

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ELISA MITSUE YOKEMURA**

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DE UMA CONSTRUÇÃO BASEADA NA  
NATUREZA PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS COSTEIROS**

**Porto Alegre**

**Mai de 2022**

**ELISA MITSUE YOKEMURA**

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DE UMA CONSTRUÇÃO BASEADA NA  
NATUREZA PARA SOLUCIONAR PROBLEMAS COSTEIROS**

Trabalho de Conclusão de Curso a ser apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil.

**Orientador: Eduardo Puhl**

**Porto Alegre**

**Mai de 2022**

Dedico este trabalho aos meus pais, Milton e Margarida.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, aos meus pais, Margarida e Milton, que abdicaram de tanto para que eu pudesse estar aqui hoje. Que me apoiaram em cada decisão, e que não medem esforços para que eu possa realizar todos os meus sonhos. Saibam que serei eternamente grata por ter vocês como minha base.

Ao meu irmão, Júlio, por ser o equilíbrio de tudo. Juntos somos como Yin Yang, opostos que se completam.

Ao meu namorado e acima de tudo melhor amigo, Arthur, por estar presente todos os dias me lembrando que sou capaz e me dando forças para nunca desistir. Obrigada pela paciência e pelo apoio de sempre.

Ao Neced, prof<sup>o</sup> Eduardo, prof<sup>a</sup> Manica, prof<sup>a</sup> Ana, Cristian, Felipe, Débora e tantos outros que de alguma forma me ajudaram a construir este trabalho. Em especial ao professor Eduardo, meu orientador, que desde minha primeira bolsa, em 2017, tem sido o melhor orientador que eu poderia querer: atencioso, exigente e que acredita no meu potencial.

Aos meus amigos da faculdade, em especial minhas veteranas Thaís e Isadora, que desde meu primeiro dia de estudante têm sido o melhor apoio que uma bixete poderia querer. Meus amigos do PET, do NECOD, colegas de disciplinas, cada um acrescentou alguma coisa em mim, me permitindo chegar aqui hoje.

Ao Programa de Educação Tutorial, por ter me ensinado tanto, e me permitido viver experiências únicas que me evoluíram de forma pessoal e profissional.

Aos meus colegas de trabalho, especialmente ao Fernando, meu chefe, que me passou tudo que sabe fazendo florescer em mim a confiança de uma engenheira.

Aos meus amigos de longa data, especialmente Igor, Thalia, Duda, Mariah e Bianca, que desde muito tempo compartilham tantas emoções comigo.

À toda minha família, em especial às minhas tias queridas, tia Sayu e tia Nê, que sempre me acompanham de perto.

Aos meus avós, imigrantes japoneses, por terem me passado a cultura do estudo e desde sempre me mostrado a importância que a educação tem em nossas vidas.

Ao escotismo, e todas as pessoas que conheci através dele, por terem me ensinado a sempre dar o meu melhor em tudo que faço e a tentar deixar o mundo melhor do que encontrei.

E por fim, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, uma das minhas melhores escolhas da vida, por ter me oportunizado tanta experiência engrandecedora que me tornaram a profissional e pessoa que sou hoje.

Try and leave this world a little better than you found it and when your turn comes to die, you can die happy in feeling that at any rate you have not wasted your time but have done your

best

Baden-Powell

## RESUMO

Visando incentivar o uso de construções naturais, e assim, promover um desenvolvimento mais sustentável, (como definiu a Organização das Nações Unidas (ONU) na Conferência do Rio de 1992), este trabalho traz o conceito de construções baseadas na natureza. NBS, do inglês *nature-based solution*, agrega materiais vindos de formas naturais para solucionar os mais diversos problemas da sociedade atual. Neste trabalho, foi construída uma estrutura híbrida, feita com conchas de ostras reutilizadas, ensacadas com tela de polietileno em formatos de gabiões. Com o objetivo de analisar o seu comportamento quando utilizados para atenuação de ondas, os gabiões foram testados em um canal de ondas bidimensional localizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em dois arranjos diferentes. Além disso, os ensaios foram realizados em duas etapas diferentes, a primeira com os gabiões soltos e a segunda com eles amarrados de 3 em 3 entre si. O local estudado para aplicação dos gabiões foi a Baía da Babitonga, localizada no litoral norte do estado de Santa Catarina. Para os parâmetros dos ensaios, considerou-se a estrutura sob ação de ondas de pequena amplitude, formadas a partir de movimentações de barcos ou do vento. Com os resultados, foi possível medir 4 parâmetros para avaliar o comportamento da estrutura sob a ação das ondas: a transmissão e a reflexão da onda, a dissipação de energia e a estabilidade da estrutura. Por fim, comparou-se os resultados deste trabalho com o de outros autores, tanto de estruturas de conchas quanto de estruturas convencionais de enrocamento. Podendo assim, concluir que os gabiões de conchas possuem melhor desempenho quando utilizados amarrados entre si, melhorando a sua estabilidade, e quando a profundidade em que está alocado é menor do que a sua altura total. Além disso, os resultados dos ensaios para os 4 parâmetros avaliados, mostram-se semelhantes aos de outras estruturas tanto de conchas quanto de enrocamento. Desta forma, são estruturas construídas com um material natural que possuem comportamento satisfatório quanto aos parâmetros avaliados neste trabalho.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....</b>                 | <b>14</b> |
| <b>CAPÍTULO 2: DIRETRIZES DA PESQUISA .....</b>    | <b>15</b> |
| 2.2 OBJETIVOS .....                                | 15        |
| 2.2.1 Objetivo principal.....                      | 15        |
| 2.2.2 Objetivos secundários: .....                 | 15        |
| 2.3 LIMITAÇÕES.....                                | 15        |
| <b>CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>     | <b>16</b> |
| 3.1 HIDRÁULICA MARÍTIMA .....                      | 16        |
| 3.3.1 Classificação das Ondas no Mar .....         | 16        |
| 3.3.2 Interação das ondas com estruturas .....     | 17        |
| 3.2 OBRAS TRADICIONAIS DE PROTEÇÃO COSTEIRAS ..... | 20        |
| 3.2.1 Tipos e Classificação de obras .....         | 20        |
| 3.2.2 Efeito das obras sobre o litoral .....       | 22        |
| 3.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....              | 24        |
| 3.3.1 <i>Nature-Based Solutions</i> .....          | 24        |
| 3.3.2 Linhas costeiras vivas.....                  | 26        |
| 3.4 ÁREA DE ESTUDO: BAÍA DA BABITONGA.....         | 31        |
| 3.4.1 Contexto Ambiental e Hidrodinâmico .....     | 32        |
| 3.4.2 Maricultura.....                             | 33        |
| 3.5 MODELAGEM FÍSICA .....                         | 34        |
| <b>CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>       | <b>35</b> |
| 4.1 CANAL DE ONDAS .....                           | 35        |
| 4.2 CONCHAS DE OSTRAS .....                        | 36        |
| 4.3 ESTRUTURA DE CONCHAS .....                     | 38        |
| 4.4 PARÂMETROS DO MODELO FÍSICO .....              | 40        |
| 4.5 EQUIPAMENTOS AUXILIARES.....                   | 42        |
| 4.5.1 Sondas Capacitivas.....                      | 42        |
| 4.5.2 Câmeras.....                                 | 43        |
| 4.6 PROCEDIMENTO DE ENSAIOS .....                  | 44        |
| 4.7 TRATAMENTO DOS DADOS.....                      | 47        |
| 4.6.1 Onda incidente.....                          | 47        |
| 4.6.2 Onda transmitida .....                       | 47        |
| 4.6.3 Onda Refletida.....                          | 48        |
| 4.6.4 Energia dissipada.....                       | 50        |
| <b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>     | <b>51</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1 ENSAIOS PRELIMINARES .....                          | 51        |
| 5.2 TRANSMISSÃO.....                                    | 52        |
| 5.3 REFLEXÃO .....                                      | 52        |
| 5.4 ENERGIA DISSIPADA .....                             | 53        |
| 5.5 ESTABILIDADE.....                                   | 54        |
| 5.6 COMPARAÇÃO COM OUTROS AUTORES .....                 | 56        |
| 5.6.1 Estruturas de conchas .....                       | 56        |
| 5.6.2 Estruturas convencionais.....                     | 58        |
| <b>CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES.....</b>                      | <b>61</b> |
| <b>CAPÍTULO 7: PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b> | <b>62</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                | <b>64</b> |



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Classificação da onda. (Fonte: adaptado de Kinsman (1965) por Puhl e Almeida (2017))...  | 17 |
| Figura 2: Estrutura de uma onda. (Fonte: Autora.) .....  | 18 |
| Figura 3: Muro de contenção da orla da praia da Marahu em Mosqueiro, janeiro de 2018. (Fonte: dynamistechne.com).....  | 21 |
| Figura 4: Campo de espigões em Fortaleza, Ceará. (Fonte: ME/Portal Da Copa).....   | 21 |
| Figura 5: Quebra-mar em Alicante, Espanha. (Fonte: edsonprof.blogspot.com).....  | 22 |
| Figura 6: Identificação de transporte de sedimentos de sotamar para barlamar. (Fonte: modificado de “Blog do professor Edson”) .....   | 23 |
| Figura 7: Acúmulo de sedimento a barlamar na Praia de Piedade, Recife (PE). (Fonte: CPRH) .....  | 23 |
| Figura 8: Conformação de recifes artificiais. (Fonte: Kirkpatrick, 2013).....  | 27 |
| Figura 9: Conchas ensacadas e recifes artificiais de concreto. (Fonte: Kirkpatrick, 2013) .....  | 27 |
| Figura 10: Vegetação nativa antes e depois da aplicação do projeto. (Fonte: Kirkpatrick, 2013) .....   | 27 |
| Figura 11: Exemplo somente utilizando vegetação. (Fonte: Virginia Institute Of Marine Science.) ...  | 28 |
| Figura 12: Exemplo utilizando vegetação e pedras. (Fonte: Virginia Institute Of Marine Science.)...  | 28 |
| Figura 13: Conchas ensacadas em sacos de fibra de coco. (Fonte: OceanWatch 2020.) .....  | 29 |
| Figura 14: Conchas ensacadas sendo testadas. (Fonte: Coghlan et al. (2016)).....   | 29 |
| Figura 15: Sacos de conchas degradados. (Fonte: OceanWatch 2020.).....   | 30 |
| Figura 16: Configurações testadas por Dunlop et al (2017). Quadrados rosas = sacos de conchas. Quadrados pretos sem hachura = sacos de areia com material mais fino. Quadrados pretos com hachura = sacos de areia com material mais grosso. (Fonte: Dunlop et al (2017) ..... | 31 |
| Figura 17: Mapa de localização da Baía da Babitonga. (Fonte: adaptado de Klein et al, 2022 e Fachi et al, 2018.).....  | 32 |
| Figura 18: <i>Crassostrea Gigas</i> . (Fonte: Autora).....   | 34 |
| Figura 19: Vista Isométrica do Canal (fora de escala). ( Fonte: Autora.) .....   | 36 |
| Figura 20: Vista lateral do canal. (Fonte: Autora.).....   | 36 |
| Figura 21: Reservatório de conchas no LMM. (Fonte: Autora.).....   | 37 |
| Figura 22: Conchas em galões de 50L. (Fonte: Autora.) .....  | 37 |
| Figura 23: Conchas sendo jateadas em uma caixa com furos. (Fonte: Autora.) .....   | 37 |
| Figura 24: Conchas secando ao sol. (Fonte: Autora.) .....  | 38 |
| Figura 25: <i>Crassostrea Gigas</i> de variados tamanhos. (Fonte: autora.) .....   | 38 |
| Figura 26: Estrutura de conchas (Fonte: autora.) .....   | 39 |
| Figura 27: Arranjos testados nos ensaios. (Fonte: Autora.) .....   | 39 |
| Figura 28: Arranjo 1 no canal. (Fonte: Autora.).....   | 39 |
| Figura 29: Arranjo 2 no canal. (Fonte: Autora.).....   | 40 |
| Figura 30: Sonda de nível no canal de ondas presa a uma estrutura feita sob medida. (Fonte: Autora)42  |    |
| Figura 31: Posicionamento das sondas no canal de ondas. (Fonte: Autora) .....  | 43 |
| Figura 32: Localização das câmeras nos ensaios. (Fonte: Autora) .....  | 43 |
| Figura 33: Mecanismo de ajuste do braço de alavanca (S) para a geração das ondas. (Fonte: Autora) 44   |    |
| Figura 34: Primeiros ensaios imagem superior, estrutura empilhada. Imagem de baixo, estrutura presa com abraçadeiras plásticas de 3 em 3 e uma solta. (Fonte: Autora).....   | 45 |
| Figura 35: Posicionamento das sondas no canal (Fonte: Autora) .....  | 46 |
| Figura 36: Exemplo de reta de calibração. (Fonte: Autora) .....  | 46 |
| Figura 37: exemplo de aquisição de dados da sonda. (Fonte: Autora).....  | 47 |
| Figura 38: Ângulos das estruturas para o cálculo teórico. (Fonte: Autora).....   | 50 |
| Figura 39: gráfico com os coeficientes de transmissão calculados tanto para os gabiões soltos quanto para os gabiões amarrados. (Fonte: Autora).....   | 52 |
| Figura 40: Gráfico com os coeficientes de reflexão calculados tanto para os gabiões soltos quanto para os gabiões amarrados. (Fonte: Autora) .....   | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 41: Energia dissipada. (Fonte: Autora) .....   | 54 |
| Figura 42: Exemplo de balanço da estrutura. Ensaio H40A1, gabiões soltos. (Fonte: Autora) .....                           | 54 |
| Figura 43: Exemplo de deslocamento da estrutura. Ensaio H40A1, gabiões amarrados. (Fonte: Autora) .....                   | 55 |
| Figura 44: Exemplo de colapso total da estrutura. Ensaio H40A1, gabiões soltos. (Fonte: Autora) .....                     | 55 |
| Figura 45: Comparação $R^* \times K_t$ com outros autores que também utilizaram gabiões de conchas. (Fonte: Autora) ..... | 57 |
| Figura 46: Comparação $R^* \times K_r$ com outros autores que também utilizaram gabiões de conchas. (Fonte: Autora) ..... | 57 |
| Figura 47: Energia dissipada $\times R^*$ . (Fonte: Autora) .....   | 58 |
| Figura 48: Coeficiente de transmissão $\times R_c/H_s$ . (Fonte: modificado de Powell e Allsop (1985)) .....              | 59 |
| Figura 49: Coeficiente de transmissão $\times R^*$ . (Fonte: modificado de Powell e Allsop (1985)) .....                  | 60 |
| Figura 50: coeficientes de reflexão comparados com estruturas convencionais. ....   | 61 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Vantagens e desvantagens de estruturas convencionais e naturais. (Fonte: adaptada de Sutton-Grier et al. (2015))..... | 25 |
| Tabela 2: Comprimento de onda para cada profundidade.....   | 42 |
| Tabela 3: Parâmetros dos ensaios. (Fonte: Autora).....  | 45 |
| Tabela 4: Tempos de chegada da onda nas sondas. (Fonte: Autora).....  | 49 |
| Tabela 5: Ensaios de calibração do batedor de ondas. (Fonte: Autora) .....  | 51 |
| Tabela 6: Parâmetros do batedor de ondas. (Fonte: Autora).....  | 51 |
| Tabela 7:Tabela resumo dos ensaios onde T1 = tempo que inicia o deslocamento. Gabiões soltos. (Fonte: Autora).....              | 55 |
| Tabela 8: Tabela resumo dos ensaios onde T1 = tempo que inicia o deslocamento. Gabiões amarrados. (Fonte: Autora).....          | 56 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|          |  |
|----------|--|
| A        | Amplitude da onda (m)  |
| b        | Largura da onda (m)  |
| C        | Celeridade da onda (m/s)   |
| d        | Profundidade (m)   |
| E        | Energia da onda (J/m)  |
| $E_d$    | Energia da onda dissipada (J/m)  |
| $E_i$    | Energia da onda incidente (J/m)  |
| $E_r$    | Energia da onda refletida (J/m)  |
| $E^t$    | Energia da onda transmitida (J/m)  |
| $Fr_m$   | Número de Froude do modelo (adm)   |
| $Fr_p$   | Número de Froude do protótipo (adm)  |
| g        | Aceleração da gravidade (m/s <sup>2</sup> )                                |
| h        | Altura da linha d'água no canal (m)  |
| H        | Altura da onda (m)   |
| $H_i$    | Altura da onda incidente (m)   |
| $H_t$    | Altura da onda transmitida (m)   |
| $H_r$    | Altura da onda refletida (m)   |
| $K_t$    | Coefficiente de transmissão (adm)  |
| $K_r$    | Coefficiente de reflexão (adm)   |
| L        | Comprimento de onda (m)  |
| $N_v$    | Escada de velocidade (adm)   |
| $N_g$    | Escada de gravidade (adm)  |
| $N_L$    | Escala de comprimento (adm)  |
| $R_c$    | Altura da estrutura menos a altura da coluna d'água (m)                    |
| $R^*$    | Parâmetro adimensional em função de $R_c$ , período e altura da onda (adm) |
| T        | Período da onda (s)  |
| T1       | Tempo que leva a primeira onda completa a chegar na sonda (s)              |
| T2       | Tempo que leva pra onda refletida na estrutura chegar até a sonda (s)      |
| T3       | Tempo que leva pra onda refletida pela praia chegar na sonda (s)           |
| $\alpha$ | Ângulo equivalente da estrutura (graus)                                    |
| $\Delta$ | Distância do batedor até a sonda   |

|        |   |
|--------|---|
| $\xi$  | Parâmetro de Iribaren (adm)                   |
| $\Phi$ | Diâmetro (m)                                  |
| $\rho$ | Massa específica da água (kg/m <sup>3</sup> ) |

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável reconhece que os recursos naturais são finitos e por isso, procura meios de garantir que as soluções para suprir as necessidades atuais não comprometam os recursos para as necessidades futuras (WWF, 2021). Assim, entende-se que garantir o desenvolvimento sustentável de um país é imprescindível para a sua economia.

Ao optar por um desenvolvimento sustentável, o país precisa buscar soluções que prezem pela qualidade e não pela quantidade, garantindo que haja economia no uso da matéria-prima e aumento da reutilização. Com a aplicação de desenvolvimento sustentável em soluções para as necessidades humanas, surge o conceito de *Nature-Based Solutions* (NBS) (EC, 2021), em português Soluções Baseadas na Natureza (SBN).

Soluções Baseadas na Natureza incorpora os conceitos de sustentabilidade, economia e flexibilidade nas alternativas para vários objetivos. Essas soluções devem trabalhar com a natureza e não contra ela, possibilitando a criação de novos empregos e produtos sem esgotar os recursos.

Quando incorporado na construção civil, SBN utiliza materiais provenientes de formas naturais combinados com materiais estruturais, com o objetivo de impactar o mínimo possível no ambiente. Além de *Nature-Based Solutions*, a literatura estrangeira também utiliza outros termos como *Engineering With Nature* (USACE, 2021), Engenharia com a Natureza e *Living Shorelines* (NOAA, 2021), Linhas Costeiras Vivas. Esse último termo refere-se, especificamente, a soluções que utilizam materiais naturais como plantas, areias e ostras para substituir proteções da linha costeira feitas de materiais tradicionais da construção (NOAA, 2021).

Assim, a solução escolhida para ser analisada neste trabalho será uma Linha Costeira Viva (LCV) constituída de conchas de ostras. Este tipo de solução já é utilizada em alguns países para reduzir o impacto do transporte de sedimentos e permitir que a biodiversidade local se desenvolva, como por exemplo em Tampa, EUA (Kirkpatrick, 2013). Neste exemplo, vários arranjos de recifes são testados desde 2004 e, como resultado, permitem que a vegetação nativa se desenvolva.

Outro exemplo que inspira este trabalho, é o projeto *OceanWatch*, na Austrália. Há cinco anos este projeto incentiva o uso de Linhas Costeiras Vivas como ferramenta para reduzir a erosão costeira e restaurar o habitat local (OceanWatch, 2021). O projeto, incentiva dezenas de

estudos universitários, no caso da engenharia, para encontrar, por exemplo, qual arranjo possui o melhor desempenho para atenuar os efeitos das ondas (Dunlop et al., 2017).

A combinação de materiais não naturais com materiais naturais possui diversas vantagens, como a preservação da integridade ecológica do ambiente, a possibilidade de filtração da água e de se tornar habitat de seres vivos, entre outras. Segundo uma comparação feita pelo Departamento de Recursos Naturais do estado de Georgia, Estados Unidos, em 2013, os custos para a compra e instalação do material natural são menores do que para construções de concreto ou madeira com a mesma finalidade.

## **CAPÍTULO 2: DIRETRIZES DA PESQUISA**

### **2.2 OBJETIVOS**

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o comportamento hidrodinâmico de gabiões feitos de conchas de ostras a fim de sustentar a sua aplicabilidade como uma Solução Baseada na Natureza para proteção costeira.

#### **2.2.2 Objetivos secundários:**

- a) Encontrar uma região no Brasil em que esta solução poderia ser aplicada;
- b) Apontar vantagens e desvantagens ao comparar com soluções convencionais;
- c) Simular em laboratório a aplicação desta solução, identificando as principais consequências na transformação das ondas;

### **2.3 LIMITAÇÕES**

- a) A solução será condicionada apenas a áreas protegidas, como baías, sob ação de ondas de vento de curto período ou ondas de embarcação, não expostas a ondas de alto mar;
- b) O material utilizado para a construção do modelo da solução será o mais próximo dos parâmetros definidos para os ensaios, mas que esteja disponível e seja viável para a realização dos mesmos;

- c) Não sendo possível definir dados ambientais de um local específico para a reprodução da solução, serão utilizados dados estimados dentro dos padrões definidos para os ensaios em modelo reduzido.
- d) Devido à indisponibilidade de conchas de menores dimensões, não será considerada a redução de escala geométrica das mesmas, o que pode afetar a absorção, reflexão e transmissão da energia das ondas pelas estruturas.

## **CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 HIDRÁULICA MARÍTIMA**

#### **3.3.1 Classificação das Ondas no Mar**

As ondas de superfície da água, transferem energia da fonte que as gerou para alguma estrutura ou linha de costa que dissipa ou reflete essa energia, sendo assim o principal agente transformador da costa (Alfredini e Arasaki, 2018). Por esse motivo, entender a sua origem e funcionamento é de suma importância para o estudo das proteções costeiras.

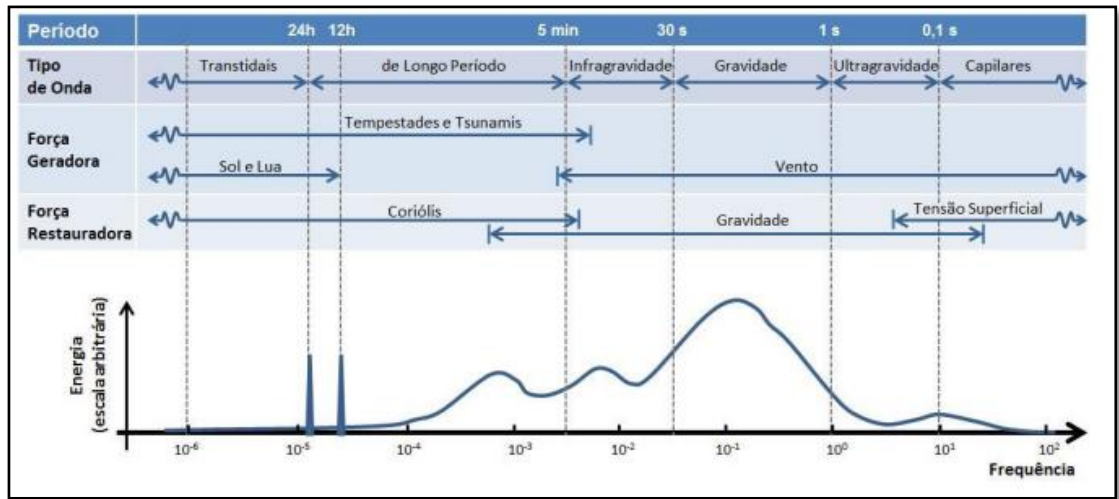
A onda existe uma vez que o estado de equilíbrio inicial do oceano é perturbado por uma força inicial e compensado por uma força restauradora. As forças perturbadoras podem ser ventos, oscilações da Terra, como terremotos, pressão atmosférica e força gravitacional de atração entre a Terra, o Sol e a Lua. E geralmente essas forças são compensadas pela gravidade.

As ondas podem ser classificadas de diversas formas, mas a mais comumente utilizada é segundo o seu período ou comprimento de onda associado (Toffoli, 2017).

A Figura 15, adaptada de Kinsman (1965) por Puhl e Almeida (2017) mostra a classificação da onda de acordo com seu período, força geradora e força restauradora.



Figura 1: Classificação da onda. (Fonte: adaptado de Kinsman (1965) por Puhl e Almeida (2017))



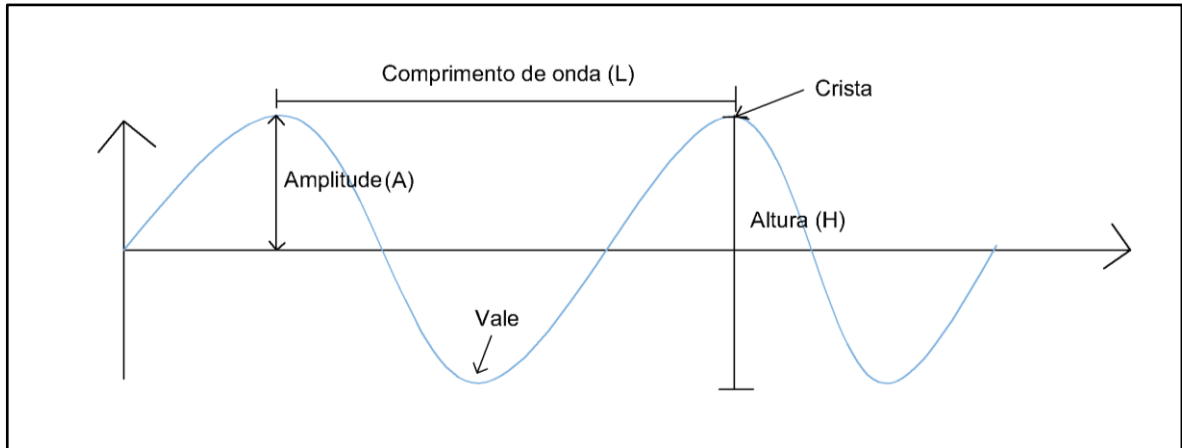
Como observado na Figura 1, a principal força restauradora é a gravidade. As ondas atenuadas por essa força e geradas pelo vento são chamadas de ondas de gravidade e podem ser classificadas segundo Puhl e Almeida (2017) de acordo com alguns critérios:

1. Onda forçada ou livre. Onda forçada existe apenas enquanto a força geradora atua sobre ela. Onda livre continua a existir mesmo sem a ação da força geradora;
2. Ondas regulares ou irregulares. Ondas regulares têm apenas uma frequência, enquanto ondas irregulares são consequência de interferência de ondas de diferentes frequências;
3. Onda progressivas e estacionárias. Ondas progressivas se propagam no espaço e ondas estacionárias apenas oscilam verticalmente;
4. Vagas ou ondulações. Vagas surgem a partir do ponto de formação e à medida que se afastam deste ponto e se desenvolvem, tornando-se mais regulares, chamam-se de ondulações.

### 3.3.2 Interação das ondas com estruturas

Ondas em geral possuem estrutura composta de vale, ponto mais baixo, e cristas, ponto mais alto. A linha imaginária que divide esses dois pontos também define o que chamamos de amplitude da onda (A). A distância entre duas cristas ou entre dois vales, chama-se de comprimento de onda (L). A distância entre um Vale e uma Crista consecutivos denominamos altura da onda (H) (Figura 2).

Figura 2: Estrutura de uma onda. (Fonte: Autora.)



O Período (T) é o intervalo de tempo necessário para uma crista percorrer uma distância igual a um comprimento de onda (L). Ainda, a celeridade da onda (C) é obtida em função do comprimento de onda (L) e do período da onda:

$$C = \frac{L}{T} \text{ (m/s)} \quad (1)$$

Pela Teoria Linear das Ondas (Airy, 1845), a celeridade (C) pode ser definida também pela expressão conhecida como a Equação de Dispersão, a qual inclui a profundidade local (d):

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \text{ (m/s)} \quad (2)$$

Onde:

- g = gravidade (m/s<sup>2</sup>)
- d = profundidade (m)

Substituindo a equação 2 na equação 1, o comprimento de onda também pode ser determinado através de iterações da seguinte forma:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \text{ (m)} \quad (3)$$

Outra característica importante da onda é a sua energia. A energia total de um sistema de ondas é a soma de suas energias cinética e potencial. Assim, a equação da energia total da onda por unidade de área superficial, denominada energia específica, é dada por:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 b L \text{ (J/m)} \quad (4)$$

Onde  $\rho$  é a massa específica do fluido, g a gravidade e b a largura da onda.

Quando essas características, ditas anteriormente, se modificam ao interagir com outras estruturas, ocorrem as transformações de ondas. Entre essas modificações, destacam-se três:

1) Transmissão:

No caso de ondas do mar, a transmissão ocorre quando a onda encontra uma estrutura e parte dela continua se propagando. Pode ocorrer tanto por galgamento, por cima, quanto por penetração em caso de estruturas permeáveis.

Ela é caracterizada pelo coeficiente de transmissão  $K_t$  que é definido pela razão entre a altura da onda transmitida ( $H_t$ ), ou seja, a que atravessa a estrutura, pela altura de onda incidente ( $H_i$ ), que chega na estrutura:

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (5)$$

2) Reflexão:

A reflexão ocorre quando a onda encontra uma estrutura e parte dela passa a se propagar na direção contrária. A interação entre a onda incidente e a refletida pode ocasionar mudanças significativas na dinâmica costeira, como por exemplo o surgimento de correntes.

É caracterizada pelo coeficiente de reflexão  $K_r$ , que é definido pela razão entre a altura da onda refletida ( $H_r$ ), pela altura da onda incidente ( $H_i$ ):

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \quad (6)$$

3) Dissipação:

A parte da onda que não é transmitida nem refletida pela estrutura, chamamos de dissipada. Isso ocorre porque ao encontrar a estrutura, a onda perde energia por atrito, arrebentação, fluxo de água, cisalhamento na base e movimento da estrutura.

Assim, a dissipação é medida em forma de energia e pode ser calculada em função da onda incidente, transmitida e refletida:

$$E_d = E_i - (E_t + E_r) \quad (7)$$

Onde:

- $E_d$  = energia da onda dissipada
- $E_i$  = energia da onda incidente
- $E_t$  = energia da onda transmitida

- $E_r$  = energia da onda refletida

### 3.2 OBRAS TRADICIONAIS DE PROTEÇÃO COSTEIRAS

As proteções costeiras, tanto estruturais quanto não estruturais, existem para permitir que o litoral continue com suas condições normais mesmo com a quebra do equilíbrio dinâmico original (Alfredini e Arasaki, 2018). Uma das causas desse desequilíbrio é o aumento do transporte de sedimentos para fora da região da praia, denominado erosão costeira. Com o crescimento urbano e desenvolvimento do litoral, as proteções da costa contra a erosão, tornam-se cada vez mais essenciais do ponto de vista social, ambiental e econômico.

Proteções costeiras não estruturais, são medidas mitigadoras que limitam o uso do solo para habitação, construção e extração de sólidos e líquidos. Por exemplo, delimitar uma faixa não edificável junto a praia e privilegiar o desenvolvimento urbano perpendicular e não paralelo a mesma.

Já as obras de defesa do litoral, são proteções costeiras estruturais, ou seja, atuam de forma física, limitando o transporte de sedimentos para fora da praia. Nos itens do capítulo a seguir, serão classificadas em diferentes tipos.

#### 3.2.1 Tipos e Classificação de obras

Quando classificadas quanto a natureza, as obras podem ser naturais, praias e dunas, ou artificiais, feitas de pedras, concreto, madeira ou metal. As soluções artificiais comumente utilizadas são as obras longitudinais aderentes, como muros e taludes, espigões e quebra-mares.

As obras longitudinais aderentes geralmente são obras emergenciais em forma de muros e paredões (Figura 3) com funções como: resistir à ação das ondas, servir de contenção de aterros e praias artificiais ou para evitar inundações em eventos meteorológicos mais intensos. Como principal desvantagem, não são obras duradouras pois não se adaptam a mudanças climáticas, por exemplo, e protegem somente o local de sua construção.

Figura 3: Muro de contenção da orla da praia da Marahu em Mosqueiro, janeiro de 2018. (Fonte: dynamistechne.com)



Os espigões são obras perpendiculares a praia que se estendem até a primeira linha de arrebatção das ondas, dissipando a energia e velocidade das correntes. Têm como principal função a interceptação do transporte de sedimentos, ajudando a estabilizar e alargar a praia. Podem ser utilizados isolados ou em conjunto (Figura 4).

Figura 4: Campo de espigões em Fortaleza, Ceará. (Fonte: ME/Portal Da Copa)



Os quebra-mares (Figura 5) podem ser emersos ou submersos, e têm a função de dissipar a energia das ondas antes de atingirem a praia. Podem ser classificados como quebra-mares ao largo, costeiros e de praia, diferenciando-se entre si pela distância que possuem da costa. Quanto mais próximo à costa, maiores são seus efeitos sobre ela. Também não é uma obra recomendada em locais com grandes alterações de níveis de marés pois a eficiência do sistema depende sensivelmente do nível da água.

Figura 5: Quebra-mar em Alicante, Espanha. (Fonte: edsonprof.blogspot.com)



### 3.2.2 Efeito das obras sobre o litoral

As obras de proteção costeira, atuam sobre o litoral de diferentes formas visando o cumprimento do seu objetivo final, e devido a isso, é importante prever quais serão estes efeitos, tanto positivos quanto negativos. Os espigões, por exemplo, quando são construídos equivocadamente em situações não favoráveis, como em regiões de pouco transporte de sedimentos, podem provocar a situação contrária, aumentando as erosões a sotamar, região anterior da estrutura considerando o sentido das ondas e correntes, por isso são frequentemente utilizados em campos de espigões (Alfredini e Arasaki, 2018) (Figura 6). Mesmo quando utilizado em conjunto, tende a causar erosões temporárias entre as células de espigões e a sotamar. Por este motivo, esta solução vem sendo menos utilizada na sua concepção clássica.

Figura 6: Identificação de transporte de sedimentos de sotamar para barlamar. (Fonte: modificado de “Blog do professor Edson”)



No caso dos quebra-mares, a principal desvantagem, é que ao dissipar a energia de onda e criar uma região para banho mais estável, também se limita a troca de água, aumentando o acúmulo de matéria orgânica e diminuindo a sua qualidade (Figura 7). Por isso, o quebra-mar mais recomendado, são os curtos e segmentados, que permitem a maior troca de água entre o quebra-mar e a costa.

Figura 7: Acúmulo de sedimento a barlamar na Praia de Piedade, Recife (PE). (Fonte: CPRH)



Existem também soluções analíticas para prever as alterações da linha de costa devido às obras de proteção costeira, como por exemplo a teoria de uma linha de Pelnard-Considère (1956). Esta teoria, assume que a costa pode ser representada por uma linha e analisa quais as alterações que esta linha sofre ao longo do tempo com a aplicação de uma estrutura de espigão ou molhe.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Dovers e Handmer (1992) previram que o século 21 seria abundante quanto as mudanças locais, nacionais e internacionais e que devido a isso, o desafio principal da ciência e da sociedade seria lidar com estas mudanças da forma mais perspicaz possível. Segundo eles, é necessário que a relação entre seres humanos e o meio ambiente mude. Assim, identificaram dois principais pontos que a ciência precisa focar para que isso aconteça: o primeiro é a necessidade de haver integração entre as ciências, e o segundo é que haja forte interação entre ciência e política, para que assim as decisões possam ser postas em prática na comunidade.

Ainda em 1992, na Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que aconteceu no Rio de Janeiro, promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), foi assinada a “Declaração de Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento”. Tal declaração, proclama 27 princípios fundamentais que todos os países deveriam cumprir a fim de promover uma aliança mundial para garantir a integridade do sistema. Assim, consolidou-se o conceito de desenvolvimento sustentável que passou a ser entendido como o desenvolvimento a longo prazo, de maneira a garantir que os recursos naturais não sejam esgotados (ecycle, 2021).

#### 3.3.1 *Nature-Based Solutions*

Segundo o princípio 8 da Declaração de Rio:

“Para atingir o desenvolvimento sustentável e uma melhor qualidade de vida para todas as pessoas, os Estados deveriam reduzir e eliminar as modalidades de produção e consumo insustentáveis e fomentar políticas demográficas apropriadas” (Declaração de Rio, 1992)

É neste contexto, de desenvolvimento sustentável e principalmente no conceito de reduzir e eliminar a produção e o consumo insustentáveis que surge o termo *Nature-Based Solutions* (NBS), ou em português Soluções Baseadas na Natureza (SBN). As SBN são definidas pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) no *World Conservation Congress* (WCC) como:

“Ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados que abordam os desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente o bem-estar humano e os benefícios da biodiversidade.” (UINC, 2016)

Ou seja, são ações que trabalham com a natureza e não contra ela para solucionar diversos problemas da sociedade. Medidas que não somente protegem e restauram o ecossistema, mas também possuem benefícios sociais e econômicos. As SBN são um conceito que abrangem uma gama de abordagens diferentes e surgiram de uma variedade de esferas:



pesquisa científica, prática, política etc. Mas compartilham o foco em serviços a favor do ecossistema e visam enfrentar os desafios da sociedade (IUCN, 2016).

Diversos países utilizam as SBN para adaptação às mudanças climáticas, como por exemplo no Canadá onde o reflorestamento das margens de uma bacia hidrográfica reduziu as vazões de pico, diminuindo as inundações devido ao descongelamento da neve (Buttle, 2011). Na bacia do mediterrâneo, que vem sofrendo com o aumento da aridez do solo, a agrossilvicultura, que é a prática de cultivar árvores junto com culturas agrícolas (USDA, 2022), aumenta a fertilidade do solo e a retenção de nutrientes enquanto reduz a perda de solo (Torralba et al., 2016).

Quando aplicadas à proteção costeira, SBN substituem as soluções tradicionais da engenharia, como espigões e quebra-mares, por estruturas que incorporam materiais naturais. Pontee et al. (2016) classifica estas soluções em 4 grupos:

1. Soluções totalmente naturais (por exemplo, recifes de coral naturais, pântanos e manguezais).
2. Soluções naturais gerenciadas (por exemplo, recifes artificiais de coral/ostras, praias e dunas, sapais e manguezais plantados).
3. Soluções híbridas que combinam engenharia estrutural com recursos naturais (por exemplo, sistemas de diques de pântano ou sistemas de diques de dunas).
4. Engenharia estrutural “amiga do meio ambiente” (por exemplo, engenharia com vegetação).

Estas soluções quando comparadas às estruturas de materiais tradicionais, possuem vantagens como a adaptação às mudanças climáticas, auto recuperação após destruição em caso de tempestades, menos custos para construção, entre outras. Em contrapartida, por serem uma tecnologia nova, possuem maior burocracia e exigem um número maior de permissões para serem construídas. Na tabela 1 adaptada de Sutton-Grier et al. (2015), estão listadas as principais vantagens e desvantagens de construções feitas de materiais tradicionais da construção e das que incorporam materiais naturais.

Tabela 1: Vantagens e desvantagens de estruturas convencionais e naturais. (Fonte: adaptada de Sutton-Grier et al. (2015))

| <b>Estrutural</b>                                |   |
|--|---|
| Vantagens  | Desvantagens  |
| Vasto conhecimento em como projetar e construir; | Não se adaptam com a mudança das características do local como o aumento do nível do mar; |

| Décadas de experiência em implementar essas estruturas;<br>Lidam com o problema assim que são construídas.  | Necessitam manutenção ao longo do tempo;<br>Podem causar diminuição do habitat natural e da biodiversidade;<br>Somente protegem contra as tempestades, não diminui as possibilidades de estas acontecerem. |
|---|--|
| <b>Natural</b>  |  |
| Vantagens   | Desvantagens   |
| Possuem diversos benefícios ao meio ambiente, como melhorias ao habitat de seres vivos, melhora a qualidade da água, ajuda contra emissões de carbono etc.; | Necessitam de um estudo mais aprofundado sobre as diversas formas e locais de aplicação, sobre o melhor projeto e a melhor forma de execução, etc.;  |
| Cresce e desenvolve ao longo do tempo;  | Não atuam imediatamente após a aplicação, necessitam de um certo tempo para se adaptar;  |
| Pode se autorrecuperar depois de uma tempestade;  | Pouca fonte de estudos sobre os custos de construção;  |
| Pode se adaptar ao aumento do nível do mar;   | Necessitam de mais permissões estatais para serem construídas;   |
| Pode ser mais barato para construir.  | Maiores limitações das características do local a serem construídas.   |

### 3.3.2 Linhas costeiras vivas

Linhas costeiras vivas (LCV), tradução literal do termo utilizado em inglês, *Living Shoreline (LS)*, são um exemplo de SBN utilizadas para a proteção costeira, e, segundo a classificação de Pontee et al. (2016), são soluções naturais gerenciadas. LCV utiliza concha de ostras, blocos de recifes artificiais, conchas ensacadas, ostras vivas e plantas para proteger a costa contra a erosão (The Nature Conservancy, 2022).

As costas leste e do golfo dos Estados Unidos, foram pioneiras na introdução de técnicas de LCV através da restauração de habitats como pântanos e recifes, às vezes com a combinação de estruturas convencionais como blocos de concreto, para recuperação da biodiversidade local e controle da erosão em estuários com baixa energia de ondas (Morris et al., 2019).

Em MacDill, leste dos Estados Unidos, devido a perda de recursos naturais e habitat local provocados pela erosão, foi implementado um projeto no ano de 2004 com a utilização de recifes artificiais e conchas de ostras ensacadas (Kirkpatrick, 2013). Estes materiais foram posicionados em conformações de linhas como na Figura 8. Após dois anos, as ostras se fixaram tanto nos recifes artificiais quanto nas conchas ensacadas (Figura 9), formando uma barreira

natural para atenuação das ondas. Assim, foi possível que a vegetação nativa voltasse a se desenvolver na costa (Figura 10). Além disso, os recifes servem como habitat de espécies variadas de peixes e moluscos, e as ostras como filtradores naturais.

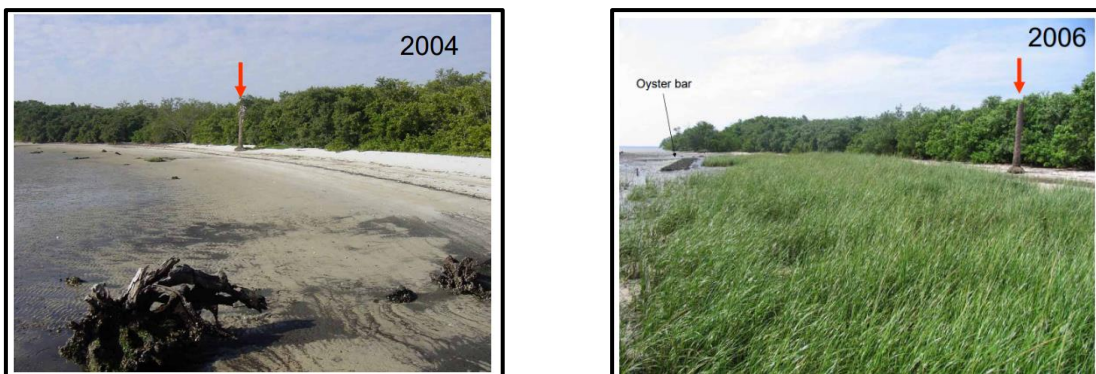
Figura 8: Conformação de recifes artificiais. (Fonte: Kirkpatrick, 2013)



Figura 9: Conchas ensacadas e recifes artificiais de concreto. (Fonte: Kirkpatrick, 2013)



Figura 10: Vegetação nativa antes e depois da aplicação do projeto. (Fonte: Kirkpatrick, 2013)



No estado da Virgínia, Estados Unidos, há uma política de incentivo ao uso de Linhas Costeiras Vivas como principal solução para estabilização de linhas costeiras de marés (Virginia Institute Of Marine Science, 2022). Por este motivo, há diversos locais onde LCV

foram implantados e estudos que analisam a sua eficácia. Duhring (2006), por exemplo, comparou métodos não estruturais e híbridos para controle de erosão.

Os métodos não estruturais avaliados foram: plantação de vegetação de pântano, plantação de vegetação rasteira em taludes de areia e alargamento de praia (Figura 11). Já os métodos híbridos consistem em utilizar pedras nas bordas da vegetação para reforçar a atenuação de ondas e estabilidade (Figura 12). Ambos os métodos foram eficazes, porém cada um com suas vantagens e desvantagens. A principal desvantagem da utilização de pedras em conjunto com a vegetação, é a interrupção do movimento de peixes e outros seres vivos. Enquanto utilizar somente vegetação resulta em uma maior limitação da resistência dependendo do tamanho da onda para proteção e uma menor eficácia na contenção da erosão.

Figura 11: Exemplo somente utilizando vegetação. (Fonte: Virginia Institute Of Marine Science.)



Figura 12: Exemplo utilizando vegetação e pedras. (Fonte: Virginia Institute Of Marine Science.)



Não somente com o objetivo de estabilizar a linha costeira, mas também de recuperar a população de ostras e reciclar conchas de ostras que são descartadas sem uso, OceanWatch Australia criou o “Living Shorelines Project” (OceanWatch, 2020). O projeto visa incentivar a utilização de Linhas Costeiras Vivas ao testar a sua eficácia. A principal filosofia do projeto é reduzir a utilização de plástico na reabilitação da vida marinha, por isso, procurou utilizar somente materiais biodegradáveis. Para isso, conchas de ostras que seriam descartadas, foram

coletadas e colocadas em sacos feitos de fibra de coco (Figura 13). Para avaliar qual seriam as melhores conformações destes sacos de conchas, foram realizados testes no *Water Research Laboratory (WRL)*, da Universidade de *New South Wales*, de Sydney, Austrália.

Figura 13: Conchas ensacadas em sacos de fibra de coco. (Fonte: OceanWatch 2020.)



Os testes realizados através do projeto, não foram realizados visando um local específico, mas utilizou-se apenas ondas de baixa energia. Coghlan et al. (2016) realizou testes bidimensionais com ondas de variados períodos e com alturas de coluna d'água diferentes, em dois casos: com os sacos ancorados e sem ancoragem (Figura 14). Em ambos os casos, o coeficiente de transmissão das ondas aumenta com o aumento do período destas. Também nos dois casos, quanto menor a altura da coluna de água, maior a atenuação das ondas. A principal diferença, é que quando não ancorados, os sacos tendem a se deslocar parcialmente ou completamente à medida que as ondas ficam com alturas maiores, enquanto quando ancoradas isso não acontece.

Figura 14: Conchas ensacadas sendo testadas. (Fonte: Coghlan et al. (2016))



Após os testes em laboratório, as conchas ensacadas foram instaladas em 5 pontos da região de Sydney. Apesar deste projeto não ter sido aplicado na região de estudo, em Queensland, também na Austrália, a mesma estrutura foi aplicada no Rio Noosa.

Em Noosa para avaliar o comportamento da população de peixes, Gilby et al. (2020) utilizaram tratamento de imagens através de vídeos feitos com câmera submersas. E, para



identificar o crescimento de ostras que se fixaram nos sacos de conchas, utilizaram dois métodos: o primeiro consistiu em marcar seis ostras fixadas na parte externa do saco, e o segundo em retirar de forma aleatória outras seis ostras. Ao final do estudo, identificaram uma média de 145,7 a 946 ostras crescendo por metro quadrado de saco de conchas e uma abundante quantidade de peixes. Gilby et al. (2020) concluíram que as conchas ensacadas são eficazes na restauração de comunidades de ostras e servem de habitat para diversos peixes. Além disso, a restauração de ostras pode ser maximizada se houver um estudo prévio das melhores condições e locais para a instalação dos recifes.

Apesar do bom desempenho em restaurar a biodiversidade de ostras e peixes no rio Noosa, em Sydney os sacos de fibra de coco não se mostraram tão adequados (OceanWatch, 2020). Alguns sacos se desintegraram e saíram da posição inicial antes do tempo ideal para tornar-se um recife (Figura 15). Por isso, para estudos futuros, é importante encontrar uma forma de equilibrar o uso de materiais naturais com estruturais para uma melhor performance.

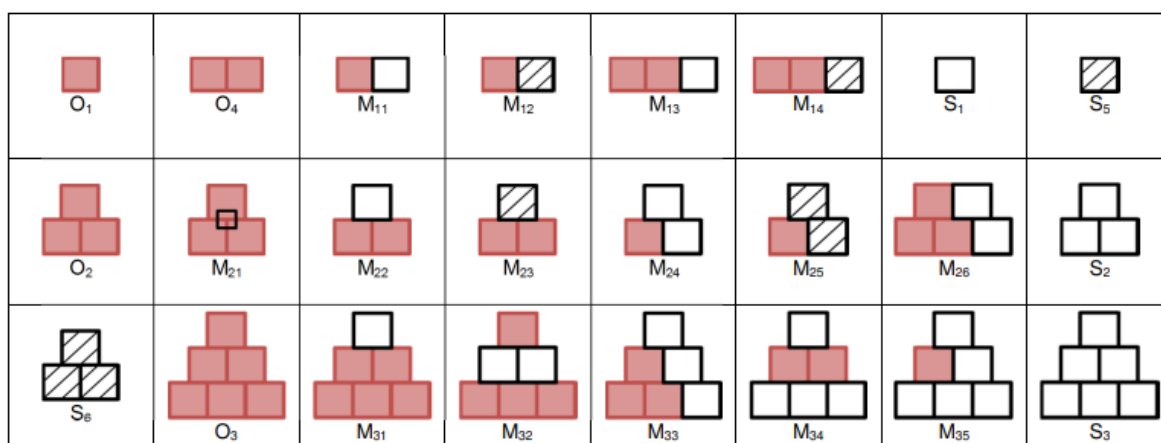
Figura 15: Sacos de conchas degradados. (Fonte: OceanWatch 2020.)



A fim de estudar possíveis formas de melhorar a estabilidade dos sacos de conchas, Dunlop et al. (2017) testaram em laboratório algumas configurações e a combinação com sacos de areia. Para determinar a altura das ondas incidentes, transmitidas e refletidas, utilizou-se sete sondas de nível distribuídas ao longo de um canal de ondas. As ondas monocromáticas testadas, possuíram mesmas características que o trabalho de Coghlan et al. (2016), ou seja, ondas de baixa energia causadas por movimentos de barcos.

Ao final dos ensaios com as diversas configurações, Dunlop et al. (2017) concluíram que a utilização de sacos de areia em conjunto com os sacos de conchas, previne a estrutura de se deslocar com a ação das ondas, porém, diminui a dissipação de energia. Também conclui que a melhor configuração é com os sacos de conchas na face que recebe a onda e os sacos de areia na parte de trás. Além disso, quanto menor a espessura do saco de areia, maior dissipação de energia, bem como quanto maior a largura do topo da estrutura, melhor desempenho na atenuação de ondas.

Figura 16: Vista lateral das configurações testadas por Dunlop et al (2017). Quadrados rosas = sacos de conchas. Quadrados pretos sem hachura = sacos de areia com material mais fino. Quadrados pretos com hachura = sacos de areia com material mais grosso. (Fonte: Dunlop et al (2017)



De todas as configurações testadas por Dunlop et al (2017) (Figura 16), as que obtiveram melhor desempenho quanto a dissipação de energia de ondas foram M13, M26 e M34.

Linhas Costeiras Vivas é uma solução que vem sendo utilizada em diversos países, mas sua efetividade depende das características do seu local de aplicação. Por isso, é importante que haja um estudo aprofundado da região e que, se possível, sejam feitos testes em laboratório para identificar qual a melhor configuração de sua aplicação.

### 3.4 ÁREA DE ESTUDO: BAÍA DA BABITONGA

A Baía da Babitonga (Figura 17) é um complexo estuarino com uma superfície hídrica de 160km<sup>2</sup> localizado no norte de Santa Catarina, estado do sul do Brasil. Possui atualmente somente um canal livre de conexão com o oceano (Mazzer e Gonçalves, 2012) que mede aproximadamente 24 km de extensão e 3,8 km de largura média (Fachi et al., 2018). É o maior desaguadouro do estado, drenando terrenos de 6 municípios: Garuva, Joinville, São Francisco do Sul, Araquari, Itapoá e Balneário Barra do Sul (Knie, 2002). Sendo Joinville o maior parque

industrial e São Francisco do Sul o segundo maior sistema portuário do estado (Klein et al., 2022).

Figura 1: Mapa de localização da Baía da Babitonga. Rio Palmital (1); Joinville (2); São Francisco do Sul (3); e Itapoá (4). (Fonte: Klein et al., 2022.)



### 3.4.1 Contexto Ambiental e Hidrodinâmico

Segundo Truccolo e Schettini (1999), a Baía da Babitonga é caracterizada pelo regime de micro marés e predominância de maré de enchente, com amplitudes médias de 70 a 85 cm e valores máximos de 106 e 128 cm. Dados de batimetria apontam uma profundidade média de 6 metros e maiores profundidades na saída do canal (Marinha do Brasil, 2022). Possui direção de ventos predominantes norte e nordeste, porém com intensidades mais amenas do que quando incididos da direção sul, que possui as maiores intensidades, máximas na ordem de 9,5 m/s (Fachi et al., 2018).

Possui 70% das espécies visadas para pesca e diversas áreas de cultivo de moluscos, sendo assim fonte econômica das comunidades do entorno (Probabitonga, 2022). Além disso, conta com cerca de 80 km<sup>2</sup> de manguezais que servem de refúgio natural de uma variedade de espécies de animais e protegem a costa contra a erosão e inundação (Klein et al., 2022). Apesar disso, nos últimos 20 anos, perdeu-se cerca de 9% de área de manguezais no litoral do Brasil



(MapBiomass, 2021) e na Baía da Babitonga, desde 2016, vem ocorrendo a sua mortalidade devido a invasão de pragas (Kilka, 2017).

### 3.4.2 Maricultura

A maricultura é o ramo especializado da aquicultura que foca no cultivo de organismos aquáticos marinhos e estuarinos (FAO, 2010). A atividade vem sendo incentivada através de projetos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), principalmente no município de Florianópolis, como uma alternativa econômica aos pescadores para uma oportunidade de melhoria de vida (Cordeiro e Sarkis, 1997).

Além disso, a maricultura está condicionada a sustentabilidade e preservação de ambientes marinhos por serem animais filtradores. Porém, ao mesmo tempo que limpam o mar removendo elementos como o fósforo e o nitrogênio, também podem reter elementos tóxicos que impedem o seu consumo. Devido a isso, há um maior empenho da comunidade de produtores na preservação do meio ambiente (National Geographic, 2020).

Graças aos incentivos e as condições propícias para o cultivo, hoje o estado de Santa Catarina é o maior produtor de ostras, mexilhões e vieiras do Brasil. Na safra de 2020, foram comercializadas 15 mil toneladas, movimentando mais de R\$ 92 milhões (EPAGRI, 2021).

Por outro lado, como consequência dessa produção em massa, há a geração de resíduo de conchas que não possuem valor econômico e por isso acabam sendo descartadas de maneira incorreta. Segundo pesquisa realizada por Sant'Anna et al. (2006) com os maricultores da região de Ribeirão da Ilha, em Florianópolis, 78% das conchas são lançadas ao mar e 10% dispostos em terrenos baldios. Isso traz consequências como a dificuldade das passagens de baleeiras devido ao assoreamento provocado pelo acúmulo de resíduos lançados e geração de odores desagradáveis e efluentes líquidos com potencial poluidor.

Em 2005, com o objetivo de encontrar formas de aproveitamento dos resíduos da maricultura, o Laboratório de Gestão Ambiental na Indústria (LAGA), da UFSC, criou o projeto “Valorização dos resíduos da Ostreicultura”. Desde então, o uso das conchas vem sendo estudado para diversos fins, por exemplo a extração do carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) das conchas para uso em fertilizantes, ou suplementos para combater a osteoporose e até mesmo como aditivo na produção de argamassas (Notícias da UFSC, 2006).

A principal espécie de ostra cultivada para o comércio tanto no Brasil como no mundo é a *Crassostrea Gigas*, espécie não nativa e advinda do oceano pacífico (Figura18). Isto porque possui rápido crescimento e maior tolerância às variações da qualidade ambiental da água e do

substrato (FAO, 2010). A espécie pode se fixar a qualquer substrato rígido entre 5 e 40 m de profundidade e pode estar sujeita ao ar atmosférico durante os ciclos de marés (POLI, 2004). Possui tamanho comercial de 8 cm atingido, em média, em Santa Catarina, um período de 7 a 8 meses de cultivo (Boos e Barroso, 2020).

Figura 2:Crassostrea Gigas. (Fonte: Autora)



### 3.5 MODELAGEM FÍSICA

A modelagem física consiste na utilização de um modelo para reproduzir uma parte da realidade de forma simplificada (Ferreira et al, 2005). Essa metodologia, definida por Motta (1972) é denominada Teoria da Semelhança, e baseia-se na reprodução de um protótipo, sistema real, através de um modelo, sistema simplificado e equivalente. A construção de um modelo físico depende de alguns dos seguintes passos (Pereira et al., 2013):

1. Definição das escalas de semelhança: neste trabalho será utilizada a análise dimensional, que consiste em obter parâmetros adimensionais através das variáveis dimensionais que influenciam no fenômeno em estudo. A semelhança completa exige três tipos de semelhança: geométrica, cinemática e dinâmica:
  - a) Semelhança geométrica refere-se as proporções entre as dimensões físicas como por exemplo comprimento, largura, inclinação;
  - b) Semelhança cinemática: relacionada a movimentação das partículas e fluidos;
  - c) Semelhança dinâmica: relacionada às forças atuantes no escoamento. Os dois principais critérios para que se garanta equivalência de parâmetros hidráulicos no protótipo e no modelo são Número de Reynolds (Re) e Número de Froude (Fr).

A relação dos parâmetros entre modelo e protótipo é definida pelo que chamamos de Fator de Escala ( $N_x$ ):

$$N_x = \frac{X_p}{X_m} = \frac{\text{Valor de X no Protótipo}}{\text{Valor de X no Modelo}} \quad (8)$$

2. Instrumentação: serve para que se possa quantificar e avaliar os fenômenos desejados. Como por exemplo a utilização de sondas de níveis para determinar as alturas das ondas;
3. Calibração: para garantir que todos os ensaios possuam valores coerentes com os dados coletados em campo, é necessário fazer a calibração do modelo. A calibração envolve tanto a instrumentação como todo o aparato a ser utilizado.
4. Validação do modelo físico: após a calibração, o modelo deve ser capaz de reproduzir qualquer outra situação da qual se tenha dados de campo, mas que não tenham sido utilizados na calibração.

A calibração e validação garantem que os dados retirados do modelo representarão confiavelmente as mesmas situações no protótipo, fazendo-se as correlações necessárias através das escalas de semelhança.

## **CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 CANAL DE ONDAS**

O canal de ondas (Figura 19) em que foram realizados os ensaios físicos, possui 40 metros de comprimento por 1 metro de largura. As ondas são produzidas através de um batedor de ondas localizado a montante do canal. O batedor consiste em uma placa articulada no fundo, que é presa por alavancas também articuladas a um mecanismo que faz movimentos circulares e dessa forma, com movimentos para frente e para trás da placa, geram-se as ondas.

A jusante do canal, é necessário a construção de uma praia artificial para a dissipação das ondas, que no caso dos ensaios é de enrocamento. A altura máxima do canal é logo a frente do batedor de ondas e possui 1,10 metros. A 13,25 metros do batedor, a altura do fundo é elevada em 0,47 centímetros através de um degrau para facilitar o acesso para medição.

Figura 3: Vista Isométrica do Canal (fora de escala). ( Fonte: Autora.)

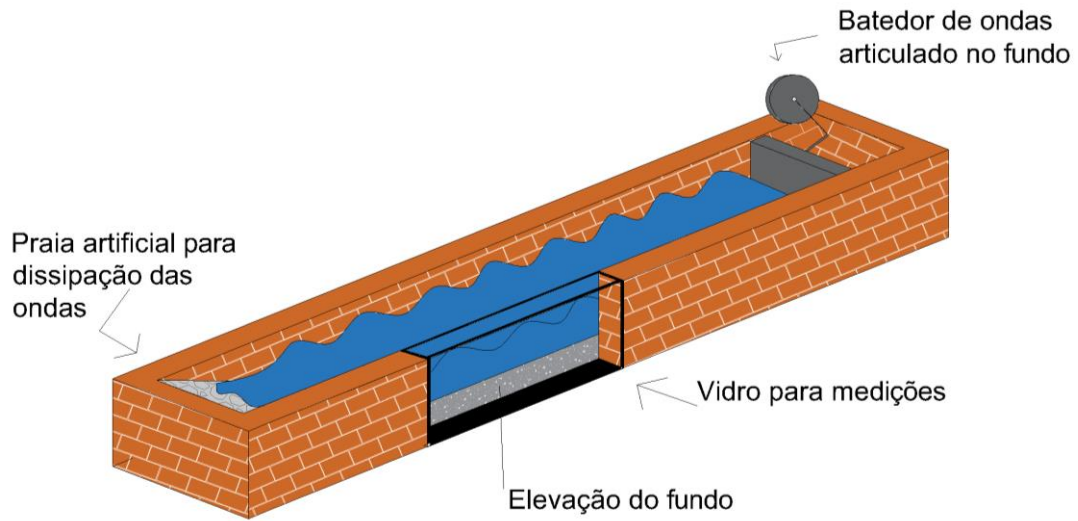
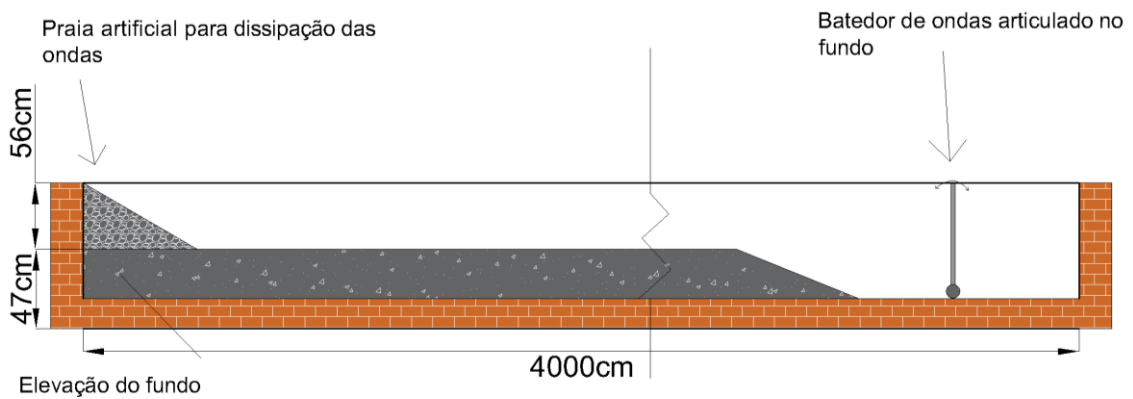


Figura 4: Vista lateral do canal. (Fonte: Autora.)



## 4.2 CONCHAS DE OSTRAS

As amostras de conchas de ostras utilizadas neste trabalho (Figura 21), foram fornecidas pelo Laboratório de Moluscos Marinhos (LMM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que estuda e produz larvas de moluscos a fim de incentivar a maricultura no estado.

Figura 5: Reservatório de conchas no LMM. (Fonte: Autora.)



Para que pudessem ser utilizadas passaram por um processo de limpeza descrito nos itens a seguir:

1. Inicialmente a amostra foi depositada em galões com uma mistura de água e cloro na proporção de 5 ppm (Tureck, 2021) (Figura22);

Figura 6: Conchas em galões de 50L. (Fonte: Autora.)



2. Após ficarem de molho por 12 horas, jateou-se a fim de eliminar os resíduos orgânicos que ainda estivessem atrelados as conchas (Figura 23);

Figura 7: Conchas sendo jateadas em uma caixa com furos. (Fonte: Autora.)



3. Por fim, foram secadas ao sol por mais de 12 horas (Figura 24);

Figura 8: Conchas secando ao sol. (Fonte: Autora.)



O passo seguinte, consistiu em definir quais conchas seriam utilizadas para o modelo, uma vez que a amostra do LMM possuía ostras de diversas espécies, vieiras e mexilhões. Por ser a espécie mais cultivada no Brasil e no mundo, a *Crassostrea Gigas* foi a escolhida. A amostra possuía conchas de variados tamanhos, como mostra a Figura 25.

Figura 9: *Crassostrea Gigas* de variados tamanhos. (Fonte: autora.)



#### 4.3 ESTRUTURA DE CONCHAS

A estrutura de conchas foi feita com tela de polietileno de alta densidade indicadas para aplicações em ambientes corrosivos, úmidos e expostos a intempéries, com abertura de 5 cm (Figura 26). Tal estrutura consiste em cilindros de 10 cm de diâmetro. O tamanho foi definido a fim de possuir pelo menos 3 camadas distintas para cumprir com a altura média definida no item 4.4 de 0,3 metros.



Figura 10: Estrutura de conchas (Fonte: autora.)



Ao todo foram feitas 10 estruturas de 10 cm de diâmetro cada e 1 metro de comprimento. Com elas, foram testados dois arranjos diferentes das estruturas das conchas com as três alturas de ondas, definidas no item 4.4, conforme Figura 27, 28 e 29.

Figura 11: Arranjos testados nos ensaios. (Fonte: Autora.)

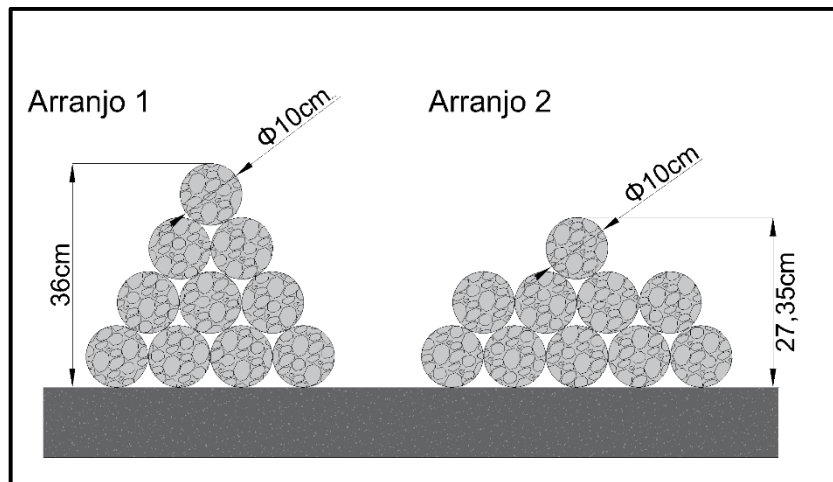


Figura 12: Arranjo 1 no canal. (Fonte: Autora.)



Figura 13: Arranjo 2 no canal. (Fonte: Autora)



#### 4.4 PARÂMETROS DO MODELO FÍSICO

A fim de reproduzir a situação real, considerando como local de aplicação a Baía da Babitonga, os parâmetros do protótipo foram definidos conforme passos a seguir:

1. Considerando que as ondas do local são ondas de baixa amplitude e ocasionadas principalmente por forças de ventos e de travessia de barcos as características da onda considerada é de  $H = 0,5 \text{ m}$  e  $T = 3 \text{ s}$ ;
2. Considerou-se a estrutura instalada em um local com profundidade de  $h = 1,0 \text{ metro}$ ;
3. E considerando a variação de maré, conforme descrita no item 3.4.1 de  $1,0 \text{ metro}$  aproximadamente, a altura máxima da profundidade onde a estrutura estará localizada é de  $2 \text{ metros}$ ;
4. Finalmente, definiu-se a altura máxima da estrutura de conchas como  $1,5 \text{ metro}$ ;

O limitador da análise dimensional para a definição dos parâmetros do modelo será a profundidade máxima possível para os ensaios no canal de ondas igual a  $0,4 \text{ metro}$ . Assim:

$$N_L = \frac{L_p}{L_m} = \frac{\text{Valor de L no Protótipo}}{\text{Valor de L no Modelo}} = \frac{2 \text{ m}}{0,4 \text{ m}} = 5 \quad (9)$$

Como  $N_L = 5$ , a altura da onda reproduzida no modelo será de  $0,1 \text{ metro}$  e a da estrutura será de aproximadamente  $0,3 \text{ metro}$ .

Para garantir a semelhança hidrodinâmica e encontrar os demais parâmetros do modelo, será utilizado o Número de Froude:

$$Fr_m = Fr_p \quad (10)$$



Ou seja:

$$\left(\frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}\right)_p = \left(\frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}\right)_m \quad (11)$$

O que em termos de escala (N) fica:

$$\frac{N_v}{\sqrt{N_g \cdot N_L}} = 1 \quad (12)$$

Onde:

- $N_v$  = escala de velocidade
- $N_g$  = escala de gravidade
- $N_L$  = escala de comprimento

E considerando:

$$N_v = \frac{N_L}{N_T} \quad (13)$$

Onde:

- $N_T$  = escala de tempo ou período das ondas

Temos:

$$\frac{N_v}{\sqrt{N_g N_L}} = \frac{N_L}{N_T} \frac{1}{\sqrt{N_g N_L}} = 1 \quad (14)$$

Utilizando o mesmo fluido no modelo considerando que não há diferença entre o fluido utilizado no laboratório, então  $N_g = 1$ . Logo:

$$N_T = \sqrt{N_L} \quad \text{ou} \quad T_m = \frac{T_p}{\sqrt{N_L}} \quad (15)$$

Ou seja, se  $N_L = 5$  então,  $N_t = 2,23$ .

Por fim, o período da onda do modelo será de  $T_m = 1,34$  s.

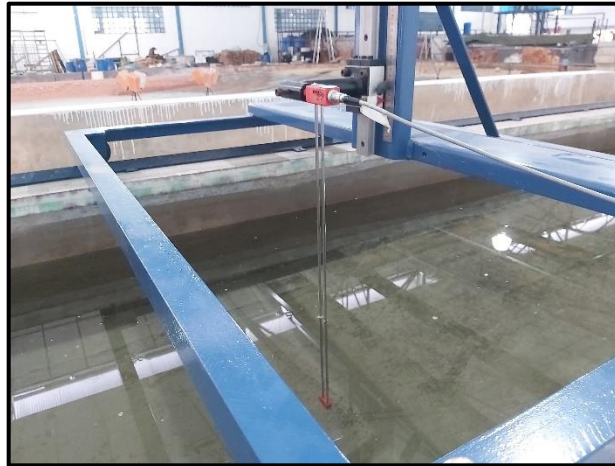
Para os ensaios, definiu-se testar três diferentes configurações: nível d'água abaixo do topo da estrutura ( $h = 0,25$  m), nível d'água no mesmo nível da estrutura ( $h = 0,30$  m) e nível d'água acima da estrutura ( $h = 0,40$  m).

## 4.5 EQUIPAMENTOS AUXILIARES

### 4.5.1 Sondas Capacitivas

Para mensurar a transformação das ondas antes e depois da estrutura de conchas, foram utilizadas sondas do tipo capacitivas fabricadas pelo DHI (Danish Hydraulic Institute) de modelo Type 202 (Figura 30). Estas sondas são formadas por dois eletrodos verticais e paralelos que medem a variação da condutividade elétrica devido à variação do nível da água. Elas são conectadas a um amplificador de sinais, por meio de um cabo, que faz a leitura em volts. Por fim, o sinal em volts é transferido para uma placa de aquisição (NI USB-6341-BNC) que digitaliza a variação da voltagem a uma taxa escolhida no software NI DAQ Express.

Figura 14: Sonda de nível no canal de ondas presa a uma estrutura feita sob medida. (Fonte: Autora)



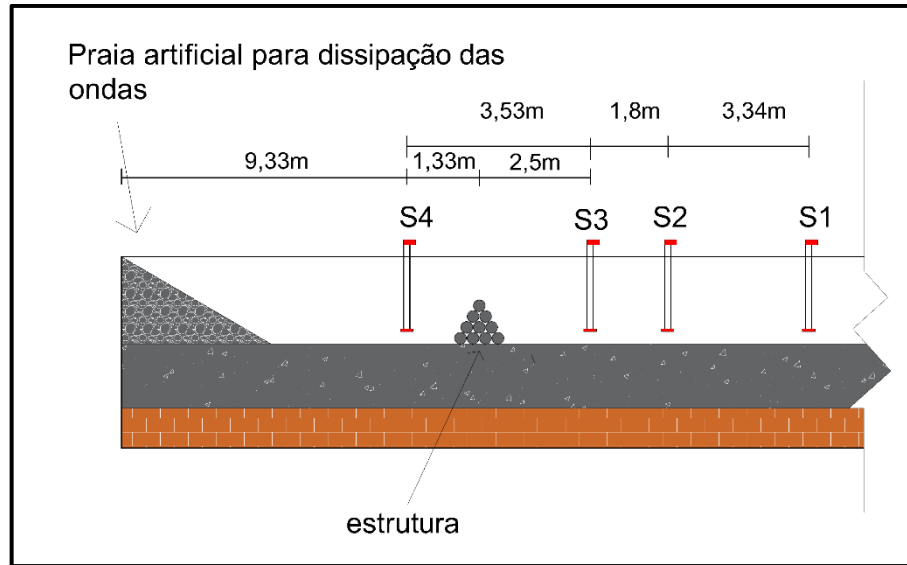
Mansard e Funke (1980) propõem, que para o cálculo da altura da onda refletida, o espaçamento entre as sondas deve ser desigual entre elas, diferente do comprimento de onda e ter uma relação entre 0,35 e 0,65. Assim, para definir o espaçamento entre as sondas quando alocadas ao canal, calculou-se o comprimento da onda utilizada nos ensaios através da Equação da Dispersão (Eq. 3) (Tabela 2).

Tabela 2: Comprimento de onda para cada profundidade

| <b>d (m)</b> | <b>L (m)</b> |
|--------------|--------------|
| 0,4          | 2,26         |
| 0,3          | 2,04         |
| 0,25         | 1,90         |

Como mostrado na tabela 2, o comprimento de onda não apresenta grandes variações com as diferentes profundidades utilizadas nos ensaios. Assim, os espaçamentos entre as sondas foram constantes durante todos os ensaios e com valores como mostra a figura 31.

Figura 15: Posicionamento das sondas no canal de ondas sendo a S1 a mais próxima do bater de ondas.  
(Fonte: Autora)



#### 4.5.2 Câmeras

Para o registo dos ensaios, utilizou-se um *Ipad Pro* da 5ª geração que capturou imagens (Figura 32) em formato de vídeo. Além dele, utilizou-se também uma *GoPro black 7*, por ser à prova d'água, para registros mais próximos da estrutura.

Figura 16: Localização das câmeras nos ensaios. (Fonte: Autora)



#### 4.6 PROCEDIMENTO DE ENSAIOS

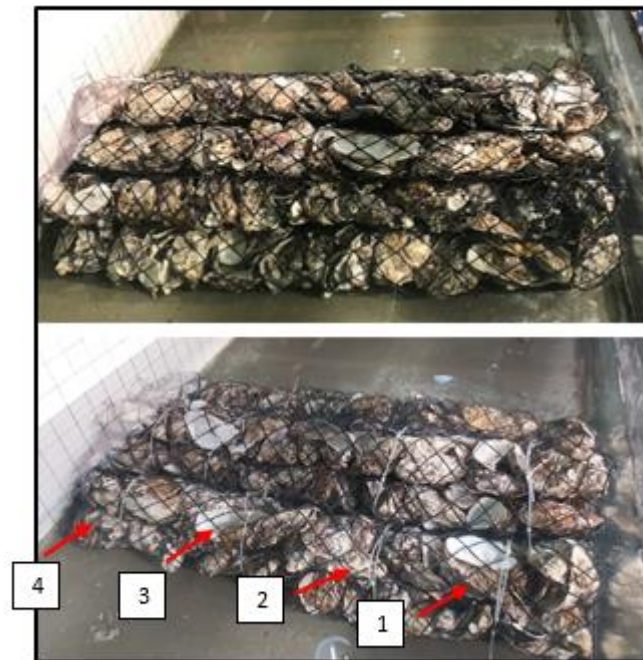
Antes de iniciar os ensaios com as estruturas, foram feitos testes no canal para definir os parâmetros do braço do batedor (Figura 33) com as combinações de profundidade do canal. Inicialmente, utilizou-se os dados da Curva do Batedor de ondas do IPH (Clemente, 2013) para definir qual seria a calibração do braço do gerador de ondas necessária para gerar a onda de 10 cm. Com o auxílio de uma sonda, pode-se verificar se os parâmetros iniciais correspondiam a esta altura, caso contrário, modificou-se o braço do batedor e repetiu-se o ensaio até que os dados fossem satisfatórios.

Figura 17: Mecanismo de ajuste do braço de alavanca (S) para a geração das ondas. (Fonte: Autora)



Os ensaios com as estruturas foram divididos em duas etapas diferentes: a primeira consistiu em testar os arranjos 1 e 2 apenas empilhados, sem amarrações. Já na segunda etapa, as estruturas foram amarradas de 3 em 3 com o objetivo de melhorar a estabilidade dos dois arranjos. Utilizou-se para a amarração abraçadeiras plásticas como mostra a Figura 34.

Figura 18: Primeiros ensaios imagem superior, estrutura empilhada. Imagem de baixo, estrutura presa com abraçadeiras plásticas de 3 em 3 e uma solta. (Fonte: Autora)



Para cada etapa, foram realizados seis ensaios utilizando a estrutura e os equipamentos descritos nos itens anteriores. Foram consideradas três alturas diferentes do nível da água ( $h$ ) para cada arranjo. A tabela 3 traz a nomenclatura utilizada para identificar cada ensaio bem como os parâmetros utilizados sendo a altura da onda ( $H$ ) e o período ( $T$ ) constantes e de valores respectivos de 0,1 m e 1,34 s.

Tabela 3: Parâmetros dos ensaios. (Fonte: Autora)

| Arranjo      | H25A1 | H30A1 | H40A1 | H25A2 | H30A2 | H40A2 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 1     |       |       | 2     |       |       |
| <b>h (m)</b> | 0,25  | 0,3   | 0,4   | 0,25  | 0,3   | 0,4   |
| <b>T (s)</b> | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  |
| <b>H (m)</b> | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   |

Para a realização dos ensaios fez-se os seguintes passos:

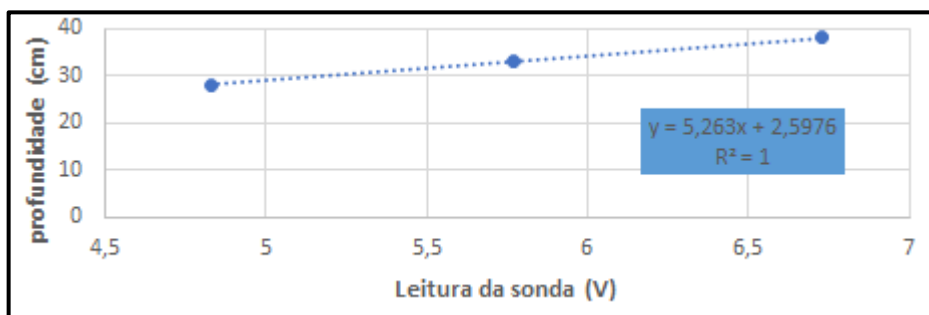
1. Posicionamento das sondas capacitivas no canal já preenchido de água (Figura 35).

Figura 19: Posicionamento das sondas no canal (Fonte: Autora)



2. Calibração das sondas: este passo é necessário fazer apenas uma vez, no início dos ensaios do dia. Fazer 3 leituras de voltagens e anotar quanto equivale cada voltagem em relação à altura da linha d'água em metros. Com estes dados é possível visualizar a reta de calibração da sonda (Figura 36) e assim, determina-se a equação de transformação dos dados das sondas:

Figura 20: Exemplo de reta de calibração. (Fonte: Autora)



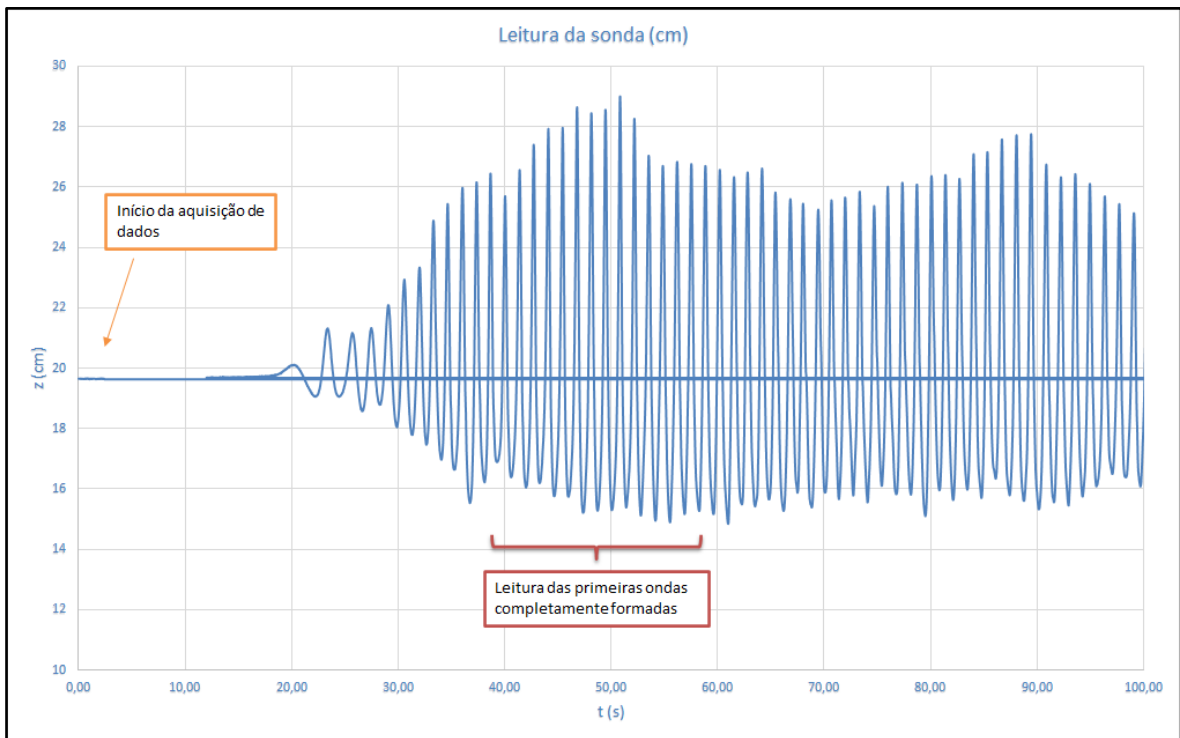
3. Posicionamento da estrutura no local desejado. Primeiro testando o arranjo 1 e depois o arranjo 2.
4. Esperou-se no mínimo 10 minutos para eliminação das pequenas oscilações dentro do canal antes do início de cada ensaio;
5. Ligou-se o batedor de ondas com frequência e a configuração do braço da alavanca conforme designado por 2 minutos;
6. Obteve-se a variação do nível d'água e das ondas em Volts e registrou-se todos os ensaios por vídeo.

## 4.7 TRATAMENTO DOS DADOS

### 4.6.1 Onda incidente

Após os ensaios, as variações do nível d'água obtidos em Volts, foram transformados para metros com a equação da calibração e com o auxílio da ferramenta Excel. No caso da onda incidente, utilizou-se apenas os dados da sonda S1, a mais próxima do batedor. Em seguida, obteve-se a altura da onda a partir da média das primeiras ondas, pelo método do cruzamento ascendente pelo eixo. Para determinar o trecho de ondas para a média, analisou-se visualmente através do gráfico das medições de nível da sonda (Figura 34), em qual tempo era formada a primeira onda completa.

Figura 21: Exemplo de aquisição de dados da sonda. (Fonte: Autora)



### 4.6.2 Onda transmitida

No caso da onda transmitida, seguiu-se os mesmos passos para a onda incidente, entretanto, com os dados da sonda S4 logo após a estrutura.

O coeficiente de transmissão  $K_t$ , foi calculado pela razão entre a altura da onda transmitida ( $H_t$ ) pela altura da onda incidente ( $H_i$ ), segundo a equação:



$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \frac{H_{S4}}{H_{S1}} \quad (16)$$

#### 4.6.3 Onda Refletida

Para o cálculo da onda refletida, assim como fez Cerdeira (2006), utilizou-se o método descrito por Mansard e Funke (1980), que separa a altura da onda incidente e refletida pelo método dos mínimos quadrados através do espectro cruzado das duas ondas. Para isso, utilizou-se os dados lidos pelas 3 sondas instaladas antes da estrutura.

O método dos mínimos quadrados supõe que a onda refletida se propaga na direção contrária da onda gerada e que é possível medir simultaneamente a sobreposição destas duas ondas em diferentes pontos. Após o cálculo do tempo que a onda gerada leva para chegar em cada sonda, e do cálculo da defasagem do pico espectral de cada uma pelo espectro cruzado, é possível identificar as alturas da onda incidente e da refletida e assim, calcular o coeficiente de reflexão.

Com o conhecimento da celeridade da onda (C) calculada pela Equação de Dispersão (2) e das distâncias das sondas ao batedor, é possível calcular os tempos de chegada da onda incidente e da onda refletida em cada uma das sondas para as 3 profundidades dos ensaios. Estes tempos estão identificados na tabela 4, onde:

- $\Delta$  = distância do batedor até a sonda
- T1 = tempo que leva a primeira onda completa a chegar na sonda
- T2 = tempo que leva para a onda refletida na estrutura chegar até a sonda
- T3 = tempo que leva para a onda refletida pela praia chegar na sonda



Tabela 4: Tempos de chegada da onda nas sondas. (Fonte: Autora)

|              | S1    | S2    | S3    | S4    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta$ (m) | 22    | 23,8  | 27,14 | 30,67 |
| C40 (m/s)    | 1,68  | 1,68  | 1,68  | 1,68  |
| T1 (s)       | 13,10 | 14,17 | 16,15 | 18,26 |
| T2 (s)       | 23,42 | 21,12 | 19,13 | 0     |
| T3 (s)       | 34,52 | 33,45 | 31,46 | 29,4  |

|              | S1    | S2    | S3    | S4    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta$ (m) | 22    | 23,8  | 27,14 | 30,67 |
| C30 (m/s)    | 1,52  | 1,52  | 1,52  | 1,52  |
| T1 (s)       | 14,47 | 15,66 | 17,86 | 20,18 |
| T2 (s)       | 25,88 | 23,34 | 21,14 | 0     |
| T3 (s)       | 38,05 | 36,97 | 34,78 | 32,5  |

|              | S1    | S2    | S3    | S4    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta$ (m) | 22    | 23,8  | 27,14 | 30,67 |
| C25 (m/s)    | 1,42  | 1,42  | 1,42  | 1,42  |
| T1 (s)       | 15,49 | 16,76 | 19,11 | 21,60 |
| T2 (s)       | 27,70 | 24,99 | 22,63 | 0     |
| T3 (s)       | 40,65 | 39,58 | 37,23 | 34,7  |

Por fim, com o auxílio do pacote SAM (Simulação da Agitação Marítima), desenvolvido por Capitão e Carvalho (2001) no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC-Portugal), e com os dados lidos em Volts pelas 3 sondas instaladas antes da estrutura, foi possível calcular o coeficiente de reflexão da estrutura pelo método de Mansard e Funke (1980).

Antes de utilizar o módulo, é necessário transformar os dados lidos em Volts para metros através das equações de calibração. Após, com o auxílio do módulo, calculou-se para diferentes intervalos de 10 segundos, o coeficiente de reflexão da onda. Através de testes, observou-se que o período de estabilização do coeficiente se deu em um intervalo médio de 45 a 50 segundos após o início do experimento. Isto coincide com a análise gráfica feita para identificar a chegada da primeira onda completamente formada nas sondas.

Para comparar os resultados de reflexão deste trabalho com os de estruturas convencionais, utilizou-se a equação de Seelig (1980) abaixo para estimar o coeficiente de reflexão ( $K_r$ ) de quebra-mares de enrocamento. Utilizou-se como parâmetros a e b os mesmos que Benoit e Teisson (1994), sendo respectivamente 0,6 e 6,6, por terem utilizado parâmetros de profundidade e onda parecidos com os deste trabalho.

$$K_r = \frac{a\xi^2}{(b + \xi^2)} \quad (17)$$

Onde:

- $a = 0,6$
- $b = 6,6$

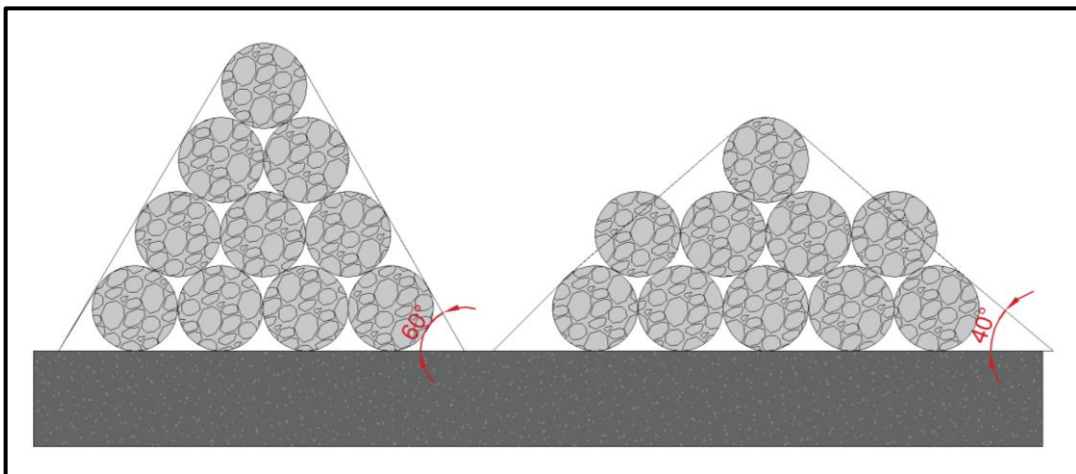
E  $\xi$  é o chamado parâmetro de Iribaren, o qual é definido como:

$$\xi = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H}{gT}}} \quad (18)$$

Onde:

- $\alpha$  é definido na Figura 38.
- $H$  = altura da onda
- $g$  = gravidade
- $T$  = período da onda

Figura 22: Ângulos das estruturas para o cálculo teórico. (Fonte: Autora)



#### 4.6.4 Energia dissipada

Utilizando a equação de energia da onda definida em 3.2.1, e considerando que a energia da onda incidente será a soma da energia transmitida, refletida e dissipada conforme:

$$E_i = E_t + E_r + E_d \quad (19)$$

Considerando que utilizou-se os mesmos dados da onda gerada, pode-se substituir a energia pelas alturas de onda incidente, transmitida e refletida da seguinte forma:

$$H_i^2 = H_t^2 + H_r^2 + E_d \quad (20)$$

Esta mesma equação, quando substituída pela definição de coeficiente de transmissão e reflexão temos:

$$1 = K_t^2 + K_r^2 + \frac{E_d}{H_i^2} \quad (21)$$

Isolando o  $E_d$ , temos a equação para o cálculo da Energia dissipada:

$$E_d = (1 - K_t^2 - K_r^2)H_i^2 [\text{Jm}^3/\text{Nm}^2] \quad (22)$$

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ENSAIOS PRELIMINARES

Os resultados dos ensaios preliminares de calibração do braço do batedor encontram-se na tabela 5 com a frequência (F) e a amplitude do braço do gerador de ondas (S) em função do período (T), da altura da linha d'água (h) e da altura da onda gerada (H) do modelo.

Tabela 5: Ensaios de calibração do batedor de ondas. (Fonte: Autora)

| Ensaio        | 1           | 2            | 3            | 4            | 5           | 6           | 7           | 8          | 9           | 10           | 11           |
|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>F (Hz)</b> | 63          | 63           | 63           | 63           | 63          | 63          | 63          | 63         | 63          | 63           | 63           |
| <b>S (m)</b>  | 0,3         | 0,35         | 0,4          | 0,39         | 0,37        | 0,36        | 0,26        | 0,28       | 0,3         | 0,292        | 0,35         |
| <b>T (s)</b>  | 1,34        | 1,34         | 1,34         | 1,34         | 1,34        | 1,34        | 1,34        | 1,34       | 1,34        | 1,34         | 1,34         |
| <b>h (m)</b>  | 0,4         | 0,3          | 0,25         | 0,25         | 0,25        | 0,25        | 0,4         | 0,4        | 0,4         | 0,4          | 0,3          |
| <b>H (cm)</b> | <b>11,4</b> | <b>10,63</b> | <b>11,32</b> | <b>11,17</b> | <b>10,3</b> | <b>9,99</b> | <b>9,16</b> | <b>9,6</b> | <b>10,2</b> | <b>10,13</b> | <b>10,03</b> |

Assim, com ensaios de conferência, pode-se definir os parâmetros de ajuste no batedor de ondas (Figura 33) necessários para a geração da onda de projeto ( $H = 0,10$  m e  $T = 1,34$  s) nos 3 valores de profundidade (Tabela 6).

Tabela 6: Parâmetros do batedor de ondas. (Fonte: Autora)

| F (Hz) | S (cm) | h (m) |
|--------|--------|-------|
| 63     | 0,36   | 0,25  |
| 63     | 0,35   | 0,3   |
| 63     | 0,29   | 0,4   |

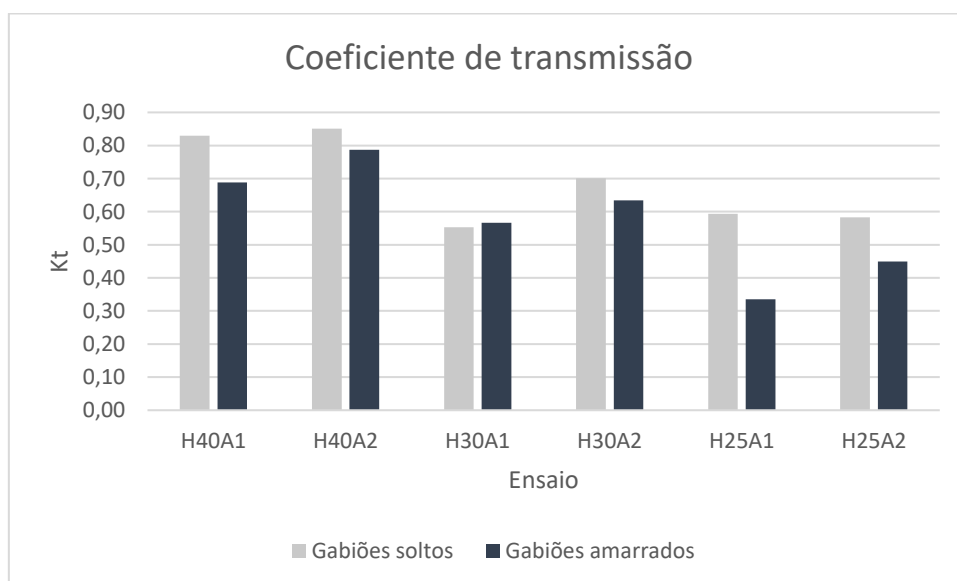
## 5.2 TRANSMISSÃO

Os coeficientes de transmissão calculados através do processo descrito no item 4.6.2, (Figura 39), tanto para os gabiões soltos quanto para os amarrados, variaram de acordo com os diferentes parâmetros: profundidade, arranjo e amarrações.

Quanto aos arranjos, 1 e 2, para a mesma profundidade, no caso dos gabiões soltos não foi possível identificar um padrão de comportamento. Já para os gabiões amarrados, o arranjo 1 em todos os ensaios, mostrou-se mais eficaz na dissipação de energia visto que o coeficiente de transmissão apresenta menores valores.

Com os resultados é possível identificar também, que quanto menor a profundidade em relação a estrutura, menor é a transmissibilidade da onda pela estrutura. Essa mesma conclusão é feita quando comparados os resultados dos mesmos parâmetros de ensaio entre a estrutura amarrada e solta. Com a amarração, os coeficientes de transmissão apresentam-se majoritariamente mais baixos do que sem a amarração.

Figura 23: Gráfico com os coeficientes de transmissão calculados tanto para os gabiões soltos quanto para os gabiões amarrados. (Fonte: Autora)



## 5.3 REFLEXÃO

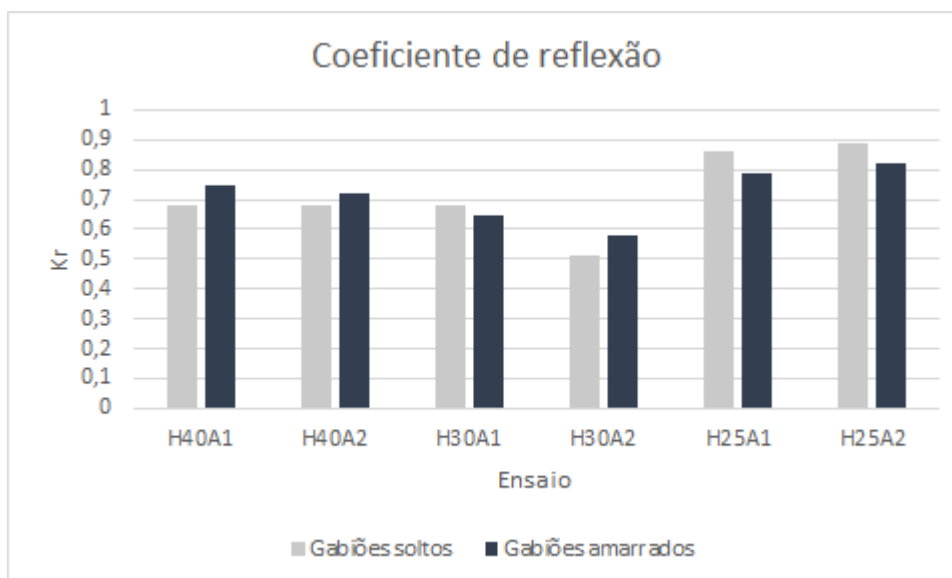
Os coeficientes de reflexão calculados variaram de acordo com cada ensaio como mostra a Figura 40. Quando os gabiões estão completamente submersos, ( $d = 40$  cm), o coeficiente de reflexão apresenta maiores valores, o que significa maior reflexão, no caso dos gabiões amarrados.

No caso da profundidade de 30 cm, quando a estrutura está na mesma altura, que a linha d'água, no caso do arranjo 01, a reflexão é menor com o gabião amarrado. Já no caso do arranjo 2, em que a estrutura ainda está parcialmente submersa, acontece o mesmo que na profundidade de 40 cm, ou seja, a reflexão com os gabiões amarrados é maior do que com os gabiões soltos.

Na situação em que a estrutura está com parte exposta e parte submersa nos dois arranjos ( $d = 25$  cm), é a que apresenta os maiores valores de coeficiente de reflexão. Sendo que, para os arranjos amarrados, esse coeficiente foi um pouco menor nos dois casos.

Apesar da tendência de haver maiores coeficientes de reflexão quanto maior a altura da água em comparação com a altura da estrutura, não é possível definir um padrão exato de comportamento. Isto se deve a grande variação de valores entre os ensaios.

Figura 24: Gráfico com os coeficientes de reflexão calculados tanto para os gabiões soltos quanto para os gabiões amarrados. (Fonte: Autora)



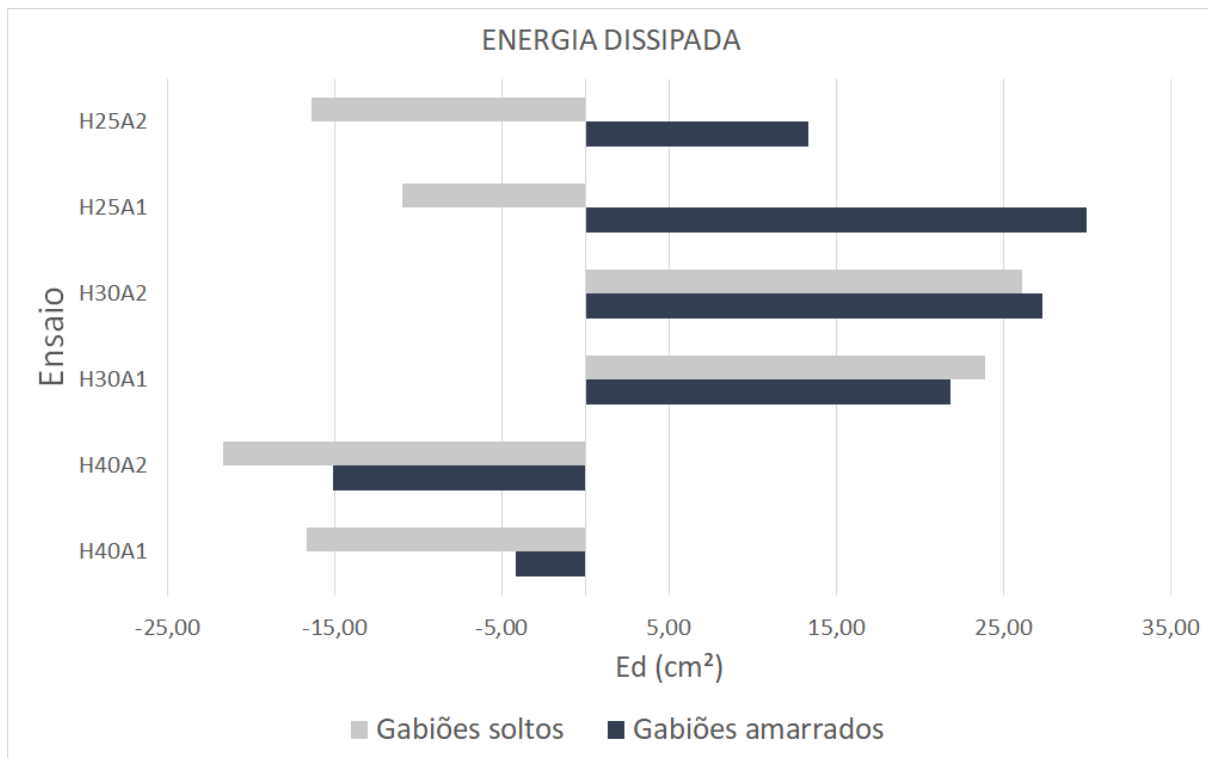
#### 5.4 ENERGIA DISSIPADA

Os resultados da análise da energia dissipada variaram bastante para cada ensaio, conforme Figura 41. Ainda, houveram valores negativos, os quais podem indicar influência da energia de outras fontes nos dados das sondas, tal como a reflexão pela praia ou a da oscilação das estruturas. Isso pode ocorrer devido a inúmeros fatores que precisam ser estudados, e por isso, os dados obtidos com este trabalho servem apenas para comparação entre os ensaios.

Quanto maior a energia dissipada, melhor é o desempenho da estrutura neste quesito. Os gabiões amarrados apresentaram maiores valores de energia dissipada na maioria dos

ensaios. Quanto ao arranjo, o único ensaio que obteve valores positivos foi o H30, destacando-se o arranjo 2 em quantidade de energia dissipada.

Figura 25: Energia dissipada. (Fonte: Autora)



## 5.5 ESTABILIDADE

A estabilidade das estruturas foi analisada através das filmagens feitas durante os ensaios que tiveram duração média de 2 minutos. Analisou-se dois tipos de movimentações dos gabiões:

1. Movimentos para frente e para traz denominado “Balanço” (Figura 42);
2. Deslocamento de um ou mais gabiões, afastando-se da posição original (Figura 43);
3. Colapso total da estrutura (Figura 44).

Figura 26: Exemplo de balanço da estrutura. Ensaio H40A1, gabiões soltos. (Fonte: Autora)

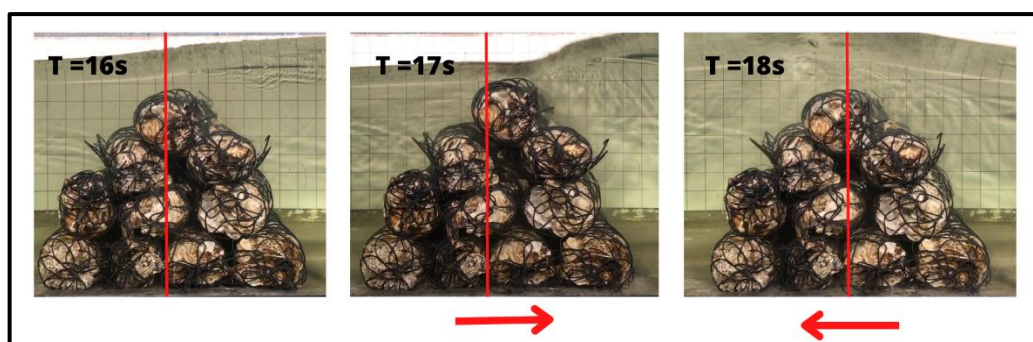


Figura 27: Exemplo de deslocamento da estrutura. Ensaio H40A1, gabões amarrados. (Fonte: Autora)

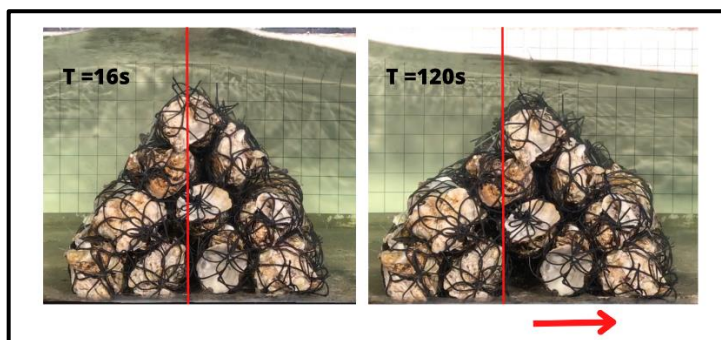
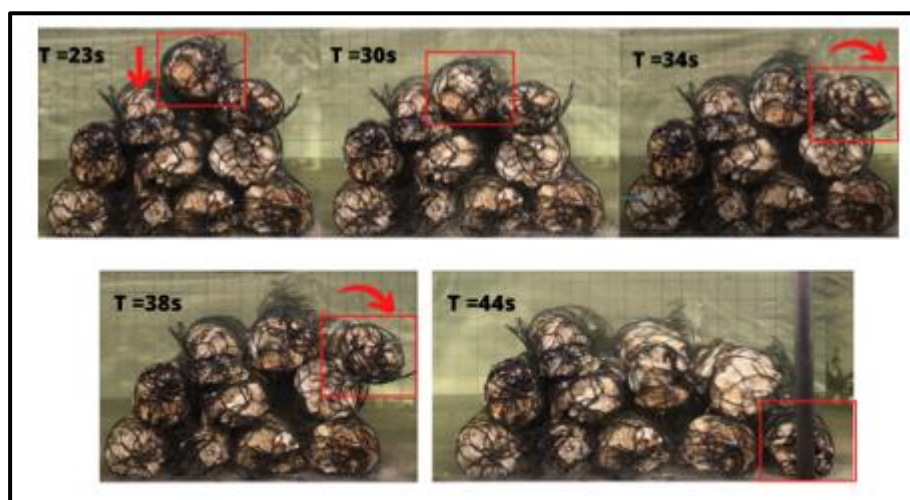


Figura 28: Exemplo de colapso total da estrutura. Ensaio H40A1, gabões soltos. (Fonte: Autora)



Em todos os ensaios (Tabela 7 e 8), tanto com gabões soltos quanto com amarrados, foi possível identificar o movimento de balanço, porém, nos casos dos gabões soltos, este balanço foi mais intenso, ocasionando inicialmente o deslocamento de um gabião e por fim o colapso da estrutura inteira. Apenas o ensaio H40A2 dos gabões soltos não foi identificado o colapso da estrutura.

No caso dos gabões amarrados, apesar de alguns se afastarem um pouco da posição inicial devido ao balanço, não ocorreu o colapso da estrutura.

Tabela 7: Tabela resumo dos ensaios onde T1 = tempo que inicia o deslocamento. Gabões soltos. (Fonte: Autora)

| Ensaio | balanço | deslocamento | T1 (s) | colapso |
|--------|---------|--------------|--------|---------|
| H40A1  | sim     | sim          | 44     | sim     |
| H40A2  | sim     | sim          | 86     | não     |
| H30A1  | sim     | sim          | 36     | sim     |
| H30A2  | sim     | sim          | 69     | sim     |
| H25A1  | sim     | sim          | 25     | sim     |
| H25A2  | sim     | sim          | 22     | sim     |

Tabela 8: Tabela resumo dos ensaios onde T1 = tempo que inicia o deslocamento. Gabiões amarrados. (Fonte: Autora)

| Ensaio | balanço | deslocamento | T1 (s) | colapso |
|--------|---------|--------------|--------|---------|
| H40A1  | sim     | sim          | 120    | não     |
| H40A2  | sim     | sim          | 74     | não     |
| H30A1  | sim     | sim          | 33     | não     |
| H30A2  | sim     | sim          | 22     | não     |
| H25A1  | sim     | sim          | 32     | não     |
| H20A2  | sim     | sim          | 73     | não     |

## 5.6 COMPARAÇÃO COM OUTROS AUTORES

### 5.6.1 Estruturas de conchas

Para a comparação com outros autores, foi calculado o coeficiente adimensional  $R^*$  segundo a equação:

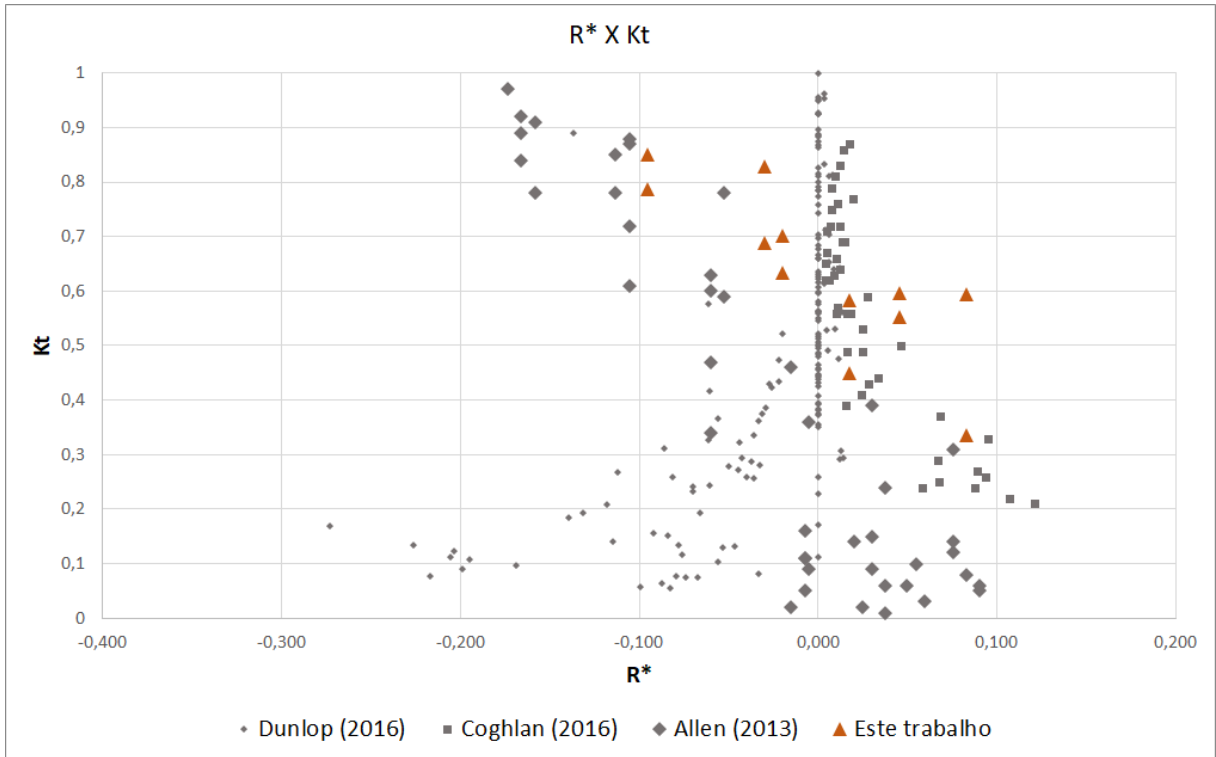
$$R^* = \frac{R_c}{T_p \sqrt{g \cdot H_i}} \quad (23)$$

Onde  $R_c$  é o *freeboard*, ou seja, a altura da estrutura menos a altura da coluna d'água.  $R_c$  é positivo quando a profundidade de água é menor que a altura da estrutura e negativa quando a estrutura é submersa.  $T_p$  e  $H_i$  são respectivamente o período e a altura da onda gerada, e  $g$  a gravidade.

O gráfico da Figura 45, relaciona o coeficiente de transmissão ( $K_t$ ) com a variável adimensional  $R^*$  e apresenta a comparação dos resultados deste trabalho com Allen (2013), Dunlop (2016) e Coghlan et al (2016) que também testaram em laboratório o comportamento de conchas ensacadas para a atenuação de ondas.

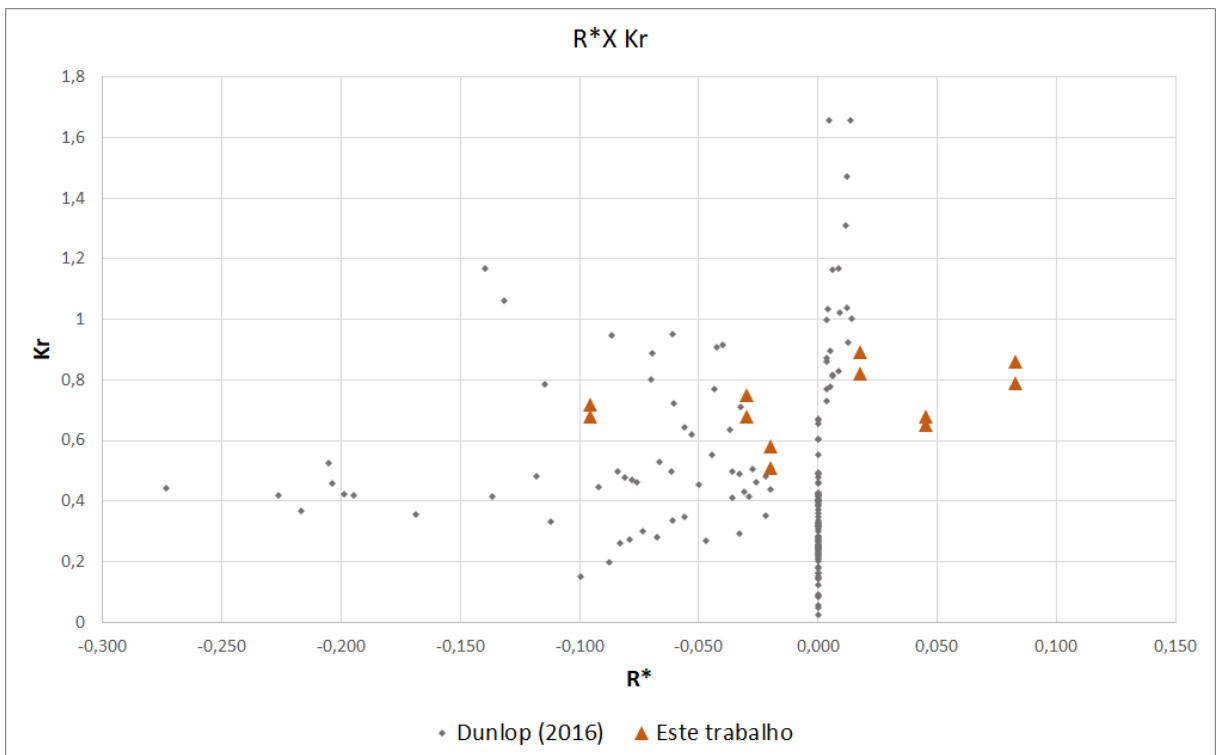


Figura 29: Comparação  $K_t$  X  $R^*$  com outros autores que também utilizaram gabiões de conchas. (Fonte: Autora)



Dunlop (2016) também calculou o coeficiente de reflexão ( $K_r$ ) para os mesmos valores de altura e profundidade anteriores e seus dados foram comparados com os deste trabalho na Figura 46.

Figura 30: Comparação  $K_r$  X  $R^*$  com outros autores que também utilizaram gabiões de conchas. (Fonte: Autora)

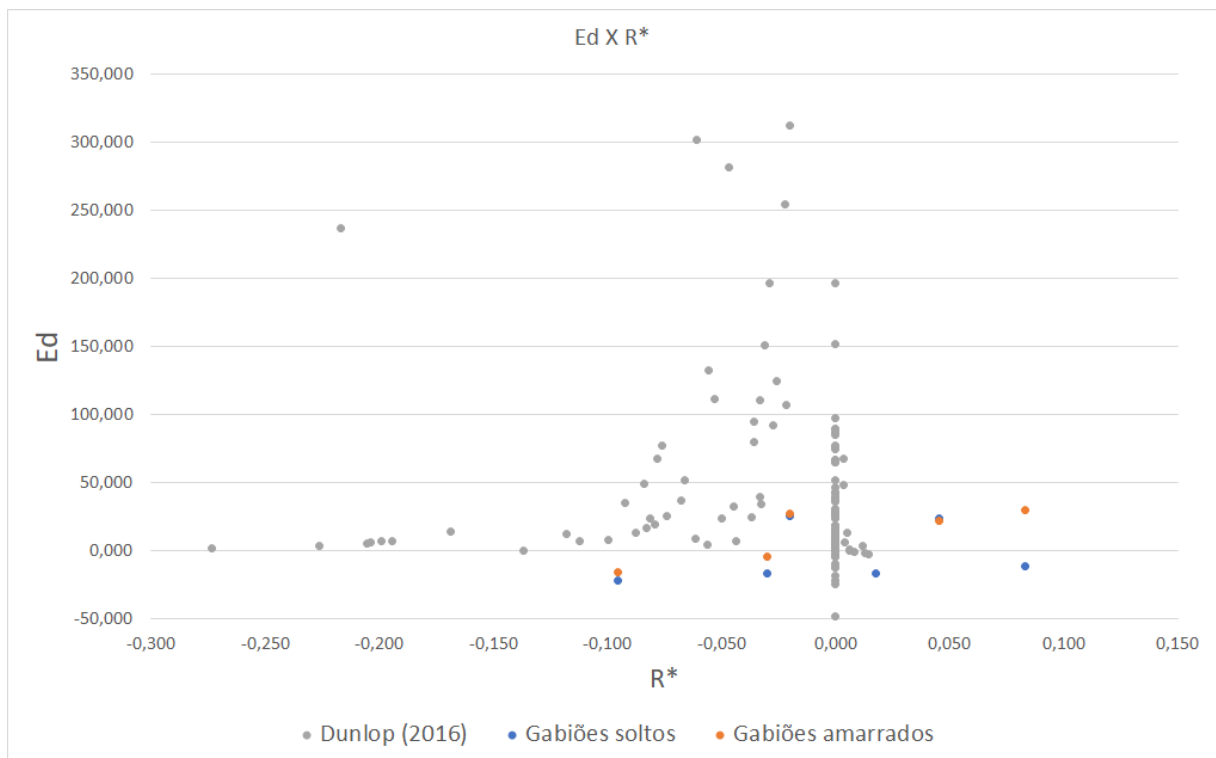


No caso do coeficiente de transmissão (Figura 45), os valores deste trabalho apresentaram a mesma tendência que os dados de Coghlan et al (2016) e Allen (2013), à medida que o  $R^*$  aumenta, o  $K_t$  diminui, ou seja, melhores resultados de transmissão. Entretanto, quando comparados com os valores de Dunlop (2016) os dados divergem bastante. Isso pode se justificar pela diferença da largura das estruturas testadas por ele.

Já para os coeficientes de reflexão (Figura 46), a tendência dos dados fica um pouco mais similar aos dados apresentados por Dunlop (2016). Existe o aumento do  $K_r$  à medida que a profundidade diminui em relação a altura da estrutura.

A energia dissipada também foi comparada com o trabalho de Dunlop (2016) (Figura 47) e este trabalho obteve valores menores de dissipação de energia. O que se justifica devido aos coeficientes tanto de transmissão quanto de reflexão terem tido valores menores também. Mas como este trabalho, Dunlop também concluiu que para avaliar melhor os dados, devido aos valores negativos, são necessárias outras análises, com outras equações de energia.

Figura 31: Energia dissipada X  $R^*$ . (Fonte: Autora)



### 5.6.2 Estruturas convencionais

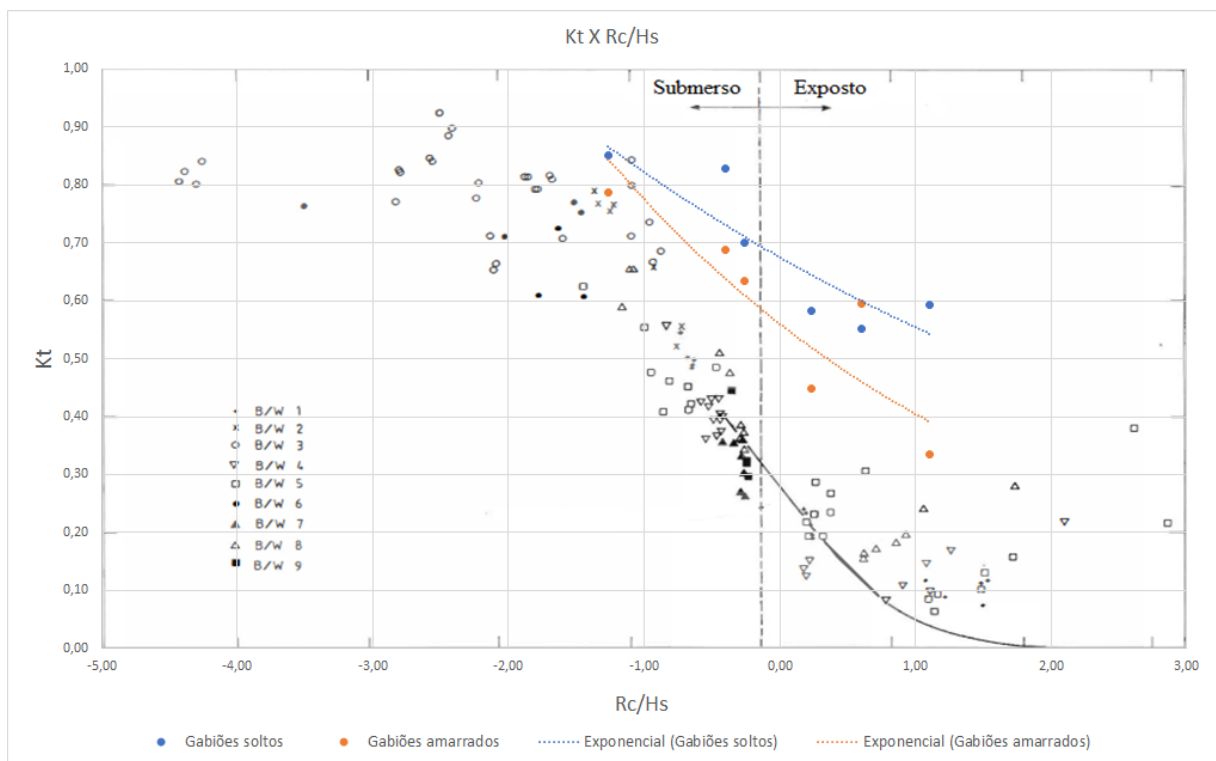
Powell e Allsop (1985) abordam em seu estudo a performance hidráulica e estabilidade de quebra-mares convencionais de diversos autores. Entre eles, está o trabalho de Seelig (1980),

o qual fez testes com quebra-mares construídos com duas camadas de diferentes pedras angulares em formatos de trapézio com diferentes tamanhos de base e topo. Os dados foram compilados em um gráfico de coeficiente de transmissão ( $K_t$ ) por um parâmetro adimensional calculado pela razão do *freeboard* pela altura da onda ( $H_s$ ) (Equação 24).

$$\frac{R_c}{H_s} \quad (24)$$

Através do gráfico (Figura 48) é possível perceber que quanto maior a altura da estrutura e menor a altura da onda, menor é a sua transmissibilidade. Quando comparados a estes dados os gabiões de conchas possuem o mesmo comportamento, porém, com maior coeficiente de transmissibilidade para os mesmos parâmetros de altura da estrutura e da onda.

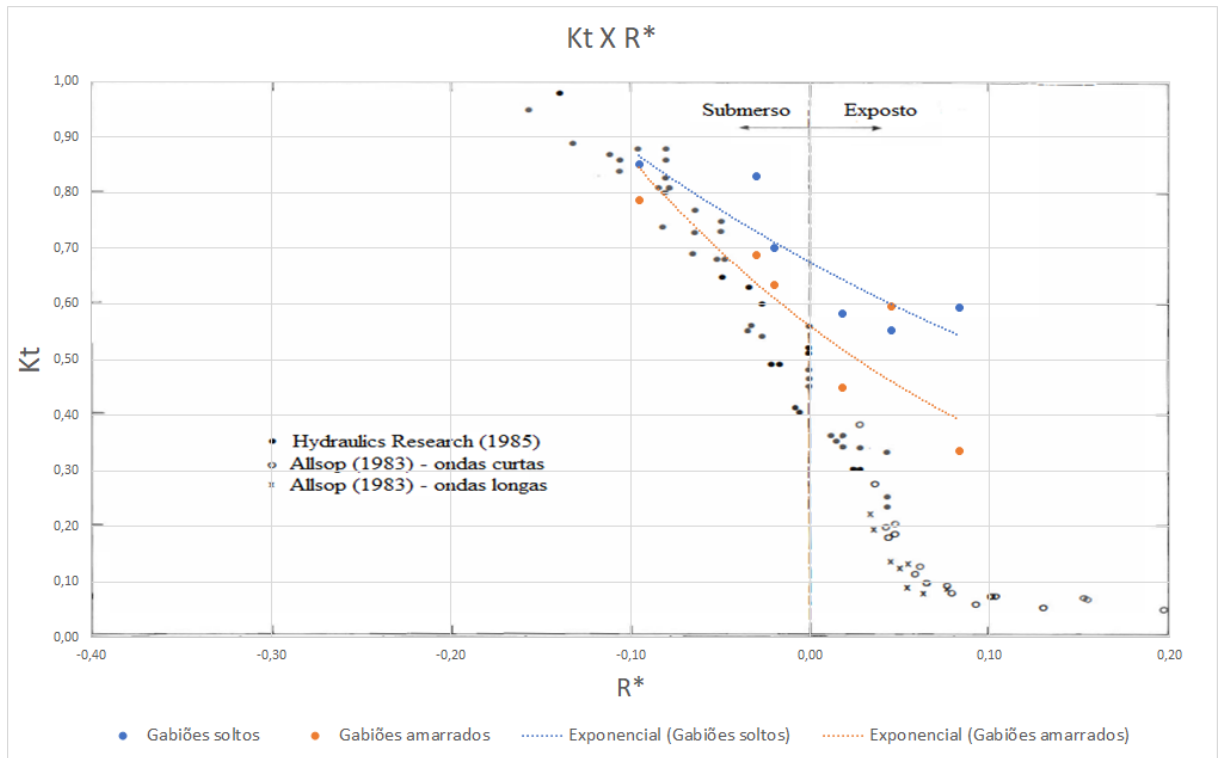
Figura 32: Coeficiente de transmissão X  $R_c/H_s$ . (Fonte: modificado de Powell e Allsop (1985))



Ainda no trabalho de Powell e Allsop (1985), estes mesmos parâmetros são calculados e comparados com os dados do trabalho de Allsop (1983) e HR (1985) (Figura 49). Allsop (1983) testou um quebra mar com 3 camadas diferentes enquanto HR (1985) testou 3 quebra mares de uma camada de rocha apenas e diferentes tamanhos de crista. Um dos argumentos levantados para a diferença entre as curvas do gráfico (Figura 48), é que a permeabilidade do material utilizado para a construção do quebra-mar pode ter influenciado nos resultados, o que justifica a maior similaridade dos resultados dos gabiões de conchas com HR (1985) que utilizou quebra mares de apenas um material permeável.

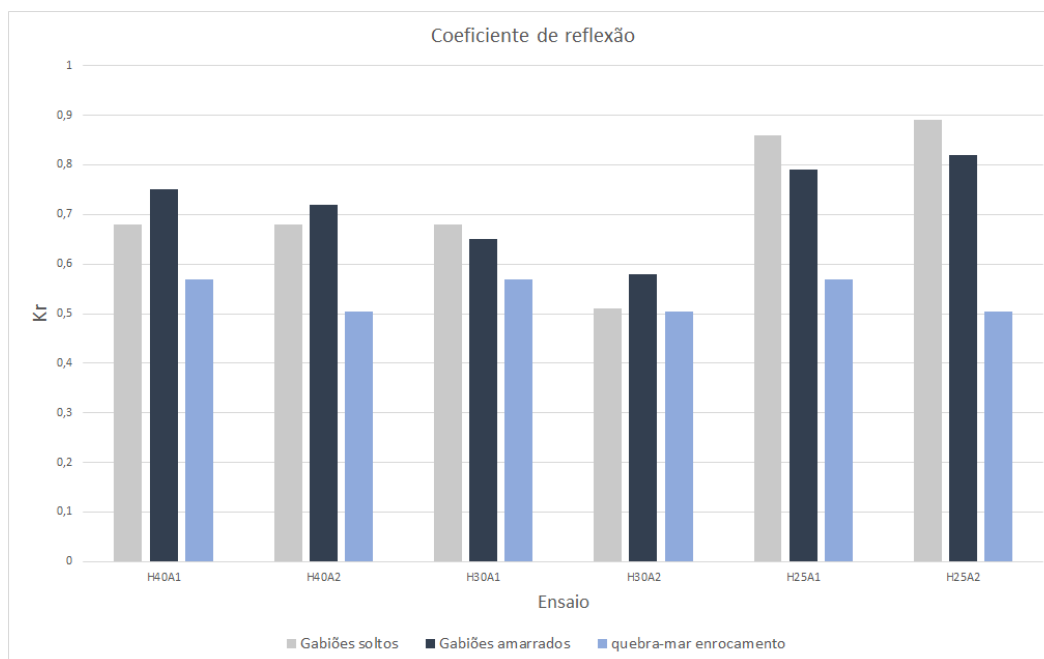
Na Figura 49, o coeficiente  $K_t$  foi plotado no gráfico em função da variável adimensional  $R^*$ .

Figura 33: Coeficiente de transmissão X  $R^*$ . (Fonte: modificado de Powell e Allsop (1985))



No gráfico da Figura 50, estão apresentados os valores de  $K_r$  calculados para a estrutura utilizada neste trabalho e os calculados para quebra-mares de enrocamento pela equação de Seelig (1980) (Eq.24). É possível observar que os valores de  $K_r$  calculados neste trabalho, apresentam em todas as situações, valores semelhantes, porém, sempre maiores que os calculados pela equação de Seelig (1980).

Figura 34: coeficientes de reflexão comparados com estruturas convencionais.



## CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES

Ao final de todo o trabalho, algumas comparações podem ser feitas entre os diferentes parâmetros dos ensaios: arranjo 1 e 2, profundidade da linha d'água e gabiões amarrados ou soltos.

Quanto aos arranjos, observou-se que para a transmissão da onda (Figura 39), o arranjo 1 possui desempenho melhor na maioria dos ensaios uma vez que apresenta valores menores de  $K_t$ . Enquanto para a reflexão da onda (Figura 40), acontece o contrário, ou seja, na maioria dos ensaios, o coeficiente de reflexão foi maior para o arranjo 1.

Ao avaliar o efeito da amarração da estrutura, para a transmissão (Figura 39), os gabiões amarrados obtiveram coeficientes menores. Já para a reflexão (Figura 40), os gabiões submersos obtiveram menores coeficientes quando soltos e maiores quando amarrados.

Tratando-se da estabilidade (Tabelas 7 e 8), fica claro que os gabiões amarrados possuem maior resistência a deformação, uma vez que não ocorreu o colapso da estrutura em nenhum ensaio, como aconteceu com os soltos.

Quanto a energia (Figura 41), os valores negativos significam que há energia sendo criada durante o processo além da energia das ondas, interferindo na leitura de altura de ondas, e por causa disso, não é possível avaliar os resultados com clareza. O único padrão observado é que os gabiões amarrados dissipam mais energia que os soltos.

A altura da linha d'água influenciou de forma clara, apenas na avaliação quanto a transmissibilidade da estrutura (Figura 39). Quanto menor a profundidade no canal, menores os coeficientes, ou seja, melhor desempenho da estrutura quanto a atenuação das ondas.

De forma geral, os gabiões de conchas apresentam desempenho bem semelhante aos de outros gabiões de conchas da literatura. Principalmente aos testados por Allen (2013) (Figura 45), isso pode se justificar por ter sido o trabalho com os parâmetros de estrutura e onda mais semelhantes.

Quando comparado com estruturas convencionais (Figura 48), os gabiões também obtiveram resultados satisfatórios. Apesar de apresentarem coeficientes de transmissão e reflexão maiores nas comparações, a ordem de grandeza se manteve, mostrando-se como um potencial substituto de estruturas convencionais quando avaliadas outras características, como por exemplo o impacto ambiental. Importante observar também, que os resultados mais semelhantes são aqueles em que se compara com um material mais equivalente às conchas.

Por fim, conclui-se que os gabiões de conchas possuem resultados promissores na utilização para a atenuação de ondas. Sendo que o seu melhor desempenho acontece quando estão amarrados entre si, melhorando a sua estabilidade. Além disso, também possuem melhores resultados quando estão em profundidades menores que o tamanho da estrutura. É válido observar também, que os gabiões de conchas podem servir de substrato para o crescimento de outras espécies, e como consequência positiva dessas incrustações, aumentam o seu tamanho, melhorando ainda mais o seu desempenho.

Como os parâmetros dos ensaios foram definidos de acordo com as características pesquisadas da Baía da Babitonga, conclui-se também, que a estrutura é aplicável nesta localidade.

Para a melhor validação dos resultados, é interessante que outros testes sejam feitos variando também outros parâmetros como as características da onda. No capítulo a seguir serão detalhadas as propostas para os trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 7: PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para uma melhor avaliação do desempenho dos gabiões de conchas sugere-se que sejam realizados outros ensaios:

1. Com uma maior variedade de arranjos;
2. Com outras variações de profundidade do canal;

3. Com variações das características das ondas: período e altura.

Também é interessante que se faça ensaios com outros métodos de medições como por exemplo a utilização de medidores de velocidade, no caso da reflexão. E que se pense em melhores formas de medir a dissipação de energia, de forma que não haja valores negativos.

Para uma melhor avaliação da aplicabilidade dos gabiões em um local específico sugere-se que:

1. Sejam feitos estudos em campo do local escolhido;
2. Seja feito um orçamento para a construção dos gabiões;
3. Seja feito um estudo da viabilidade quanto as normas marinhas para a disposição dos gabiões no local de estudo;
4. Sejam feitos testes reais no local de estudo.

## REFERÊNCIAS

- AIRY, G. B. Tides and waves. *Encyc. Metrop., Art.*, 192: 241 – 396. 1845.
- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. *Engenharia Portuária*. Editora Blucher. ISBN: 978-85-2121-319-2. 2ª edição, 2019.
- ALLEN, R.J. *Physical Modeling of Wave Transmission for Submerged and Emergent Breakwaters used in Living Shorelines*. 2013
- ALLSOP, N.W.H. “Low-crest breakwaters, studies in random waves” *Proc Coastal Structures* 83, ASCE, Arlington, 1983.
- BENOIT, M.; TEISSON, C. Laboratory comparison of directional wave measurement systems and analysis techniques. *Coastal Engineering Proceedings*, v. 1, n. 24, 29 Jan. 1994.
- BOOS, M. A.; BARROSO, M. B. Cultivo experimental de ostras *Crassostrea gigas* na comunidade tradicional de Lajinha, sistema estuarino do rio Piraque-Mirim, distrito de Santa Cruz, Aracruz, ES. *Braz. J. Anim. Environ. Res.*, Curitiba, v. 3, n. 4, p. 2909-2915, out./dez. 2020.
- BUTTLE, J.M. Streamflow response to headwater reforestation in the Ganaraska River basin, southern. Ontario, Canada. 2011.
- CAPITÃO, R.; CARVALHO, M.M. (2001). Pacote de software geral para tratamento e geração de agitação marítima de curto prazo. Aplicação à geração em canal de ondas irregulares de perfis de agitação pré-estabelecidos. Seminário sobre a Hidroinformática em Portugal, Lisboa, Novembro de 2001.
- CERDEIRA, V.S.R. Estudo sobre as características físicas de um canal de ondas. Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2006.
- CLEMENTE, D. S. Energia das Ondas: Metodologia de Ensaio em Modelos Reduzidos. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.
- COGHLAN, I.R.; HOWE, D.; GLAMORE, W.C. Preliminary Testing of Oyster Shell Filled Bags. WRL Technical Report 2015/20.2016.
- CORDEIRO, J.J E SARKIS, J. Environmental proactivism and firm performance: evidence from security analyst earnings forecasts. *Business Strategy and the Environment*, Wiley Blackwell, vol. 6(2), pag 104-114, Maio 1997.
- DECLARATION OF THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON THE HUMAN ENVIRONMENT. Stockholm declaration, 1972 and the Rio declaration on environment and development, 1992.



DOVERS, S.R.; HANDMER, J.W. Uncertainty, sustainability and change. *Global Environmental Change*, v.2, n.4, p.262-276, 1992

DUNLOP, T. Optimal oyster reef design for shoreline protection using combinations of oyster shell filled bags and sandbags. Honours Thesis, UNSW Sydney, 184 pages. 2016.

DUNLOP, T., Felder, S., Glamore, W.C., Howe, D., Coghlan, L. Optimising Ecological and Engineering Values in Coastal Protection via Combined Oyster Shell and Sand Bag Designs. UNSW Sydney, Manly Vale, Australia, 2017.

DUHRING, K.A. A Comparison of Structural and Nonstructural Methods for Erosion Control and Providing Habitat in Virginia Salt Marshes. *Proceedings of the 2006 Living Shoreline Summit*. 2006.

ECYCLE. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/sustentabilidade/>. Acesso em dezembro de 2021.

EPAGRI: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/>. Último acesso em: março de 2022.

European Commission: An official website of the European Union. Disponível em: [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/biodiversity/nbs-resources\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/biodiversity/nbs-resources_en). Acesso em dezembro de 2021. .

FACHI, J.; BUCKMANN, M.F.Y.; ROSNAN, P.A.; ROSNAN, P.C.C. Projeto Baías do Brasil – Baía da Babitonga, Sc. Baías do Brasil. COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, 2018.

FAO. The state of world fisheries and aquaculture. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010.

FERREIRA, L.M.; HOCHMAN, B.; BARBOSA, V.J. Modelos experimentais em pesquisa. *Acta Cir. Bras.* 20 (suppl 2) • 2005.

GEORGIA DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES. Living Shorelines along the Georgia Coast: A Summary Report of the First Living Shoreline projects in Georgia.

GILBY, B.T.; SCHLACHER, A. D.; OLDS, R.; CONNOLLY, C. J.; HENDERSON, C. K. DUNCAN, N. L.; ORTODOSSO, T. W.; BROOK, F.; HARDCASTLE, A. RUMMELL. 2020. Bringing fish life back to Noosa: restoring lost oyster reef habitats in the Noosa Biosphere. Final Report.

Grupo Probabitonga. Disponível em: <https://www.grupoprobabitonga.com/>. Último acesso em: março de 2022.

Hydraulics Research, “Seaford frontage – model tests of low crest breakwaters, performance and stability”, HR Report Ex 46, Wallingford, 1985.

IUCN 2016. International Union for Conservation of Nature annual report 2016. Gland. IUCN, 2017.

KILKA, R.V. “Monitoramento do desfolhamento e da mortalidade de manguezais na Baía da Babitonga-SC”. Relatório final enviado ao Ministério Público de Joinville. São Francisco do Sul, Instituto Vidamar. 70p. 2017.

KIRKPATRICK, J. Constructing Oyster Reef for Shoreline Stabilization and Restoration. MacDill AFB, 2013.

KLEIN, A.H.F.; ALMEIDA, L.P.M.; FILIPPI, B., PINTO, M. W., GALVÃO, W.F.L., COSTA, W.L.L., DALINGHAUS, C., PRADO, M.F.V. Relatório técnico: Subida do nível do mar e a Babitonga: uma abordagem eco-morfodinamica para prever e mitigar impactos. Projeto Baysqueeze, UFSC. Florianópolis, 2022.

KNIE, J. L. W. Atlas Ambiental da Região de Joinville: Complexo Hídrico da Baía da Babitonga. FATMA/GTZ, Florianópolis, 2002.

MANSARD, E.P.D., FUNKE, E.R. The Measurement of Incident and Reflected Spectra Using a Least Square Method. 17 th International Coastal Engineering Conference, pp 154-172, Sydney, 1980.

Marinha do Brasil. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/>. Último acesso: março de 2022.

MAZZER, A. M.; GONÇALVES, M. L. Aspectos geomorfológicos da Baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil: caracterização morfométrica. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 12, 2012.

MOTTA, V.F. Curso de Teoria da Semelhança. Editora URGs. Porto Alegre, 1972.

MORRIS, R.L. BILKOVIC, MAURA D.M., BOSWELL, K., BUSHEK, D., CEBRIAN, J.; GOFF, J., KIBLER, K.M.; PEYRE, M.K.; MCCLENACHAN, G., MOODY, J.; SACKS, P., SHINN, J; P., SPARKS, E. L. TEMPLE, N.A. WALTERS, L. J. WEBB, B. M. SWEARER, S.E. The application of oyster reefs in shoreline protection: Are we over-engineering for an ecosystem engineer? Journal of Applied ecology. 30 March 2019.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). National Ocean Service. Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/living-shoreline.html>. Acesso em dezembro de 2021.

National Geographic Brasil Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/portfolio/2018/11/ostras-aquicultura-futuro-da-comida-sustentabilidade-florianopolis-santa-catarina>. Acesso em março de 2022.

NOTÍCIAS UFSC. Disponível em: <https://noticias.ufsc.br/2006/10/iniciacao-cientifica-projeto-da-ufsc-valoriza-residuos-da-maricultura/>. Acesso em março de 2022.

OceanWatch Australia. National Marine NRM. Disponível em: <https://www.oceanwatch.org.au/community/livingshorelines/>. Publicado em 2020. Acesso em dezembro de 2021.

PEREIRA, A.H.S.D., GIRELI, T.Z., BERNARDINO, J.C.M. estudo da concepção de modelos físicos costeiros baseados em modelos numéricos. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

PONTEE N.; NARAYAN, S.; BECK, M. W. HOSKING, A. H. Nature-based solutions: lessons from around the world. *Maritime Engineering*, Volume 169. ISSN 1741-7597 . Issue 1, pp. 29-36 March, 2016.

CONSIDERE, P. Essai de Theorie de L'evolution des Formes de Rivage en Plages de Sable et de Galets. *Les Energies de la Mer: Compte Rendu Des Quatriemes Journees de L'hydraulique*, Paris 13, 14 and 15 Juin 1956; Question III, rapport 1, 74-1-10. 1956.

POLI, C. R. Cultivo de Ostras do Pacífico (*Crassostrea gigas*, 1852). In: POLI, C. R., POLI, A. T. B., ANDREATTA, E., BELTRAME, E. (Organizadores). *Aquicultura Experiências Brasileiras*. Florianópolis: Ed. Multitarefa, p. 251-266, 2004.

POWELL, K.A.; ALLSOP, N.W.H. “Low-cres breakwaters, Hydraulic Performance and Stability”. *Hydraulics Research Limited, Wallingord, Oxforshire OX10 8BA. Report SR 57*, 1985.

Projeto MapBiomias – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil - Coleção 6, disponível em: [https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias\\_Zona\\_Costeira\\_Outubro\\_2021\\_30102021\\_OK.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias_Zona_Costeira_Outubro_2021_30102021_OK.pdf). Último acesso em março de 2022.

PUHL, E.; ALMEIDA, L.E.S.B. *Dinâmica costeira e monitoramento Ambiental*. Curso técnico em hidrologia, IPH -UFRGS. 2017.

SANT’ANNA, F.S.P., SILVA, F.A., SANTOS, C. L., CESARO, F. LEMOS, S.S., ARAÚJO, E.M. PROJETO VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA MARICULTURA SUB-PROJETO 2: Impactos ambientais do descarte final de conchas de ostras no meio ambiente. UFSC. 2006.

SEELIG, W.N. Two-dimensional teste f wave transmission and reflection characteristics of laboratory breakwaters. CERC TR 80-1, Fort Belvoir, June 1980.

SUTTON-GRIER, A. E.; WOWK, K.; BAMFORD A, H. Future of our coasts: The potential for natural and hybrid infrastructure to enhance the resilience of our coastal communities, economies and ecosystems. *Environmental Science & Policy*. Vol.51. Pag.137-148. Agosto de 2015.

THE NATURE CONSERVANCY. Disponível em: <https://www.nature.org/en-us/about-us/where-we-work/united-states/alabama/stories-in-alabama/living-shorelines/>. Último acesso em: março de 2022.

TORRALBA, M., FAGERHOLM, N., BURGESS, P.J., MORENO, G., PLIENINGER, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 230: 150-161.

TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. F. Marés astronômicas na Baía da Babitonga, SC. *Notas Técnicas FACIMAR, Itajaí*, v. 3, p. 57-66, 1999.

TURECK, C. 2021. Conversa pessoal na data de 17/12/2021

United States Army Corps of Engineers (USACE). Disponível em: <https://ewn.erc.dren.mil/> ultimo acesso: dezembro de 2021

United States Department of agriculture. Disponível em: <https://www.usda.gov/>. Último acesso em: março de 2022.

Virgia Institute Of Marine Science. Disponível em: <https://www.vims.edu/>. Último acesso em: março de 2022.

WorldWide Fund for Nature (WWF). Disponível em: [https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/questoes\\_ambientais/desenvolvimento\\_sustentavel/](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/). Acesso em dezembro de 2021.

World Conservation Congress. Defining Nature-based Solutions. WCC-2016-Res-069-EN. 2016.