dos condutores e do gerador, tornando assim a manutenção periódica menos onerosa. Normalmente está próxima das unidades consumidoras, resultando assim em linhas de transmissão de curta distância. Também não é o tipo de estrutura que contribui na poluição visual ou sonora da região de forma significativa, já que o ambiente marinho conta com a incidência de ondas e ventos, um ambiente naturalmente ruidoso. E os impactos ambientais de fauna e flora tendem a ser baixos, já que a área ocupada por estas plantas geradoras é relativamente pequena.

As desvantagens decorrem de que ainda assim todos os dispositivos envolvidos estão expostos ao ambiente agressivo do litoral, necessitando equipamento e estrutura reforçada, de modo que suporte reações mais severas do ambiente em que estará exposto. As condições tempestuosas não favorecem esse tipo de usina. Também ainda não há um modelo comercialmente difundido para este tipo de usina geradora, resultando em necessidade de estudos de configurações apropriadas para cada região de interesse, tanto na parte estrutural como na de eletrônica de potência.

As usinas CAO da Ilha do Pico (Portugal) e a localizada na região de *Islay* (Reino Unido) servem de referência de estudo neste caso. O modelo comercial de 500 kW empregado com turbina *Wells* em *Islay LIMPET* é apresentado na Figura 51.

Figura 51 – Central de ondas *Islay LIMPET*

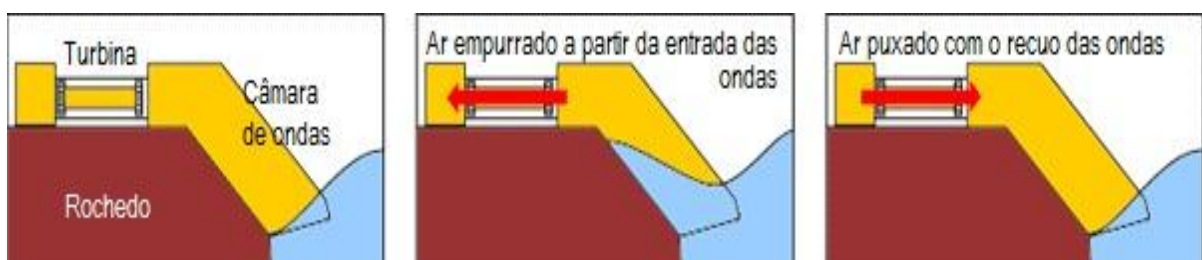


Fonte: *Geograph* [105]

### 5.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UMA USINA CAO

Como visto na seção 3.2.1.2, uma usina do tipo CAO envolve basicamente uma estrutura construída de concreto, de forma que constitua uma câmara de ar, com duas aberturas. Uma delas fica imersa na água, e as ondas que quebram sobre a estrutura movimentam internamente a coluna de ar. A outra abertura atua na despressurização da câmara, contando com turbina que se movimenta pela ação do fluxo do ar, e nela acoplada um gerador elétrico, como mostrado na Figura 52.

Figura 52 – Modelo de estrutura de usina CAO

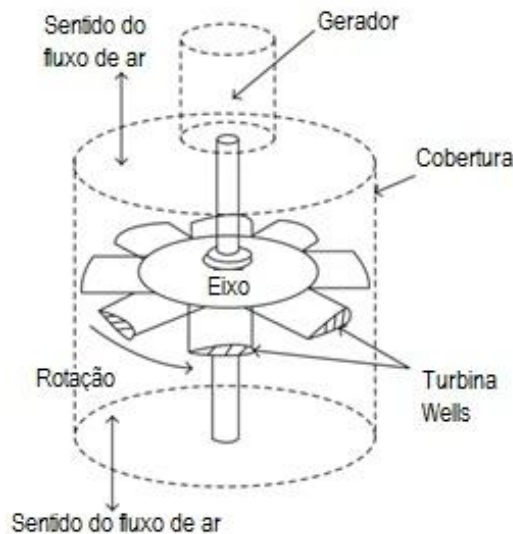


Fonte: *Fujita Research* [106]



Há movimento de ar em ambos os sentidos sobre a turbina. E por haver esta condição, foi desenvolvida a turbina *Wells* pelo engenheiro estrutural britânico Alan Arthur Wells, que é capaz de manter o mesmo sentido de rotação independente do sentido de fluxo do ar, permitindo assim que seja o ar empurrado ou sugado pela turbina, através do movimento das ondas na câmara, haja produção de energia elétrica. A Figura 53 traz um esboço deste tipo de turbina.

Figura 53 – Esboço de turbina tipo *Wells*



Fonte: *Research Gate* [107]

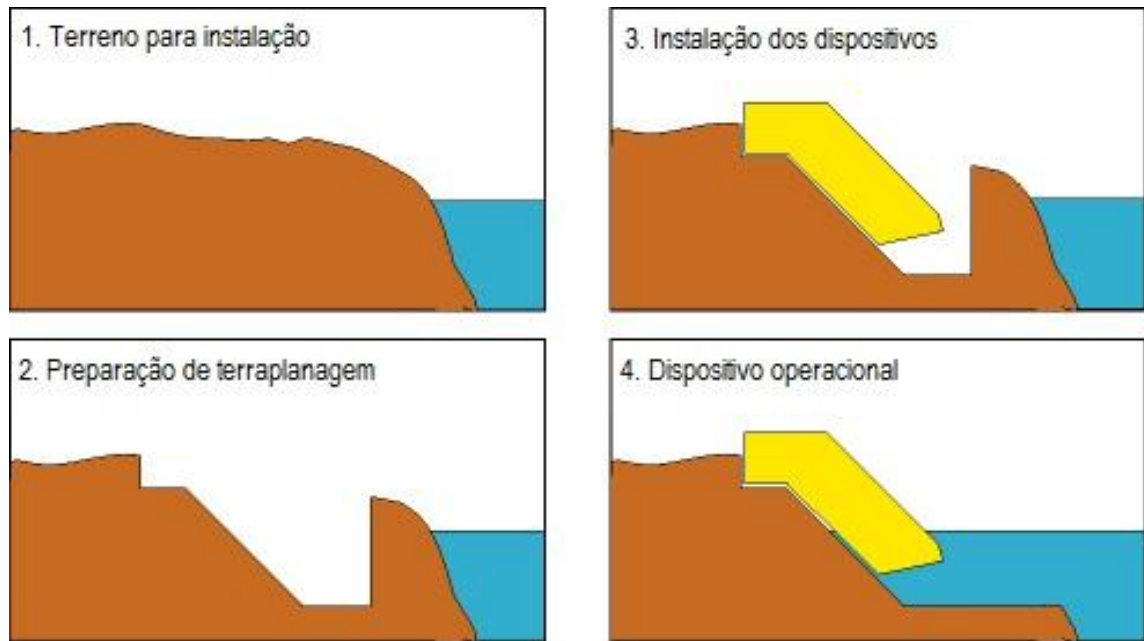
Segundo dados publicados sobre as turbinas *Wells* na Wikipédia [108], as pás têm desenho aerodinâmico simétrico, cujo plano de simetria no espaço de rotação fica em  $90^\circ$  em relação a corrente de ar. Entretanto, a eficiência acaba sendo menor do que uma turbina com fluxo de ar unidirecional e pás assimétricas, pois o coeficiente de atrito com o ar se tornar maior. Estima-se uma faixa de eficiência entre 40% e 70%, dependendo do ângulo de ação sobre as pás da turbina.

Há em estudo, segundo *Jayashankar apud Vecchia* [109] outras configurações de turbina e de outras estruturas de coluna de água, visando principalmente melhorias de eficiência e aproveitamento da energia mecânica das ondas, com modelagem de estruturas em formatos angulados para que haja maior resistência à incidência das ondas.

## 5.2 CONSTRUÇÃO DE UMA USINA CAO

O modo de realizar a construção deste tipo de usina é ilustrado na Figura 54, cujas condições e etapas são detalhadas a seguir.

Figura 54 – Etapas de instalação de uma usina CAO



Fonte: *Fujita Research* [110]

- Terreno de utilização para este projeto deve ser em região rochosa da costa, exposta aos ventos e ao mar;
- Se possível, é interessante aproveitar o perfil rochoso da área da costa escolhida para criar uma espécie de dique temporário, entre a estrutura e o mar, de modo que se tenha espaço de trabalho protegido na área da quebra das ondas;
- Preparação das bases dos dispositivos da usina geradora;
- Construção da câmara de concreto e aço e equipamentos pertencentes à parte de geração elétrica;
- Remoção da parcela rochosa do dique temporário e colocação do sistema de geração em operação.

### 5.3 APROXIMAÇÃO MATEMÁTICA

A projeção operacional de um sistema CAO segundo *Heath* [111] dependerá do projeto da turbina e do sistema de controle de potência, que deverá se adequar ao tipo de câmara coletora das ondas, para um rendimento ótimo de todo o conjunto, pois o potencial de geração depende do modo de aproveitamento da potência mecânica e que resultará, conseqüentemente, na potência elétrica gerada.

O fluxo de potência pneumático é medido pelo produto da pressão da câmara com o fluxo através da turbina. A energia elétrica produzida é aferida na saída do gerador pelo conversor de potência. Sendo este modelo pneumático similar aos sistemas eólicos, segundo [112] a Lei de *Betz* aponta que haveria eficiência de 59% na conversão do fluxo de ar em energia. Esse percentual poderia ser conseguido uma vez que o perfil de mar seja do tipo calmo a moderado, e que a incidência de ondas seja regular e constante.

Mas este percentual não representa a energia efetivamente obtida das ondas. Deve se considerar também que parte da energia da onda que vem de águas profundas vai sendo gradativamente convertida em altura de onda, conforme se aproxima da costa e há perdas envolvidas, como nas direções de propagação de ondas, sobreposição e características do fundo do mar.

Via de regra, a energia da onda é mensurada em kW/m de crista de onda. Portanto, sendo feita uma análise do potencial de ondas na região de investigação, cuja proposta e pressupostos sejam semelhantes ao de projetos empregados comercialmente, pode se avaliar o potencial de geração em estudo de caso.

Se for tomada como referência a usina de ondas de *Islay LIMPET*, onde a câmara de captura de ondas é de 21 m, de acordo com [112] 49% da energia das ondas foram convertidas em energia elétrica na saída do turbogerador.

### 5.4 ESTUDO DE CASO: USINA CAO NO COSTÃO DA ENSEADA

A região do Costão da Enseada, na ilha de São Francisco do Sul foi apresentada na seção 4.1, Figura 28. Dentre as opções disponíveis e verificadas neste estudo, ela reúne diversas características favoráveis:

- Acesso ao local de estudo;
- Perfil do local é rochoso, com boa incidência de ventos e ondas do mar;

- Localizado em local de pouco acesso, mas grau alto de riscos a segurança de pessoas nas condições naturais, segundo o Jornal A Notícia [113];
- Baixo impacto visual e sonoro;
- Proximidade das unidades consumidoras;
- Impacto ambiental pode ser considerado baixo;
- Aproximadamente 1,7 km de costão recebem as ondas nas condições citadas anteriormente.

A Figura 55 e Figura 56 destacam os detalhes desta região.

Figura 55 – Região do Costão da Enseada



Fonte: Ed Menghetti [114]

Figura 56 – Imagem da região do Costão da Enseada



Fonte: Youtube [115]

No endereço eletrônico do Epagri, são oferecidos os serviços de “Previsão para o mar” e “Litoral On-line”, vistos na seção 4.4, Figura 40 e Figura 41, respectivamente. Pode se obter dados de monitoramento localizado na Ilha da Paz, a 5 km do Costão da Enseada, e monitoramento de informações meteorológicas localizado em Balneário Barra do Sul, a aproximadamente 30 km da Enseada.

#### 5.4.1 Estimativa do potencial de geração

Serão tomadas como referência dados contidos na Tabela 6, onde estas informações serão aplicadas aos dados estimados para o Costão da Enseada. Optou-se em coletar informações do CPTEC/INPE, embora o Epagri/Ciram [116] também ofereça dados estimados de altura de onda e período.

Tabela 6 – Valores esperados inicialmente na usina CAO *Islay LIMPET*

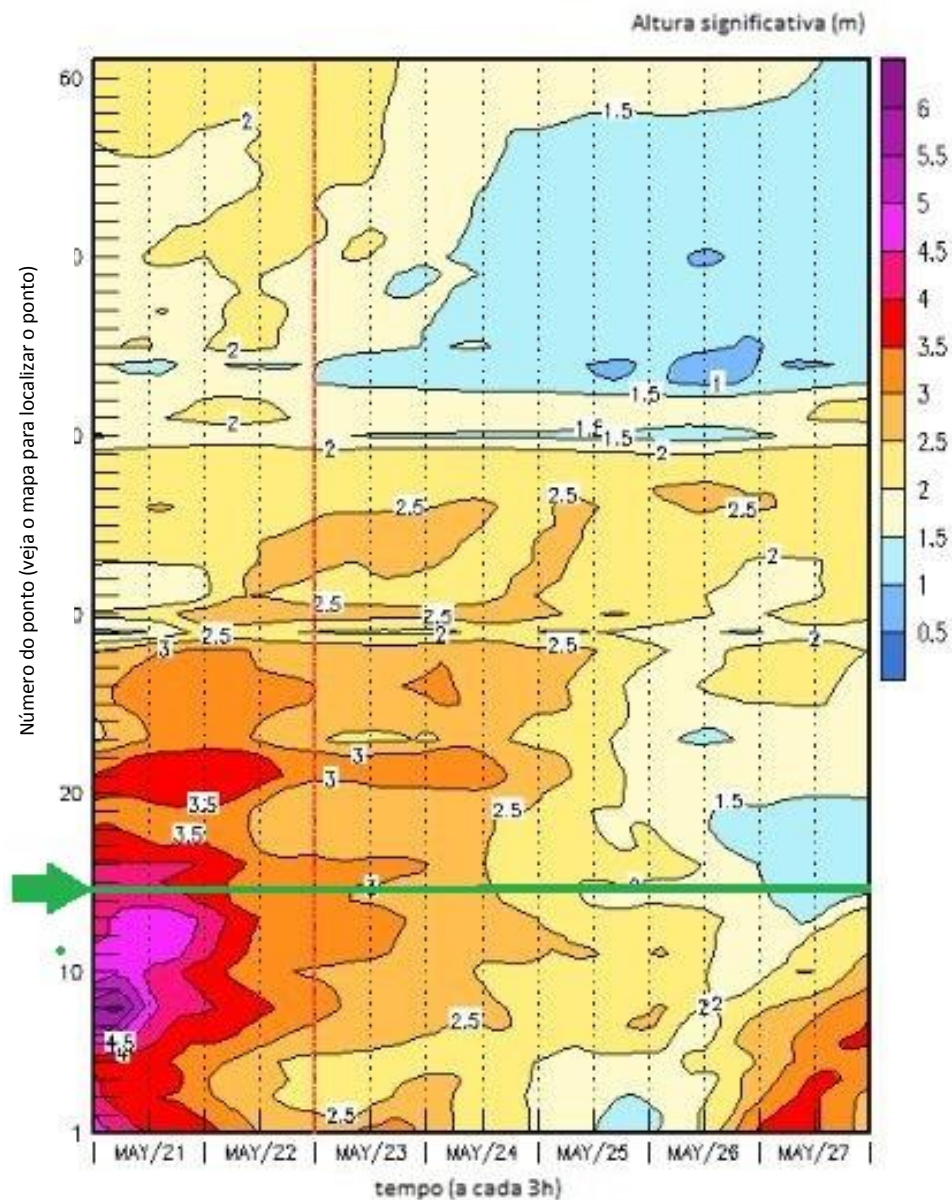
Energia onda (kW/m)	20
Eficiência pneumática (%)	80
Eficiência turbina (%)	60

Fonte: produção do próprio autor, baseado em informações disponíveis por [117]



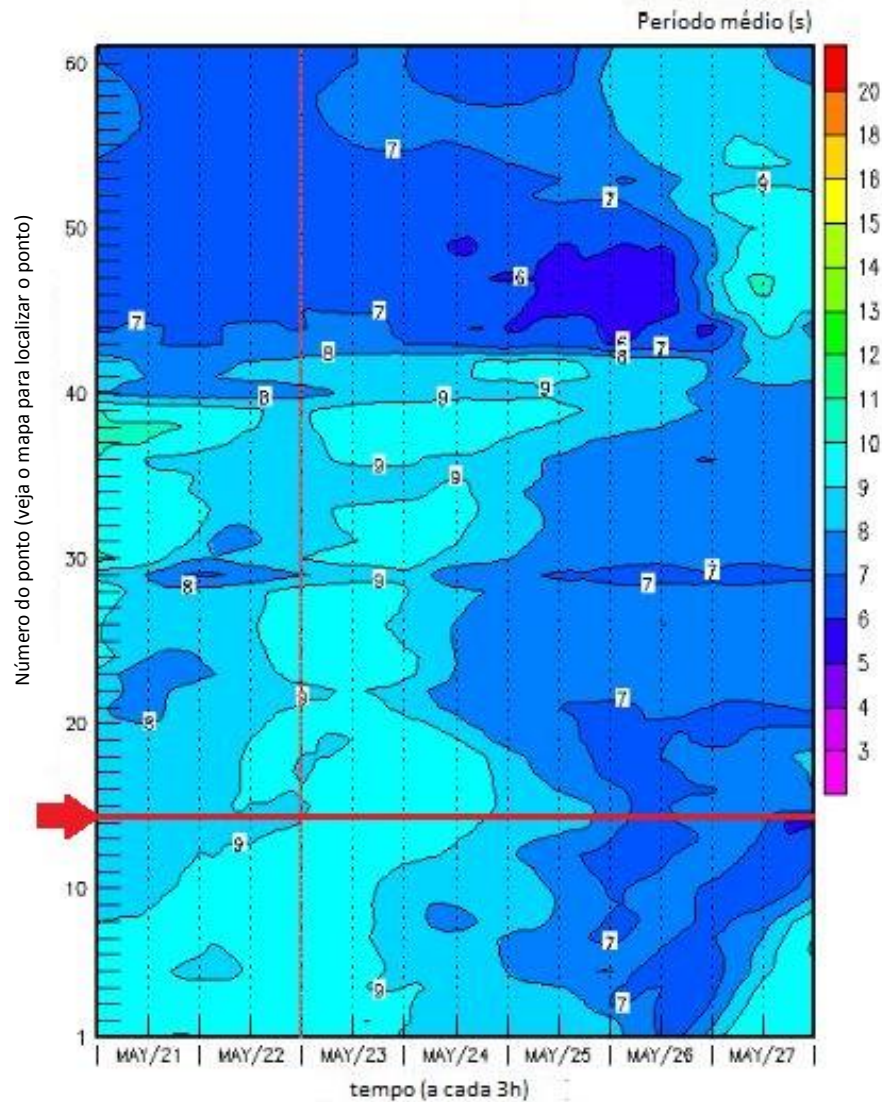
Baseado em informações do CPTEC do sistema de previsão e monitoramento SIMcos [118], a Figura 57 e Figura 58 fornecem a estimativa de altura de ondas ( $H_{sig}$ ) e período ( $T$ ) na região do Costão da Enseada no período de 21/05/2017 a 27/05/2017.

Figura 57 – Altura significativa no litoral próximo ao Costão da Enseada



Fonte: CPTEC/INPE [118]

Figura 58 – Período médio das ondas próximo ao Costão da Enseada



Fonte: CPTEC/INPE[118]

A Tabela 7 relaciona estas informações, levando a potência de ondas presumida, tomando como referência a equação 17.

Tabela 7 – Potência média estimada das ondas próximas ao Costão da Enseada

	$H_{sig}$ (m)	$T_a$ (s)	$P$ (kW/m)
21 mai. 2017	3,875	8,000	60,10
22 mai. 2017	3,125	8,000	39,10
23 mai. 2017	2,700	9,000	32,80
24 mai. 2017	2,300	8,750	23,10
25 mai. 2017	1,700	7,750	11,20
26 mai. 2017	1,500	6,500	7,310
27 mai. 2017	1,000	6,500	3,250

Fonte: produção do próprio autor, 2017



Os valores de potência acima de 30 kW/m se justificam pelo período de ressacas que atingiram a região neste intervalo, como noticiado pelo Jornal A Notícia [119]. Estas estimativas dão amostra de como as condições ambientais nas áreas litorâneas são relevantes para o dimensionamento de materiais e emprego de uma usina de ondas, observando que a potência variou de 3,25 kW/m a 60 kW/m.

Na Tabela 4, a potência média das ondas no período foi de 14,7 kW/m. Na Tabela 7 a potência média das ondas foi de 25,3 kW/m. Para o litoral Sul é estimado uma potência de onda em torno de 20 kW/m, apresentada na Figura 11, um valor aceitável e facilmente verificado pelo resultado das tabelas citadas. Logo, esta potência de 20 kW/m pode ser tomada como base para estimar o potencial energético que atinge a região do costão da Enseada, e também para as outras áreas do Litoral Norte catarinense.

Se considerada a distância 'd' de 1700 m do costão que poderiam ser explorados para instalação de usinas, a potência disponível seria:

$$P_{\text{disponível}} = P_{\text{média}} \times d \quad (18)$$

$$P_{\text{disponível}} = 20 \frac{\text{kW}}{\text{m}} \times 1700 \text{ m}$$

$$P_{\text{disponível}} = \mathbf{34 \text{ MW}}$$

Se considerados o dado da Tabela 6 de eficiência de conversão da energia das ondas em pneumática de 80%:

$$P_{\text{pneum}} = P_{\text{disponível}} \times 0,80 \quad (19)$$

$$P_{\text{pneum}} = 34 \text{ MW} \times 0,80$$

$$P_{\text{pneum}} = \mathbf{27,2 \text{ MW}}$$

E com uma eficiência de aproveitamento na turbina de 60%, a potência estimada para geração de energia em toda a faixa do costão seria de até:

$$P_{\text{geração}} = P_{\text{pneum}} \times 0,60 \quad (20)$$

$$P_{\text{geração}} = 27,2 \text{ MW} \times 0,60$$

$$P_{\text{geração}} = \mathbf{16,3 \text{ MW}}$$

E se for considerado o emprego de uma usina com as mesmas dimensões de *Islay LIMPET*, que aproveita 21 m de crista de onda incidente na câmara:

$$P_{usina} = P_{média} \times 0,80 \times 0,60 \times \text{largura} \quad (21)$$

$$P_{geração} = 20 \frac{\text{kW}}{\text{m}} \times 0,80 \times 0,60 \times 21 \text{ m}$$

$$P_{geração} = \mathbf{201,6 \text{ kW}}$$

A turbina capaz de gerar a potência de 201,6 kW deveria ser, portanto, de pelo menos 400 kW. Se considerado que a usina opere durante 12 h gerando energia, a produção mensal aproximada é de 72,6 MWh/mês, e produção anual estimada de 871,2 MWh/ano. Essa quantidade de energia poderia suprir a energia demandada pelas unidades consumidoras conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Número de unidades consumidoras atendidas por classe

Classe consumidora	Consumo médio catarinense em 2015 (kWh/mês)	Unidades atendidas
Residencial	203,3	357
Comercial	1198	61
Industrial	3495	21

Fonte: produção do próprio autor, baseado no consumo médio apresentado por [120]

Segundo o Portal População [121], em 2010 havia 3.611 domicílios particulares permanentes na região da Enseada. Portanto, aproximadamente 9,9% das residências poderiam ser atendidas pela usina CAO nas dimensões sugeridas.

#### 5.4.2 Impactos ambientais

Esta região é frequentada para pesca esportiva e extração de mariscos de pedra, informado pelo Jornal Noticias do Dia [122] e pelo blog Pescaki [123]. Portanto, se tornaria viável escolher áreas onde as práticas das atividades não sejam de fácil acesso as pessoas. A área do costão não faz parte do Parque Estadual Acaraí, criado em 2005 de acordo com a página eletrônica da Fundação do Meio Ambiente (FATMA) [124] e também não há registro de sambaquis nesta área costeira, mas comuns na região, de modo que não haveria obstrução quanto à intervenção em unidades de conservação.

Sofreria o mínimo de impacto ambiental, pois haveria remoção de material rochoso, cujo ecossistema que depende do conteúdo retirado não é considerado em extinção e o material empregado também não impactaria de forma negativa a região ocupada, observando que o uso de materiais de conservação da planta, como resinas ou tintas deve ser livre de tóxicos, conforme destacado pela Agência Portuguesa do Ambiente [125].

A área é de difícil acesso, tendo assim pouco impacto visual e sonoro. A passagem de cabos ao longo do dispositivo poderia impactar de forma pontual o conteúdo de fauna. A emissão de poluentes seria mais comum ao longo da construção da usina, mas durante o regime de trabalho a emissão seria nula, tendo em vista que se trata de uma fonte limpa de geração de energia.

#### **5.4.3 Impactos sociais**

A proposta para emprego de uma usina neste espaço poderia levar ao desenvolvimento de um local de visitação, tanto de interesse acad mico como de turismo, com a criação de passarelas no entorno da planta de geração e ao longo da área costeira, a fim de manter intacta a natureza presente e a segurança dos frequentadores.

Naturalmente, se tornaria empreendimento gerador de emprego e incentivaria o surgimento de engenheiros com capacidade técnica de análise e execução de projeto de usinas marítimas, assim como poderia servir de campo de estudos para áreas dos cursos de nível superior voltados ao mar, como oceanografia, ciências do mar, engenharia da pesca, entre outros.

Como exemplo, de acordo com o *Wave Energy Centre* [126], foi previsto que a Escócia instalasse em 2010 cerca de 1300 MW em energia das ondas, gerando cerca de 7000 novos postos de trabalho diretos em construção, instalação, operação e serviços. Isto leva a aproximadamente 5,4 operários para cada 1 MW instalado.

#### **5.4.4 Avaliações financeiras**

Projetos de usinas são considerados para atividade econômica plena em longo prazo, na faixa de 20 a 30 anos. Deve haver assim planejamento financeiro acerca do interesse de investimento em empreendimento deste porte, cujos recursos financeiros podem surgir por parcerias entre empresas ou empréstimos.

Segundo Thorpe [127], depois de escolhido o local de aplicação do projeto, avaliam-se os níveis de potencial na região costeira, a disponibilidade e a eficiência de energia capturada, podendo ser estimado potencial anual de geração de energia. Em seguida, é escolhido um modelo de dispositivo de geração de energia a partir das ondas do mar, de modo que se conceba quanto seria a produção real anual.

Por fim, o custo financeiro anual envolve a montagem da planta, atividades complementares (transporte, engenharia empregada, tramites administrativos, entre outros) e os custos de operação e manutenção do projeto. Isso relacionado com a produção real de energia, pode se estimar quanto custaria a energia gerada.

Uma forma de analisar a viabilidade de investimento de um projeto é vislumbrar qual o tempo de retorno do investimento, também conhecido como *payback*. Segundo Prates [128] o *payback* é calculado ao “somar os valores dos fluxos de caixa auferidos, período a período, até que esta soma se iguale ao valor do investimento inicial”. Tem como vantagem ser um modo rápido de verificação de viabilidade financeira, mas não leva em conta o custo de capital da empresa, o fluxo de caixa após o período e não considera a desvalorização monetária ao longo do tempo. Para obter uma estimativa mais tangível pode ser aplicado, ainda de acordo com Prates [128], o *payback* descontado, que “é semelhante ao *payback* simples, mas com o adicional de usar uma taxa de desconto antes de se proceder à soma dos fluxos de caixa. Em geral esta taxa de desconto será a taxa mínima de atratividade (TMA)”. O *payback* descontado é descrito como:

$$VP_{FC_n} = \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad (22)$$

O valor presente no fluxo de caixa no período futuro é o  $VP_{FC_n}$ , já o  $FC_n$  é o fluxo de caixa no período e  $n$  é o período, que pode ser em dia, mês ou ano. Segundo Santos [129], a TMA “é uma taxa de juros em que o investidor espera um retorno pelo menos igual a essa taxa. A TMA é única para cada investidor e não existe fórmula matemática para calculá-la, pois ela pode variar com o tempo”.

Até 2017, não houve registro de empreendimento no litoral brasileiro de uma CAO. Mas pode se tomar como exemplo algumas informações conseguidas no projeto da CAO de *Islay LIMPET*, cuja potência instalada é de 500 kW, para conseguir estimar um período de *payback* em um eventual projeto proposto.

Thorpe [127] diz que o custo de capital desta usina de ondas, que considera estrutura civil, instalação, equipamentos, transmissão de energia e eventualidades foi estimado em 1,16 milhões de libras esterlinas, em 1999. E o custo anual de operação e manutenção (O&M) do sistema, que engloba equipe de manutenção, aluguéis de equipamentos e mão de obra foi estimada no valor de 23 mil libras. Se levado em consideração a inflação acumulada no Reino Unido no período de 2000 até 2017, os valores de O&M e da usina estimados estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9 – Inflação anual Reino Unido e valores estimados até 2017 para a usina

Ano	Taxa acumulada (%)	Custo O&M (£)	Valor da usina de ondas (£)
1999	-	23.000,00	1.160.000,00
2000	2,4	23.552,00	1.187.840,00
2001	2,2	24.070,00	1.213.972,00
2002	2,1	24.576,00	1.239.466,00
2003	1,4	24.920,00	1.256.818,00
2004	1,4	25.269,00	1.274.414,00
2005	2,1	25.799,00	1.301.177,00
2006	3,0	26.573,00	1.340.212,00
2007	2,3	27.184,00	1.371.037,00
2008	3,6	28.163,00	1.420.394,00
2009	2,2	28.782,00	1.451.643,00
2010	3,3	29.732,00	1.499.547,00
2011	4,5	31.070,00	1.567.027,00
2012	2,8	31.940,00	1.610.903,00
2013	2,0	32.579,00	1.643.121,00
2014	1,5	33.068,00	1.667.768,00
2015	0,0	33.068,00	1.667.768,00
2016	0,7	33.299,00	1.679.442,00
2017	2,2	<b>34.032,00</b>	<b>1.716.390,00</b>

Fonte: Produção do próprio autor, com base em [130] e [131]

Considerando que o valor de 1 libra esterlina no dia 08/06/2017 foi cotado a R\$ 4,17 segundo o site Economia UOL [132], a usina custaria em 2017 aproximadamente R\$ 7.157.346,00 e o custo anual de O&M estrangeiro em torno de R\$ 141.913,00.

Para compor esta estimativa na região do costão da Enseada, os dados propostos são apresentados a seguir.

- Produção de energia estimada: 871.200 kWh/ano;
- Prazo de construção: 2 anos;
- Vida útil econômica: 30 anos;
- TMA: 10% ao ano;
- Tarifa eletricidade residencial: 0,43142 R\$/kWh, segundo a Celesc [133];

- Tarifa bandeira vermelha: 0,030 por kWh consumido, segundo a Aneel [134];
- Custo total no primeiro ano de funcionamento: 0,46142 R\$/kWh;
- A cada cinco anos houver aumento do custo total de 0,05 R\$/kWh.

Se a geração de energia do sistema foi estimada em 871.200 kWh/ano, seria possível produzir inicialmente o equivalente a R\$ 401.989,10 em energia ondomotriz ao ano. O custo anual O&M nacionalizado fica estimado em R\$ 28.382,60, se a mão de obra de um profissional estrangeiro custar em média cinco vezes mais, segundo divulgado em 2010 pelo Jornal RMC [135].

Aplicando inicialmente o *payback* simples e promovendo atualização do fluxo de caixa a cada cinco anos, obtém-se a Tabela 10.

Tabela 10 – *Payback* simples estimado do sistema de geração

Anos	Investimento (R\$)	Custo O&M (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)	<i>Payback</i> (R\$)
1	-3.578.673,00	0,00	-3.578.673,00	-3.578.673,00
2	-3.578.673,00	0,00	-7.157.346,00	-7.157.346,00
3		-28.382,60	401.989,10	-6.783.739,50
4		-28.382,60	401.989,10	-6.410.133,00
5		-28.382,60	401.989,10	-6.036.526,50
6		-28.382,60	445.549,10	-5.619.360,00
7		-28.382,60	445.549,10	-5.202.193,50
8		-28.382,60	445.549,10	-4.785.027,00
9		-28.382,60	445.549,10	-4.367.860,50
10		-28.382,60	445.549,10	-3.950.694,00
11		-28.382,60	489.109,10	-3.489.967,50
12		-28.382,60	489.109,10	-3.029.241,00
13		-28.382,60	489.109,10	-2.568.514,50
14		-28.382,60	489.109,10	-2.107.788,00
15		-28.382,60	489.109,10	-1.647.061,50
16		-28.382,60	532.669,10	-1.142.775,00
17		-28.382,60	532.669,10	-638.488,50
18		-28.382,60	532.669,10	-134.202,00
19		-28.382,60	532.669,10	<b>370.084,50</b>
20		-28.382,60	532.669,10	<b>874.371,00</b>
21		-28.382,60	576.229,10	<b>1.422.217,50</b>
22		-28.382,60	576.229,10	<b>1.970.064,00</b>
23		-28.382,60	576.229,10	<b>2.517.910,50</b>
24		-28.382,60	576.229,10	<b>3.065.757,00</b>
25		-28.382,60	576.229,10	<b>3.613.603,50</b>
26		-28.382,60	619.789,10	<b>4.205.010,00</b>
27		-28.382,60	619.789,10	<b>4.796.416,50</b>
28		-28.382,60	619.789,10	<b>5.387.823,00</b>
29		-28.382,60	619.789,10	<b>5.979.229,50</b>
30		-28.382,60	619.789,10	<b>6.570.636,00</b>

Fonte: produção do próprio autor, 2017

No caso da análise pelo *payback* simples, haveria retorno do investimento após 18 anos. A partir de então a usina estaria sendo viável economicamente, com

previsão de lucro. Mas como apresentado anteriormente, esta é uma análise mais superficial e exclui muitas variáveis relevantes. Por se tratar de um projeto em longo prazo, o valor de tarifas cobradas e a depreciação da unidade geradora têm relevância nos custos anuais de operação.

Aplicando a equação 22 sobre o *payback* descontado para analisar o tempo de recuperação do investimento inicial, a Tabela 11 indica essa estimativa.

Tabela 11 – *Payback* descontado estimado do sistema de geração

Anos	Investimento (R\$)	Custo O&M (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo de Caixa descontado (R\$)	Custo O&M descontado (R\$)	<i>Payback</i> descontado (R\$)
1	-3.578.673,00	0,00	-3.578.673,00	-3.578.673,00	0,00	-3.578.673,00
2	-3.578.673,00	0,00	-7.157.346,00	-7.157.346,00	0,00	-7.157.346,00
3		-28.382,60	401.989,10	365.444,63	-25.802,00	-6.817.703,73
4		-28.382,60	401.989,10	332.222,39	-23.457,00	-6.508.938,02
5		-28.382,60	401.989,10	302.020,36	-21.324,00	-6.228.241,93
6		-28.382,60	445.549,10	304.316,03	-19.386,00	-5.943.311,60
7		-28.382,60	445.549,10	276.650,93	-17.623,00	-5.684.284,02
8		-28.382,60	445.549,10	251.500,85	-16.021,00	-5.448.804,41
9		-28.382,60	445.549,10	228.637,13	-14.565,00	-5.234.732,03
10		-28.382,60	445.549,10	207.851,94	-13.241,00	-5.040.120,78
11		-28.382,60	489.109,10	207.430,00	-12.037,00	-4.844.727,77
12		-28.382,60	489.109,10	188.572,73	-10.943,00	-4.667.097,76
13		-28.382,60	489.109,10	171.429,75	-9.948,00	-4.505.615,93
14		-28.382,60	489.109,10	155.845,23	-9.044,00	-4.358.814,27
15		-28.382,60	489.109,10	141.677,48	-8.221,00	-4.225.358,22
16		-28.382,60	532.669,10	140.268,42	-7.474,00	-4.092.563,82
17		-28.382,60	532.669,10	127.516,74	-6.795,00	-3.971.841,64
18		-28.382,60	532.669,10	115.924,31	-6.177,00	-3.862.094,21
19		-28.382,60	532.669,10	105.385,74	-5.615,00	-3.762.323,81
20		-28.382,60	532.669,10	95.805,21	-5.105,00	-3.671.623,45
21		-28.382,60	576.229,10	94.218,06	-4.641,00	-3.582.046,17
22		-28.382,60	576.229,10	85.652,78	-4.219,00	-3.500.612,28
23		-28.382,60	576.229,10	77.866,16	-3.835,00	-3.426.581,47
24		-28.382,60	576.229,10	70.787,42	-3.487,00	-3.359.280,73
25		-28.382,60	576.229,10	64.352,20	-3.170,00	-3.298.098,24
26		-28.382,60	619.789,10	62.924,45	-2.882,00	-3.238.055,35
27		-28.382,60	619.789,10	57.204,05	-2.620,00	-3.183.470,89
28		-28.382,60	619.789,10	52.003,68	-2.381,00	-3.133.848,66
29		-28.382,60	619.789,10	47.276,07	-2.165,00	-3.088.737,54
30		-28.382,60	619.789,10	42.978,25	-1.968,00	-3.047.727,44

Fonte: produção do próprio autor, 2017

Já a análise pelo *payback* descontado indica que teoricamente não haveria retorno do investimento após os primeiros 30 anos, se considerada TMA de 10%. Mas se observado a taxa interna de retorno (TIR), cuja fórmula é:

$$VPL = 0 = \text{investimento inicial} + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \quad (23)$$



O VPL é o valor presente líquido,  $t$  é o período estimado e  $F$  é o fluxo de caixa, segundo o Blog Luz [136]. Tomando-se como base a Tabela 10, seja o valor de investimento nos primeiros dois anos de R\$ 7.157.346,00 e o período “ $t$ ” do ano 3 ao ano 30, em que haveria fluxo de caixa positivo. Com estes dados, temos:

$$0 = -7.157.346 + \sum_{t=3}^{30} \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} \quad (24)$$

A Tabela 12 descreve o somatório do fluxo de caixa com custo O&M anual.

Tabela 12 – Fluxo de caixa anual para estimar a TIR

Ano	Fluxo de caixa (R\$)
3	373.606,50
4	373.606,50
5	373.606,50
6	417.166,50
7	417.166,50
8	417.166,50
9	417.166,50
10	417.166,50
11	460.726,50
12	460.726,50
13	460.726,50
14	460.726,50
15	460.726,50
16	504.286,50
17	504.286,50
18	504.286,50
19	504.286,50
20	504.286,50
21	547.846,50
22	547.846,50
23	547.846,50
24	547.846,50
25	547.846,50
26	591.406,50
27	591.406,50
28	591.406,50
29	591.406,50
30	591.406,50

Fonte: produção do próprio autor, 2017

Ao aplicar os dados da Tabela 12 à equação 24, se chega a uma TIR de **4,7%**. Com esta taxa, o retorno de investimento seria dentro do período exato de 30 anos. E valores abaixo de 4,7% resultariam em viabilidade de projeto inferior a 30 anos.

Seria interessante, portanto, uma nacionalização da tecnologia e dos serviços prestados, pois a importação de serviços ou propriedade intelectual envolve, de acordo com o site Educomex [137], a “incidência de Imposto de Renda IR Fonte, Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (CIDE), Imposto sobre Serviços (ISS), PIS, COFINS e Imposto sobre Operações Financeiras (IOF)”. Também se considerariam necessários incentivos governamentais, como políticas de isenção de impostos, de modo a diminuir o custo de investimento no projeto.

## 6 CONCLUSÃO

Diante dos objetivos propostos para este estudo, pode se apontar para existência de um potencial de geração de energia elétrica a partir de fontes marítimas no Litoral Norte de Santa Catarina. O perfil marítimo em si é similar em toda a área considerada do estudo, mas com características geográficas distintas em algumas regiões. Sobre os recursos maremotrizes pode se afirmar que esta é tecnicamente e economicamente inviável, pois não oferece um cenário minimamente compatível à exploração comercial. Entretanto, sugere ser favorável ao aproveitamento das ondas do mar, podendo absorver algumas técnicas e modelos de usinas à beira mar e próximas a esta costa.

Os resultados obtidos com o estudo de caso realizado indicaram que a região do morro do Costão da Enseada possui espaço com potencial de receber modelo de usina do tipo coluna de água oscilante, pois as características da área e o potencial de geração são promissores, assim como os impactos ambientais e sociais favoráveis, uma vez que aproximadamente 10% das residências da região poderiam ser atendidas. Mas a taxa de retorno de investimento seria de apenas 5%, no período de 30 anos.

De forma global, as usinas marítimas são um tipo de empreendimento que ainda não são comercialmente atrativas, pois a viabilidade econômica tendo em vista o retorno financeiro é diretamente influenciada pelos custos de projeto e manutenção. A maior parte dos estudos continua restrita à construção de protótipos e dependentes de alguma parceria entre o governo ou empresas do ramo da energia com as universidades.

As fontes oceânicas são sempre lembradas nos relatórios emitidos pelo governo brasileiro e pelos institutos de pesquisa nacional na área de energia, naturalmente pelo país contar com um extenso litoral. Por esta razão, recomenda-se para trabalhos futuros a realização de novos estudos em projetos de exploração da energia do mar, a criação de mais laboratórios de tecnologia marinha, acumular mais dados históricos de ondas, marés e correntes marítimas. Desta forma, haverá maior chance de apoio e investimento, nacionalização do conhecimento e tecnologia para diminuir os custos agregados, e ainda que este recurso energético esteja implementado em caráter embrionário, enxerga-se nele uma futura fonte de geração de energia limpa.

## 7 REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Biblioteca do Exército Editora. **A Energia Elétrica no Brasil: da primeira lâmpada à Eletrobrás**. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército Editora, 1977.
- [2] BRASIL. Decreto nº 20.395, de 15 de setembro de 1931. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-20395-15-setembro-1931-519312-republicacao-83770-pe.html>>. Acesso em: 16 set. 2016.
- [3] MEMÓRIA da Eletricidade. Apresenta a linha do tempo da Eletricidade no Brasil. Disponível em: <<http://memoriadaeletricidade.com.br/default.asp?pagina=destaques/linha&menu=368&iEmpresa=Menu&iABA=destaques/linha&iABAid=368#368>>. Acesso em 10 set. 2016.
- [4] ITAIPU Binacional. Informações gerais. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/>>. Acesso em: 24 set. 2016.
- [5] JORNAL GGN. Notícia sobre as hidrelétricas na região Norte do Brasil. Disponível em: <<http://jornalggm.com.br/noticia/o-desafio-das-hidreletricas-da-regiao-norte>>. Acesso em: 31 out. 2016.
- [6] EPE. Notícia sobre remarcação das datas de leilões de energia renovável em 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/1%C2%BA%20Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Reserva%202016/Governomarca.aspx>>. Acesso em: 31 out. 2016.
- [7] ELETROSUL. Sobre a Usina Megawatt Solar. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/amprnbsp/megawatt-solar>>. Acesso em: 07 jul. 2017.
- [8] ENGIE Tractebel. Maior usina solar do Brasil entra em Operação. Disponível em: <[http://www.engieenergia.com.br/wps/portal/internet/imprensa/press-release/conteudos/Release\\_Operacao\\_Usina\\_Solar](http://www.engieenergia.com.br/wps/portal/internet/imprensa/press-release/conteudos/Release_Operacao_Usina_Solar)>. Acesso em: 26 set. 2016.
- [9] JORNAL A Gazeta. Fala sobre o pioneirismo entrelaçado com a história de São Bento do Sul. Disponível em: <<http://www.gazetasbs.com.br/site/noticias/pioneirismo-entrelacado-com-a-historia-de-sao-bento-do-sul-1086>>. Acesso em: 25 set. 2016.
- [10] CELESC S.A. Apresenta o histórico da empresa de energia. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/celesc-holding/historico-holding>>. Acesso em: 24 set. 2016.
- [11] ANEEL. Banco de Informações de Geração (BIG). Disponível em: <<http://www2.Aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/GeracaoTipoFase.asp?tipo=10&fase=3&UF=SC:SANTA%2520CATARINA>>. Acesso em: 25 set. 2016.
- [12] ASSOCIAÇÃO dos municípios do Vale do Itapocu. Informativo das águas. Disponível em: <[http://comiteitapocu.org.br/images/informativo\\_das\\_aguas\\_5\\_2013.pdf](http://comiteitapocu.org.br/images/informativo_das_aguas_5_2013.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2016.
- [13] PORTAL Energia. Energias renováveis. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/>>. Acesso em: 27 set. 2016.

- [14] PORTAL Solar. Energia fotovoltaica. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 03 out. 2016.
- [15] BRASIL. Aneel. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.
- [16] FONTES de Energia. Fala a respeito da biomassa. Disponível em: <<http://fontes-de-energia.info/biomassa.html>>. Acesso em: 03 out. 2016.
- [17] BRASIL. Portal Brasil. Energia renovável mantém crescimento robusto. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2016/09/energia-renovavel-mantem-crescimento-robusto>>. Acesso em: 03 out. 2016.
- [18] EPE. Plano Nacional de Energia 2030, 2007, p.179. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PNE/20080111\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2016.
- [19] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Sobre a Matriz Energética Nacional 2030 Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732860/Matriz+Energ%C3%A9tica+Nacional+2030/39d39feb-1307-4f4f-9658-039b86b94bbd?version=1.0>>. Acesso em: 03 out. 2016.
- [20] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Sobre o CNPE. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cnpe>>. Acesso em: 03 out. 2016.
- [21] BRASIL. Decreto nº 3.520, de 21 de junho de 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D3520.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3520.htm)>. Acesso em: 20 set. 2016.
- [22] BRASIL. Portal Brasil. Plano de expansão de energia quer manter fontes renováveis no país. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/governo/2010/05/plano-de-expansao-de-energia-quer-mantem-fontes-renovaveis-no-pais>>. Acesso em: 04 out. 2016.
- [23] TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (coord.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016.
- [24] ELETROBRÁS. Notícias. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/LinkClick.aspx?fileticket=y9k62Xbklo%3D&tabid=81>>. Acesso em: 15 set. 2016.
- [25] BRASIL. Eletrobrás. **Plano Estratégico do Sistema Eletrobrás 2010 – 2020**. E-books. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/LinkClick.aspx?fileticket=CQsUovZs2c%3D&tabid=81>>. Acesso em: 15 set. 2016.
- [26] BRASIL. Eletrobrás. **Plano Estratégico do Sistema Eletrobrás 2015 – 2030**. E-book. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/LinkClick.aspx?fileticket=CQsUovZs2c%3D&tabid=81>>. Acesso em: 15 set. 2016.
- [27] BNDES. Fundo Clima – Energias Renováveis. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/programa-fundo-clima/fundo-clima-energias-renovaveis/>>. Acesso em: 04 out. 2016.
- [28] FIESC. PDIC 2022. Disponível em: <<http://www4.fiescnet.com.br/index.php/setores/portadores-do-futuro>>. Acesso em: 05 out. 2016.

[29] ANEEL. Código Único de Empreendimentos de Geração (CEG). Disponível em: <[http://www2.Aneel.gov.br/scg/formacao\\_CEG.asp](http://www2.Aneel.gov.br/scg/formacao_CEG.asp)>. Acesso em: 25 set. 2016.

[30] ANEEL. Programa de P&D. Disponível em: <<http://www.Aneel.gov.br/programa-de-p-d>>. Acesso em: 06 out. 2016.

[31] ANEEL. Sobre a lista de Projetos P&D. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/arquivos/Excel/Projetos\\_PED-ANEEL\\_\(Res\\_Norm\\_316-2008\)\\_Ver\\_2016.01.28.xls](http://www.aneel.gov.br/arquivos/Excel/Projetos_PED-ANEEL_(Res_Norm_316-2008)_Ver_2016.01.28.xls)>. Acesso em: 06 out. 2016.

[32] BRASIL. Portal Brasil. Governo irá realizar estudos sobre o litoral brasileiro. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2014/10/governo-ira-realizar-estudos-sobre-o-litoral-brasileiro>>. Acesso em: 07 out. 2016.

[33] MENEZES, Wagner. **O direito do mar**. Brasília: FUNAG, 2015.

[34] BRASIL. Portal Brasil. Brasileiro toma posse no tribunal internacional do direito do mar. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2016/03/brasileiro-toma-posse-no-tribunal-internacional-do-direito-do-mar>>. Acesso em: 07 out. 2016.

[35] BRASIL. Decreto nº 1.530, de 22 de junho de 1995. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1995/D1530.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1995/D1530.htm)>. Acesso em: 18 set. 2016.

[36] MARINHA do Brasil. Direito do Mar. Disponível em: <[http://www.mar.mil.br/hotsites/amz\\_azul/html/importancia.html](http://www.mar.mil.br/hotsites/amz_azul/html/importancia.html)>. Acesso em: 10 out. 2016.

[37] BRASIL. Portal Brasil. Brasil precisa de avanços nas ciências do mar, avaliam especialistas. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/07/brasil-precisa-de-avancos-nas-ciencias-do-mar-avaliam-especialistas>>. Acesso em: 07 out. 2016.

[38] BRASIL. Portal Brasil. MMA participa de encontro de cursos de ciências do mar. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2013/11/mma-participa-de-encontro-de-cursos-de-ciencias-do-mar>>. Acesso em 07 out. 2016.

[39] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Gerenciamento costeiro. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/smc-brasil>>. Acesso em: 10 out. 2016.

[40] RENEWABLE Green Energy Power. Fatos sobre a energia a partir das marés. Disponível em: <<http://www.renewablegreenenergypower.com/tidal-energy-tidal-power-facts/>>. Acesso em: 11 out. 2016.

[41] HALCYON Tidal Power. Sobre estrutura de barragem para energia das marés. Disponível em: <http://www.halcyontidalpower.com/what-is-tidal-power/>. Acesso em: 11 out. 2016.

[42] GENERABLE Energy. Sobre usinas maremotrizes tipo barragem. Disponível em: <<http://www.renewableenergyworld.com/articles/2015/01/dynamic-tidal-power-technology-advances.html>>. Acesso em: 12 out. 2016.

- [43] TIANFA Heavy Machinery. Sobre turbogerador do tipo bulbo. Disponível em: <<http://tianfa.gmc.globalmarket.com/products/details/skillful-manufacture-bulb-tubular-water-turbine-generator-1635954.html>>. Acesso em: 12 out. 2016.
- [44] ALTERNATIVE Energy Tutorials. Sobre estrutura do tipo cerca. Disponível em: <<http://www.alternative-energy-tutorials.com/tidal-energy/tidal-fence.html>>. Acesso em: 12 out. 2016.
- [45] GENERAL Electric Renewable Energy. Sobre parque de turbinas. Disponível em: <<https://www.gerenewableenergy.com/innovative-solutions/tidal-energy/oceade-tidal-turbine-platform.html>>. Acesso em: 07 jul. 2017.
- [46] THE Guardian. Sobre parque de energia das marés. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/environment/2011/mar/17/10megawatt-tidal-power-station-approved-hebrides>>. Acesso em: 11 out. 2016.
- [47] REVISTA Superinteressante. **A indomável energia das marés**. Edição Online. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/ideias/a-indomavel-energia-das-mares/>>. Acesso em: 16 out. 2016.
- [48] AW Energy. Sobre ondas *onshore* e *offshore*. Disponível em: <<http://aw-energy.com/wave-energy-resources/near-shore-vs-off-shore>>. Acesso em: 13 out. 2016.
- [49] CRUZ, João M. P. B.; SARMENTO, António J. N. A. **Energia das Ondas: Introdução aos Aspectos Tecnológicos, Económicos e Ambientais**. Lisboa: Fernando & Terceiro Lta., 2004.
- [50] ALTERNATIVE Energy Tutorials. Sobre os dispositivos de captação de energia das ondas. Disponível em: <<http://www.alternative-energy-tutorials.com/wave-energy/wave-energy-devices.html>>. Acesso em: 14 out. 2016.
- [51] ENERGIA inteligente. Sobre fonte maremotriz por coluna de ar. Disponível em: <<https://energiainteligenteuff.com/2014/10/16/forca-maremotriz-opcao-conveniente-de-geracao-de-energia/>>. Acesso em: 13 out. 2016.
- [52] ENGENHARIA Civil. Sobre sistema de aproveitamento das ondas subaquático. Disponível em: <<http://www.engenhariacivil.com/sistema-subaquatico-aproveitamento-energia-ondas>>. Acesso em: 15 out. 2016.
- [53] CARNEGIE Wave Energy. Sobre sistema CETO. Disponível em: <http://carnegiewave.com/>. Acesso em: 15 out. 2016.
- [54] PENSAMENTO Verde. Sobre usina de ondas em Pecém/CE. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/ceara-possui-primeira-usina-de-ondas-da-america-latina/>>. Acesso em: 14 out. 2016.
- [55] WAVE Dragon. Informações gerais. Disponível em: <<http://www.wavedragon.net/>>. Acesso em: 16 out. 2016.
- [56] WIKIPEDIA. Usina Maremotriz de La Rance. Disponível em: <[https://fr.wikipedia.org/wiki/Usine\\_mar%C3%A9motrice\\_de\\_la\\_Rance](https://fr.wikipedia.org/wiki/Usine_mar%C3%A9motrice_de_la_Rance)>. Acesso em 17 out. 2016.



- [57] *THE Canadian Encyclopedia*. Sobre energia das marés. Disponível em: <<http://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/tidal-energy/>>. Acesso em 18 out. 2016
- [58] *ENERGIAS Bienes Comunes*. Sobre a usina de *Annapolis Royal Generating Station*. Disponível em: [www.energias.bienescomunes.org](http://www.energias.bienescomunes.org). Acesso em: 18 out. 2016.
- [59] UNIVERSIDADE de Hiroshima. Artigo sobre energias renováveis oceânicas. Disponível em: <[http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/files/public/3/32442/20141016190217421164/JIDC\\_17-3\\_29.pdf](http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/files/public/3/32442/20141016190217421164/JIDC_17-3_29.pdf)>. Acesso em: 18 out. 2016.
- [60] *GYEONGI-DO*. Sobre Usina Elétrica Maremotriz *Sihwa Lake*. Disponível em: <<https://ggtour.or.kr/wp-content/uploads/2014/07/%EC%88%98%EB%A0%A5-468.jpg>>. Acesso em: 20 out. 2016.
- [61] WIKIPÉDIA. Lista de usinas de energia maremotriz. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_tidal\\_power\\_stations](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_tidal_power_stations)>. Acesso em 18 out. 2016.
- [62] UNIVERSIDADE de Columbia. Blog Earth Institute sobre Usina de *Ondas Islay LIMPET*. Disponível em: <<http://blogs.ei.columbia.edu/2010/05/19/Limpet-land-installed-marine-powered-energy-transformer/>>. Acesso em: 22 out. 2016.
- [63] RADIO e Televisão de Portugal. Notícias sobre Central de Energia da Ilha do Pico. Disponível em: <[www.rtp.pt](http://www.rtp.pt)>. Acesso em: 21 out. 2016.
- [64] *AZURA Wave*. Sobre dispositivo flutuante de ondas Azura. Disponível em: <[azurawave.com](http://azurawave.com)>. Acesso em 21 out. 2016.
- [65] EMEC. Empresa do Reino Unido que investe em energias oceânicas. Disponível em: <<http://www.emec.org.uk/marine-energy/>>. Acesso em: 20 out. 2016.
- [66] DIÁRIO do Nordeste. Usina de ondas de Pecém está abandonada. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/usina-de-ondas-do-pecem-esta-abandonada-1.1112312>>. Acesso em: 19 out. 2016.
- [67] ASSOCIAÇÃO de Energias Renováveis. Notícias sobre investimentos em fontes alternativas oceânicas em Portugal. Disponível em: <[http://www.apren.pt/fo tos/noticias/energia\\_\\_investimento\\_nas\\_energias\\_oceanicas\\_vai\\_abrandar\\_mas\\_e\\_f undamental\\_para\\_portugal\\_1294139485.pdf](http://www.apren.pt/fo tos/noticias/energia__investimento_nas_energias_oceanicas_vai_abrandar_mas_e_f undamental_para_portugal_1294139485.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2016.
- [68] MATTOS, J. A. D. **Caracterização Hidrodinâmica da Baía da Babitonga antes do fechamento parcial e total do Canal do Linguado utilizando modelagem numérica computacional**. Disponível em: <<http://siaibib01.univali.br/pdf/Jose%20Alexandre%20Damaceno%20Mattos.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- [69] MAPAS Blog. Mapa da região norte de Santa Catarina. Disponível em: <<http://mapasblog.blogspot.com.br/2011/06/mapas-de-sao-francisco-do-sul-sc.html>>. Acesso em 05 nov. 2016.

- [70] VIEIRA, Danilo R. Material Oceanográfico. Disponível em: <[https://www.danilorvieira.com/disciplinas/iof1202/ofd\\_capitulo14.php](https://www.danilorvieira.com/disciplinas/iof1202/ofd_capitulo14.php)>. Acesso em: 21 nov. 2016.
- [71] PREFEITURA de São Francisco do Sul. Sobre a Baía da Babitonga. Disponível em: <<http://www.saofranciscodosul.sc.gov.br/c/baia-babitonga#.WCt5UlrLIU>>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- [72] TRAVEL Forever. Sobre a Baía da Babitonga. Disponível em: <<http://travelforever.com.br/2012/07/30/o-tesouro-da-pouca-explorada-baia-babitonga-sc/>>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- [73] ECO Babitonga. Informações sobre a Baía da Babitonga. Disponível em: <<http://www.ecobabitonga.com.br/baia-ecobabitonga.html>>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- [74] INSTITUTO Nossa Casa. Informações sobre Canal do Linguado. Disponível em: <[https://sites.google.com/site/hhenkels/canal\\_linguado-1](https://sites.google.com/site/hhenkels/canal_linguado-1)>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- [75] JORNALISMO Ambiental Unifor. Sobre o Canal do Linguado. Disponível em: <<http://jornambientalunifor.blogspot.com.br/2011/11/baia-da-babitonga-primeira-reserva-de.html>>. Acesso em: 19 nov. 2016.
- [76] PRAIAS Santa Catarina. Sobre as praias de Itapoá. Disponível em: <<http://www.praiasantacatarina.com.br/itapoa/praiada-barra-do-sai/>>. Acesso em: 18. Nov. 2016.
- [77] WORLDMAPZ. Costão do morro da Enseada em São Francisco do Sul. Disponível em: <[http://br.worldmapz.com/photo/81072\\_es.htm](http://br.worldmapz.com/photo/81072_es.htm)>. Acesso em: 18 nov. 2016.
- [78] JORNAL Notícias do Dia. Sobre a Prainha, Praia Grande em São Francisco do Sul e Barra Velha. Disponível em: <<http://ndonline.com.br/>>. Acesso em: 18 nov. 2016.
- [79] MITULA Imóveis. Praia do Ervino. Disponível em: <<http://www.imoveis.mitula.com.br>>. Acesso em: 20 nov. 2016.
- [80] RESIDENCIAL Salinas na Barra. Balneário Barra do Sul. Disponível em: <<http://residencialsalinasbarra.blogspot.com.br/2014/03/balneario-barra-do-sul.Htm>>. Acesso em: 19 nov. 2016.
- [81] TRANSPETRO. Informações sobre os fatores meteorológicos na região de São Francisco do Sul. Disponível em: <[http://www.transpetro.com.br/en\\_us/business-areas/terminals-an-oil-pipelines/port-informations.html](http://www.transpetro.com.br/en_us/business-areas/terminals-an-oil-pipelines/port-informations.html)>. Acesso em: 17 nov. 2016.
- [82] CENTRO de Hidrografia da Marinha. Batimetria. Disponível em: <[http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-levantamento-hidrografico/coleta\\_dados\\_batimetricos.html](http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-levantamento-hidrografico/coleta_dados_batimetricos.html)>. Acesso em: 19 nov. 2016.
- [83] DIRETORIA de Hidrografia da Marinha. Sobre a Carta Raster número 1830, na região do porto de São Francisco do Sul. Disponível em:

<[http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster\\_disponiveis.html](http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html)>. Acesso em: 20 nov. 2016.

[84] SILVA, Leandro Franklin da. **Alterações morfodinâmicas no Canal do Linguado pela remoção do dique que o separa da Baía da Babitonga (SC)**. 2011. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/56281>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

[85] TÁBUA de marés. Informações sobre histórico das marés. Disponível em: <<http://www.tabuademares.com/mares/previsao-mares>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

[86] PORTAL Educação. Informações sobre as marés. Disponível em: < <https://www.portaleducacao.com.br/biologia/artigos/33720/mares>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

[87] DIRETORIA de Hidrografia da Marinha. Sobre o histórico de marés no Brasil. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/mares.html>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

[88] EPAGRI/CIRAM. Sobre o sistema Litoral Online e Maregrama. Disponível em: < [http://www.ciram.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2440&Itemid=753](http://www.ciram.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2440&Itemid=753)>. Acesso em: 21 nov. 2016.

[89] GOMES, Abílio Soares. **Ondas Marinhas**. Universidade Federal Fluminense, 2003. Disponível em: <[www.uff.br/ecosed/ondas](http://www.uff.br/ecosed/ondas)>. Acesso em: 20 nov. 2016.

[90] SURF & Ciência. Sobre a previsão de ondas na costa. Disponível em: < [http://surf-ciencia.blogspot.com.br/p/entendendo-previsao-das-ondas\\_20.html](http://surf-ciencia.blogspot.com.br/p/entendendo-previsao-das-ondas_20.html)>. Acesso em: 21 nov. 2016.

[91] CPTEC/INPE. Informações sobre o WWatch. Disponível em: < [http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/mod\\_wwatch.shtml](http://previsaonumerica.cptec.inpe.br/mod_wwatch.shtml)>. Acesso em: 22 nov. 2016.

[92] CPTEC/INPE. Sobre a estimativa da direção e altura das ondas do mar na região Sul do Brasil. Disponível em: <<http://ondas.cptec.inpe.br/mapas.php?regiao=sul#>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

[93] CPTEC/INPE. Sobre o sistema de monitoramento SIMcos. Disponível em: < <http://ondas.cptec.inpe.br/~rondas/simcos/about.php> >. Acesso em: 23 nov. 2016.

[94] WIKIPÉDIA. Definição de isóbata. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Is%C3%B3bata>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

[95] REDE Ondas. Rede de monitoramento de ondas em águas rasas. Disponível em: <<http://redeondas.furg.br/index.php/pt/>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

[96] REDE Ondas. Sobre histórico de ondas no Pontal do Paraná. Disponível em: <<http://redeondas.furg.br/index.php/pt/dados/parana>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

[97] REDE Ondas. Sobre o equipamento de aquisição de dados. Disponível em: <<http://redeondas.furg.br/index.php/pt/sobre/aquisicao-de-dados>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

[98] DEFESA Civil de Joinville. Sobre previsão de ondas na cidade em 2016. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/tabua-de-mares-para-joinville-em-2016/>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

[99] NEVES, Ricardo Nuno Freitas. **Energia das marés e Ondas**. 2008. Trabalho de Graduação – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <[http://paginas.fe.up.pt/~ee02035/Energia\\_Mares.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~ee02035/Energia_Mares.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2016.

[100] GOOGLE Maps. Mapa da região da Baía da Babitonga. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-26.2696582,-48.7479102,11z>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

[101] *HYDROPOWER*. Sobre cálculo de potencial energético das marés em barragem. Disponível em: <[http://hydropower-tidalpower.blogspot.com.br/2009/07/energy-calculations\\_07.html](http://hydropower-tidalpower.blogspot.com.br/2009/07/energy-calculations_07.html)>. Acesso em: 26 nov. 2016.

[102] GUILHERME, Antônio. Faculdade de Engenharia UERJ, sobre geração de energia elétrica. Disponível em: <[http://www.antonioguilherme.web.br.com/Arquivos/turb\\_hidro.php#](http://www.antonioguilherme.web.br.com/Arquivos/turb_hidro.php#)>. Acesso em: 28 nov. 2016.

[103] *XIN Yi Hydro*. Empresa de turbinas geradoras, sobre turbinas Kaplan. Disponível em: <<http://shinonehydro.com/en/proinfo.asp?id=71>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

[104] CPTEC/INPE. Sobre os cálculos de potencial energético das ondas. Disponível em: <<http://ondas.cptec.inpe.br/~rondas/simcos/about.php>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

[105] *GEOGRAPH*. Sobre a central de ondas *LIMPET Islay*. Disponível em: <<http://www.geograph.org.uk/photo/4149229>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

[106] *FUJITA Research*. Modelo de estrutura de usina CAO. Disponível em: <<http://www.fujitaresearch.com/reports/Limpet.html>>. Acesso em 29 mar. 2017.

[107] *RESEARCH Gate*. Sobre esboço de turbina tipo Wells. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/258386757\\_fig4\\_Outline-of-Wells-turbine](https://www.researchgate.net/figure/258386757_fig4_Outline-of-Wells-turbine)>. Acesso em 01 abr 2017.

[108] WIKIPÉDIA. Informações sobre as Turbinas Wells. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Wells\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Wells_turbine)>. Acesso em: 01 abr. 2017.

[109] VECCHIA, Leonardo Casagrande Dalla. **Modelagem e dimensionamento de um sistema de energia a partir das ondas do oceano**. 2016. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/165189>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

[110] *FUJITA Research*. Sobre modo de construção de uma CAO. Disponível em: <<http://www.fujitaresearch.com/reports/Limpet.html>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

[111] HEATH, T. V. A Review of Oscillating Water Columns. The Royal Society, 2011. Disponível em: <<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/370/1959/235>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

[112] WAVE Energy (CAO). Sobre a Lei de Betz. Disponível em: <<http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/bonifacio1/>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

[113] JORNAL A Notícia. Sobre riscos de acidentes nos costões. Disponível em: <<http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2016/01/veranistas-devem-ter-cuidado-com-acidentes-nos-costoes-do-litoral-de-sc-4953483.html>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

[114] ED Menghetti. Sobre a região da Enseada. Disponível em: <<http://www.edmeneghetti.com.br/praias.php>>. Acesso em: 02 mai. 2017.

[115] YOUTUBE. Região do costão da Enseada. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=fTZwQe6Tc4M>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

[116] EPAGRI/CIRAM. Sobre as estimativas das ondas do mar. Disponível em: <[http://www.ciram.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=84&Itemid=270](http://www.ciram.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=84&Itemid=270)>. Acesso em: 02 mai. 2017.

[117] *UNIVERSITY of Bristol*. Sobre as tecnologias das usinas de ondas. Disponível em: <[www.bris.ac.uk/depts/union/UBBoardingSoc/Uni%2520Stuff/PROJECT/WAVE%2520TECHNOLOGIES%2520\(Formatted\).doc+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://www.bris.ac.uk/depts/union/UBBoardingSoc/Uni%2520Stuff/PROJECT/WAVE%2520TECHNOLOGIES%2520(Formatted).doc+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br)>. Acesso em: 02 abr. 2017.

[118] CPTEC/INPE. Sobre a estimativa da direção, altura significativa e período das ondas do mar na região do litoral norte de Santa Catarina. Disponível em: <<http://ondas.cptec.inpe.br/~rondas/simcos/index.php?cod=15>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

[119] JORNAL A Notícia. Sobre as ressacas que atingiram o litoral norte catarinense em maio de 2017. Disponível em: <<http://anoticia.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2017/05/alerta-ondas-de-ate-2-5-metros-podem-atingir-o-litoral-catarinense-9798790.html>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

[120] CELESC. Sobre o consumo médio de energia residencial em kWh/mês em Santa Catarina. Disponível em: <<http://celesc.firbweb.com.br/wp-content/uploads/2016/05/CELESC-D-Demonstracoes-Financeiras-de-2015-1.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

[121] PORTAL População. Sobre o número de moradias na região da praia da Enseada. Disponível em: <[http://populacao.net.br/populacao-da-enseada\\_sao-francisco-do-sul\\_sc.html](http://populacao.net.br/populacao-da-enseada_sao-francisco-do-sul_sc.html)>. Acesso em: 25 mai. 2017.

[122] JORNAL Notícias do Dia. Sobre extração de mariscos no costão da Enseada. Disponível em: <<https://ndonline.com.br/joinville/noticias/bombeiros-continuam-busc-as-por-jovem-que-sumiu-ao-cair-do-costao-em-sao-francisco-do-sul>>. Acesso em: 24 mai. 2017.

- [123] Blog Pescaki. Sobre atividades de pesca no Costão da Enseada. Disponível em: <<http://www.pescaki.com/topic/47532-pesca-enseada-sao-francisco-do-sul-sc/>>. Acesso em: 24 mai. 2017.
- [124] FATMA. Sobre o Parque Estadual Acaraí. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/conteudo/parque-estadual-acarai>>. Acesso em: 24 mai. 2017.
- [125] Agência Portuguesa do Ambiente. Sobre os impactos das usinas marítimas. Disponível em: <[https://www.apambiente.pt/\\_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/ondas\\_lowres.pdf](https://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/ondas_lowres.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2017.
- [126] WAVE Energy Centre. Sobre geração de postos de trabalhos por MW instalado. Disponível em: <[http://www.wavec.org/content/files/DGGE\\_relatorio\\_completo\\_2004.pdf](http://www.wavec.org/content/files/DGGE_relatorio_completo_2004.pdf)>. Acesso em: 23 mai. 2017.
- [127] THORPE, T.W. **A Brief Review of Wave Energy**. Departamento de Comércio e Indústria do Reino Unido, 1999.
- [128] BLOG WR Prates. Sobre *payback*. Disponível em: <<http://www.wrprates.com/qual-e-a-diferenca-entre-payback-simples-e-descontado/>>. Acesso em: 29 mai. 2017.
- [129] SANTOS, Ieda Maria Antunes dos. **Análise de Investimentos**. Unicamp, 2009. Sobre a TMA. Disponível em: <[http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777\\_ieda.pdf](http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777_ieda.pdf)>. Acesso em: 29 mai. 2017.
- [130] INDEX Mundi. Sobre a inflação acumulada no Reino Unido. Disponível em: <<http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=71&c=uk&l=pt>>. Acesso em: 08 jun. 2017.
- [131] *TRADING Economics*. Sobre a inflação acumulada no Reino Unido. Disponível em: <<https://pt.tradingeconomics.com/united-kingdom/inflation-cpi>>. Acesso em: 08 jun. 2017.
- [132] ECONOMIA UOL. Sobre a cotação do Real perante 1 Libra Esterlina. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/cotacoes/indices-economicos/>>. Acesso em: 08 jun. 2017.
- [133] CELESC. Sobre tarifa convencional grupo B residencial normal Celesc. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>>. Acesso em: 29 mai. 2017.
- [134] ANEEL. Sobre bandeiras tarifárias. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 29 mai. 2017.
- [135] JORNAL RMC. Sobre o custo de mão de obra estrangeira. Disponível em: <[http://www.jornalrmc.com.br/noticias/noticia\\_3624.php](http://www.jornalrmc.com.br/noticias/noticia_3624.php)>. Acesso em: 29 mai. 2017.
- [136] BLOG Luz. Sobre a TIR. Disponível em: <<http://blog.luz.vc/o-que-e-taxa-interna-de-retorno-tir/>>. Acesso em: 04 jul. 2017.
- [137] EDUCOMEX. Sobre impostos em serviços estrangeiros. Disponível em: <<http://educomex.net/como-funciona-a-tributacao-na-importacao-de-servicos-e-propriedade-intelectual/>>. Acesso em: 29 mai. 2017.

## 8 BIBLIOGRAFIA

BRASIL. Eletrobrás. **Relatório Anual e de Sustentabilidade 2015**. E-book. Disponível em: <<http://www.eletobras.com/elb/main.asp?Team=%7B4A2B5B3C-751A-4E38-86A7-D6085CEE347B%7D>>. Acesso em: 16 set. 2016.

LUZ, A. C. da (Coord.) et al. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos da UDESC**: tese, dissertação, trabalho de conclusão de curso e relatório de estágio. 4. ed. Florianópolis: UDESC, 2013.

PESCA Submarina Brasil. Traz informações sobre as previsões de condições do mar de forma mais prática e atualizado diariamente. Disponível em: <<http://www.pescasubmarinabrasil.com.br/?ct=708&stp=1>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

SIGERCO. Sobre dados geográficos e informações sobre a zona costeira, além dos sistemas numéricos de auxílio a previsão marítima. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/sigerco/item/10446>>. Acesso em: 18 nov. 2016.



## APÊNDICE

### APÊNDICE A – Ficha de solicitação de acesso a informações de registro do EPAGRI/CIRAM



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA – DEE

Joinville/SC, 06/04/2017

Prezado Dr. Hamilton:

Eu, Stefano Guilherme Bodnar Gois Rothbarth, acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da Udesc-CCT Joinville, estou realizando pesquisa a respeito de viabilidade de geração de energia elétrica a partir da energia das ondas, marés e correntes marítimas. Para isso, os dados meteorológicos são de suma importância, pois o objetivo proposto é obter informações a respeito do:

- Histórico de ondas nas regiões litorâneas de estudo;
- Histórico das marés nas mesmas regiões;
- Dados da velocidade de corrente marítima.

Solicito, portanto e dentro de suas possibilidades, as informações abaixo relacionadas referentes aos últimos 05 anos, dados mensais, na costa do Litoral Norte catarinense. Preferencialmente em: Itapoá; nas Praias do Forte, Prainha (Erseada), Praia Grande e Praia do Ervino, em São Francisco do Sul; Balneário Barra do Sul e em Barra Velha, sobre:

- Altura média das ondas, em metros (m);
- Período médio das ondas, em segundos (s);
- Marés alta e baixa, em metros (m)

E no Canal do Linguado (entre Araquari e São Francisco do Sul) e na região da Boca da Barra, (Balneário Barra do Sul):

- Velocidade das correntes marítimas, em metros por segundo (m/s);

Informamos que os dados solicitados, serão utilizados para análise em trabalho de conclusão de curso na área de Engenharia Elétrica, ficando o comprometimento do uso dos mesmos apenas para este fim, devidamente referenciado, assim como envio de cópia do estudo realizado, por meio eletrônico (pdf), cuja conclusão dos estudos está prevista para julho de 2017. E também que a não entrega do trabalho após a conclusão conforme descrito inviabilizará a disponibilidade de dados para futuros acadêmicos e/ou pós-graduandos deste Departamento ou Coordenação de pós Graduação.

Certos de sua atenção e presteza, -subscrevem este, o meu orientador prof. Sérgio Vidal Garcia Oliveira e o chefe do Departamento de Engenharia Elétrica, prof. Fabiano Ferreira Andrade-, agradecemos.

Atenciosamente,

*Stefano G B Rothbarth*

Stefano Guilherme Bodnar Gois Rothbarth

  
Prof. Dr. Sérgio Vidal Garcia Oliveira  
(Orientador do TCC)

  
Prof. Dr. Fabiano Ferreira Andrade  
(Chefe do DEE – Udesc/CCT)

## APÊNDICE B – Dado de altura de marés no Litoral Norte de Santa Catarina



# Ciram

Centro de Informações de Recursos  
Ambientais e de Hidrometeorologia  
de Santa Catarina

Região	Litoral Norte	Litoral Norte	Litoral Norte
Estação	2901-Ilha da Paz - SFSul	2903-Itapoá	2909-São Francisco do Sul
Data	Altura da Maré	Altura da Maré	Altura da Maré
11/06/2014 19:00	-	56,0	-
11/06/2014 20:00	-	49,0	-
11/06/2014 21:00	-	44,0	-
11/06/2014 22:00	-	42,0	-
11/06/2014 23:00	-	57,0	-
12/06/2014 00:00	-	94,0	-
12/06/2014 01:00	-	130,0	-
12/06/2014 02:00	-	150,0	-
12/06/2014 03:00	-	144,0	-
12/06/2014 04:00	-	102,0	-
12/06/2014 05:00	-	50,0	-
12/06/2014 06:00	-	12,0	-
12/06/2014 07:00	-	-11,0	-
12/06/2014 08:00	-	-15,0	-
12/06/2014 09:00	-	-5,0	-
12/06/2014 10:00	-	18,0	-
12/06/2014 11:00	-	50,0	-
12/06/2014 12:00	-	91,0	-
12/06/2014 13:00	-	122,0	-
12/06/2014 14:00	-	139,0	-
12/06/2014 15:00	-	128,0	-
12/06/2014 16:00	-	96,0	-
12/06/2014 17:00	-	57,0	-
12/06/2014 18:00	-	31,0	-
12/06/2014 19:00	-	25,0	-
12/06/2014 20:00	-	25,0	-
12/06/2014 21:00	-	24,0	-
12/06/2014 22:00	-	17,0	-
12/06/2014 23:00	-	14,0	-
13/06/2014 00:00	-	30,0	-
13/06/2014 01:00	-	65,0	-
13/06/2014 02:00	-	107,0	-
13/06/2014 03:00	-	124,0	-
13/06/2014 04:00	-	106,0	-
13/06/2014 05:00	-	54,0	-
13/06/2014 06:00	-	4,0	-
13/06/2014 07:00	-	-27,0	-
13/06/2014 08:00	-	-33,0	-
13/06/2014 09:00	-	-29,0	-
13/06/2014 10:00	-	-15,0	-