



UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ

RUA URUGUAI, 458

FONE (47) 3341-7500

CAIXA POSTAL 360

CEP 88302-202

ITAJAÍ

SANTA CATARINA

**AVALIAÇÃO INTERDISCIPLINAR DAS CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DAS
ARRIBADAS DE ALGAS E BRIOZOÁRIOS NA PRAIA CENTRAL DE
BALNEÁRIO CAMBORIÚ**

Título resumido

PROJETO ARRIBADAS

Organização:

UNIVALI – Oceanografia

Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú – Semam

Itajaí, 20 de Março de 2020



UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ

RUA URUGUAI, 458

FONE (47) 3341-7500

CAIXA POSTAL 360

CEP 88302-202

ITAJAÍ

SANTA CATARINA

UNIVALI

Dr. Charrid Resgalla Jr. (Coordenador)

Dra. Cristina Horita

Dr. Mauro Andrade

Dr. Jurandir Pereira Fo.

Dr. Márcio Tamanaha

MSc. Débora Lugli

Oc. Ewerton Wegner

MSc. Rodrigo Sant'Ana

Merg. Pedro Henrique Meister Luz Marques

SEMAM – Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú

MSc. Maria Heloisa B. C. Furtado Lenzi (Diretora)

Oc. Patricia Zimmermann

Colaboradores:

Dr. Paulo Ricardo Pezzuto (UNIVALI)

Dr. Luís Hamilton Garbossa (EPAGRI)

Oc. Jackeline Cappellesso (Tribo das Águas)

Dr. Leandro Manzoni Vieira (UFPE)

MSc. Danielle Cristina Vieira (UNIVALI)

Acad. Felipe de Melo Vieira (UNIVALI)

Acad. Paula Eduarda Cardoso Moraes (UNIVALI)

SUMÁRIO

Objetivo.....	4
Resumo executivo.....	5
Justificativa.....	9
Metodologia.....	11
Monitoramento em tempo real das arribadas.....	11
Hidrodinâmica.....	12
Saídas de campo, amostragens e análise das amostras.....	18
Parâmetros climatológicos.....	20
Fotos históricas da enseada.....	20
Resultados e discussão.....	21
As arribadas.....	21
Estudos fisiológicos.....	36
Estudo da hidrodinâmica.....	43
Identificação de <i>hotspots</i>.....	68
Análise integrada.....	83
A problemática do rio Camboriú.....	86
Recomendações.....	89
Referências.....	90
Anexo I – Depositório.....	95
Anexo II – Nova modelagem.....	99

Objetivo

Avaliação interdisciplinar das causas e consequências das arribadas de algas e briozoários na praia central de Balneário Camboriú sob supervisão da Secretaria do Meio Ambiente.

Em função dos objetivos, da existência de um trabalho já publicado sobre o tema (Rörig et al., 2017) e da necessidade de otimização dos trabalhos a serem realizados utilizando dados secundários existentes na enseada como o EIA da engorda da praia central entre outros, os estudos envolveram principalmente a interpretação dos dados e modelagem numérica da hidrodinâmica da enseada para o diagnóstico do fenômeno das arribadas. Entretanto, apesar das tentativas de confirmação dos locais de ocorrência de acúmulo das arribadas não terem sido confirmadas, obrigou que o foco do estudo se voltasse para um maior detalhamento em termos de amostragem das arribadas, tanto de suas ocorrências na praia como na coluna de água, fugindo parcialmente da proposta original. Soma-se a essa questão amostragens no rio Marambaia, nos transatlânticos e no novo molhe da barra norte, sempre em atendimento as solicitações da Semam, mas que muito contribuíram para o desfecho final desse estudo.

Resumo executivo

O município de Balneário Camboriú tem sido assolado por ocorrências, em sua praia central, de alta biomassa de organismos marinhos desde 2003/2004. Essas arribadas são popularmente chamadas de Briozoários pelo fato de que, em algumas ocorrências no início do processo, ter havido ocorrências desses organismos em grandes quantidades. Além disso, também havia a ideia equivocada de que alguns organismos que ocorrem junto as algas serem classificadas como exóticas. A partir de 2018 a frequência e a quantidade dessas arribadas apresentaram um incremento substancial, principalmente no início da primavera e verão, o que tem chamado a atenção dos turistas devido ao mau cheiro, incômodo aos banhistas, mas que não apresentam qualquer tipo de prejuízo a saúde pública. As arribadas são constituídas principalmente por duas microalgas que formam cadeias, e como são estruturas relativamente resistentes, formam um emaranhado que permitem a fixação e o desenvolvimento de outros organismos que chamamos de acompanhantes. Essas microalgas ocorrem o ano todo no ambiente, mas em quantidades menores. O estímulo para o seu crescimento é o excesso de nutrientes, temperatura, intensidade de luz e sistema de circulação da água da praia. O principal acompanhante das microalgas é o Briozoário (animal e invertebrado) que por sua forma de crescimento indica que não está se desenvolvendo em uma superfície consolidada e estável, podendo assim crescer sobre os emaranhados de microalgas. E o segundo organismo acompanhante em importância e de ocorrência a partir de 2018 foi uma macroalga filamentosa, que de tão fina, conseguem se aderir também sobre o emaranhado de microalgas. A partir de experimentos fisiológicos realizados em laboratório, tanto as microalgas como a macroalga necessitam de nutrientes e crescem de forma eficiente em baixa intensidade de luz, o que sugere que o seu desenvolvimento ocorre próximo ao fundo e/ou em águas turvas. A macroalga prefere águas calmas, enquanto que os briozoários crescem mais eficientemente na ausência de luz. Essas diferenças determinam qual organismo será dominante na massa das arribadas que ocorrem na praia, sendo constantemente alterados pelas condições do tempo. A hipótese de estudo inicial sobre as origens dos organismos das arribadas foi idealizada em função do sistema de circulação da enseada de Balneário Camboriú, determinando áreas de acúmulo de organismos por células de circulação e áreas de alta intensidade de ação de ondas característica de costões rochosos. Inicialmente foram utilizados equipamentos equipados com câmeras para a

captura de imagens subaquáticas na tentativa de observar os organismos nos pontos pré-determinados pelo sistema de circulação da enseada. Entretanto, devido a qualidade da água em termos de transparência e das inúmeras tentativas, a observação dessas concentrações não foi confirmada. Em função disso alterou-se a metodologia, de busca por mergulhos autônomos com visitas a costões rochosos e parcéis onde foram registradas ocorrências de vários organismos marinhos mas sem a confirmação da presença dos participantes das arribadas. Da mesma forma, utilizou-se equipamentos de coleta que realizam amostragens próximas ao fundo, como bombas de sucção e uma rede presa a um trenó (rede epibêntica), que apresentam a capacidade de maior tempo de trabalho e sem a necessidade de contato visual. Paralelamente a esses levantamentos, foi analisado o comportamento espacial e temporal das arribadas na praia central em base dos dados cedidos pela empresa Ambiental de Limpeza Urbana. O deslocamento das arribadas obedece a padrões de vento, ficando ao sul da enseada em ventos de quadrante norte e ao norte em ventos de quadrante sul. Temporalmente, as arribadas aumentam em volume e frequência com o aumento da temperatura e de intensidade luminosa, apresentando picos de biomassa no verão. No decorrer dos estudos várias foram as causas das arribadas, levantadas pela população e que chamaram a atenção dos pesquisadores em tentar responder a existência de alguma associação entre os eventos. A dragagem do rio Itajaí-açu e a disposição do material dragado na região do bota-fora sul não poderiam contribuir com as arribadas porque o material dragado e depositado na costa não apresenta os integrantes das arribadas. E se fosse o caso, as arribadas observadas na praia central deveriam também ocorrer em outras praias próximas a zona de bota fora, fato o que não acontece. Os transatlânticos de turistas que ancoram no lado sul da enseada não poderiam ser a causa das arribadas por questões temporais simples. As arribadas são registradas ou se fizeram evidentes a partir de 2003/2004 e os transatlânticos começaram a atracar na enseada a partir de 2017. Da mesma forma, amostragens com rede hiperbêntica na região de atracagem não indicaram a presenças de organismos das arribadas, assim como amostras realizadas no material ressuspendido, do fundo, pelas hélices de estabilização da embarcação também não indicaram material biológico compatível com as arribadas. O rio Marambaia, localizado na barra norte da enseada de Balneário Camboriú mostrou a presença de organismos das arribadas e uma pluma de sedimento de coloração forte em 2018/2019, o que chamou a atenção da população. Entretanto, a fração exposta (não

canalizada) do rio apresenta uma área que não comportaria uma alta biomassa dos organismos das arribadas. Associado a isso, experimentos de crescimento dos organismos obtidos no rio não mostraram capacidade de crescimento quando transferidos para águas de boa qualidade. Estes fatos indicaram que as ocorrências desses organismos dentro do rio só podem ser explicadas pela ação da maré, ou seja, entraram no rio a partir da enseada. Eliminadas as possibilidades, chegou-se à conclusão que as arribadas, estão relacionadas principalmente as microalgas dominantes. Elas pertencem a um grupo de algas conhecidas como “*diatomáceas da zona de arrebentação*”. São microalgas que crescem e acumulam atrás de linha de quebra das ondas, no final da antepraia, entre as profundidades de 2 a 3 m, região de alta dinâmica e de difícil acesso. Nessa região e próximo ao fundo essas algas crescem e acumulam, e uma vez atingindo uma biomassa mínima permitem que os organismos acompanhantes como briozoários e macroalgas a utilizem como substrato e se desenvolvem aumentando a biomassa das arribadas. Com o aumento da altura de ondas essa massa de organismos é ressuspensa e jogada para a região de *surf* ou zona de arrebentação e espraçamento. Uma vez lá e por um complexo sistema de correntes incluindo as correntes de retorno, se deslocam para o norte ou para o sul em função dos ventos e acumulam em algum ponto onde a forma da praia (profundidade e curvatura) assim determina. A ocorrência das microalgas e dos acompanhantes atrás da linha de quebra foi confirmada por amostragens realizadas com mergulhadores utilizando uma rede de plâncton e scooter, assim como testemunhos, e se estende por quase toda a praia central, estando mais profunda ao norte da ilha (3 m) e mais rasa ao sul (2 m). Interessantemente, fotos aéreas obtidas junto a Semam referente as décadas de 30 e de 70 apresentaram manchas na praia central que sugerem fortemente que as arribadas já ocorriam e é um processo natural da praia, mas a falta de confirmação das espécies nessas manchas é um limitante. De qualquer forma, as arribadas do passado provavelmente foram menos frequentes e de menor volume, fato que não chamava a atenção da população. Entretanto, esse aumento de biomassa destaca para o problema associado com o desenvolvimento da cidade e as questões de saneamento do município já que o gatilho para o desenvolvimento de algas sempre é o excesso de matéria orgânica e consequentemente de nutrientes. O sistema de circulação fechada da enseada associada aos aportes dos rios Camboriú e Marambaia fazem as condições ideais de desenvolvimento das algas. A preocupação com o saneamento e a melhoria da rede de



esgoto podem ser apontadas como as principais soluções na redução das ocorrências das arribadas na praia central de Balneário Camboriú. Por fim, como processo natural, as arribadas apresentam importância ecológica tanto para a região de praia como da antepraia, servindo, bem provavelmente, como alimento a muito organismos do ecossistema da enseada. Em função do exposto, a necessidade de monitoramento é imperativa, principalmente no que se refere ao enriquecimento de nutrientes na enseada alavancado pela indicação recente de sua entrada pelo lençol freático.

Justificativa

O presente projeto teve como objetivo geral a avaliação, em diferentes áreas de conhecimento, o estudo das causas e consequências do fenômeno das arribadas (deposição na região praial que caracterizaria como resíduos sólidos) de algas e briozoários (flora e fauna marinha) que ocorrem em grande volume na região da praia central de Balneário Camboriú, litoral norte de Santa Catarina. Estes resíduos, hoje, obrigam a prefeitura de Balneário Camboriú destinar a sua deposição no aterro sanitário do município de Itajaí, cidade vizinha.

Destaca-se, que existe uma urgência no desenvolvimento deste estudo já que está programado para 2019/2020, o início das obras costeiras de engorda da praia central de Balneário Camboriú, ficando limitado o conhecimento sobre os processos que regem os fenômenos das arribadas, assim como prever um possível agravamento do cenário após a conclusão das obras.

Historicamente a enseada de Balneário Camboriú é um balneário de destino certo de muitos turistas do sul e sudeste do Brasil e dos países do cone sul como Uruguai e Argentina. Com o aumento da sua população no verão o rio Camboriú aumenta proporcionalmente a sua descarga em nutrientes e matéria orgânica, que são despejados dentro da enseada mesmo que parcialmente tratados. Devido a este *input*, as águas da enseada são enriquecidas e favorecem processos de eutrofização (Abreu et al. 2003; Pezzuto et al., 2006; Ottonelli, 2014; Rörig et al., 2017).

No ano de 2002, por decisão da administração pública do município, foi realizado uma obra costeira de fixação da desembocadura do rio Camboriú pela construção de um molhe da barra sul e concomitantemente houve um aterro nesta proximidade por sedimentos oriundos deste rio cujas características sedimentológicas eram incompatíveis com a granulometria original da praia (Abreu et al. 2003; Pezzuto et al., 2006). Somado com estas atividades houve também uma dragagem da desembocadura do rio, que promoveu a remobilização de mais de 20.000 m³ de sedimentos finos ocasionando também a remoção de densas populações dos bivalves filtradores como *Tagelus plebeius* e *Anomalocardia brasiliana* ocasionando um desequilíbrio ambiental evidente (Pezzuto et al., 2007).

Acredita-se que a remoção destes bivalves pode ter influenciado na qualidade da água do ambiente, já que são grandes filtradores e controlam a carga de material em suspensão na água. Com menos bivalves e mais material em suspensão, em 2003 foi observado uma grande mortalidade de outra espécie de bivalve, *Tivela mactroides*, que pode ter sido prejudicado pelo sufocamento sofrido nas áreas mais profundas da enseada. Como a biomassa morta deste bivalve foi extremamente elevada, acredita-se que se tratava de uma espécie chave do ecossistema local, indicando que o sistema entrava em um novo equilíbrio biológico de dominância (Pezzuto et al., 2007).

Coincidentemente, foi a partir de dezembro de 2003 que começaram a ser registradas as ocorrências de arribadas de algas e briozoários na praia da enseada. Estas são constituídas pelas microalgas das espécies *Amphitetras antediluviana* e *Biddulphia biddulphiana* e pelos briozoários *Membraniporopsis tubigera* e *Arbocuspis bellula* (presentemente corrigida a identificação para *Arbocuspis ramosa*). Para a macroalga, o presente relatório identificou como *Bryopsis pennata*. Estas arribadas podem chegar a mais de 100 toneladas por mês e ocorrendo ao longo do ano com as maiores biomassas no verão e alteração da composição em função da época do ano (Rörig et al., 2017).

Tanto as espécies de microalgas como as de briozoários foram consideradas por Rörig et al. (2017) como espécies invasoras e conseqüentemente apresentando um alto potencial de ocuparem espaços deixados por outras espécies quando desaparecem no ambiente (Griffiths et al., 1991; Lotze et al., 2006). Apesar de especulativo, estas evidências indicam alguma relação das obras costeiras com as ocorrências das arribadas e a alteração da fauna original na enseada.

Com a produção de alta biomassa durante as arribadas e a conseqüente remoção das praias ocorre a destinação do material para o aterro sanitário. Foi investigada a possibilidade de uso destes resíduos como biocombustível e no uso de biomoléculas com atividade biológica como antibacteriana e antitumorais, fontes de lipídios e ácidos graxos poli-insaturados sem falar no potencial uso de adubos e insumos agrícolas (Rörig et al., 2017). Independente do seu uso, estes resíduos ou biomassa interferem na paisagem local prejudicando o turismo e consumindo recursos do município com a limpeza diária, tornando-se hoje, mais um problema de rejeitos sólidos do que potencial biomassa para outros usos.

Metodologia

Monitoramento em tempo real das arribadas

Em associação com a Empresa Ambiental de Limpeza Urbana, contratada pela Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú, foi formado um grupo de pessoas pelo sistema WhatsApp onde foram relatadas ocorrências de arribadas na praia central em tempo real, sempre no horário de limpeza da empresa (por volta das 6 as 7 horas da manhã) com o registro da localização da arribada (altura da rua), volume relativo (pouco, considerável e muito) assim como o seu registro fotográfico. Os registros iniciaram em 22/02/2018 e encontra-se em atividade até a presente data.

Essas informações foram destinadas para, (a) avaliação espacial das arribadas, (b) avaliação temporal das arribadas, (c) coleta de arribadas em condições de volume elevado para a identificação dos organismos ocorrentes e registro da variabilidade temporal da composição, (d) coleta de arribadas para a obtenção de organismos para ensaios fisiológicos, (e) coleta de arribadas para estudos de taxonomia genética (estudo em andamento e em parceria com a UFSC cujos os resultados não serão apresentados nesse relatório).

Identificação da composição das arribadas e ensaios fisiológicos

Para a identificação dos organismos que compunham as arribadas, foram realizadas coletas de material na praia central e em locais das ocorrências comunicadas. O material foi obtido por coleta manual em água do mar onde foram obtidos dados de temperatura e salinidade concomitantemente.

Uma vez transportados para o laboratório, o material biológico foi identificado em microscópio estereoscópico, sendo classificados como ocorrentes, abundantes e dominantes nas amostras. Posteriormente parte do material foi fixados em solução de formaldeído a 4 % para a confirmação das identificações a posteriori. Para esse material as coletas foram realizadas em 18 oportunidades entre março de 2019 a fevereiro de 2020.

Os ensaios fisiológicos com a arribada integral e com organismos isolados foram realizados em quatro oportunidades diferentes buscando variação na dominância da composição. Os experimentos de março de 2019 envolveram a arribada dominada pela

macroalga *Bryopsis pennata* e os isolados das microalgas *Biddulphia biddulphiana* e *Amphitetras antediluviana* e o briozoário *Arbocuspis ramosa*. Para o domínio das arribadas por microalgas (*Biddulphia* e *Amphitetras*) foram realizados três experimentos com a arribada integral em setembro e duas em outubro de 2019, como repetições, pois a contaminação dos experimentos por areia permitiu a validação de apenas um experimento.

Todos os experimentos de crescimento envolveram tratamentos em diferentes intensidades de luz (0% de atenuação = 48,46 uM/cm²/s, 67% de atenuação = 15,84 uM/cm²/s, 74% de atenuação = 12,41 uM/cm²/s e 100% de atenuação = sem luz) e em condições de agitação de 11 rpm (em mesa orbital) e estático. Para os experimentos foi utilizado erlenmeyer de 300 mL com água do mar filtrada a salinidade de 30, enriquecida com meio F/2 e com adição de 5 mL de cultura do fitoplâncton *Nannochloropsis* sp em crescimento exponencial para alimentação dos briozoários.

Os parâmetros utilizados para a estimativa de crescimento das arribadas integrais foi o peso úmido obtido em balança semi-analítica e por contagem de divisão celular para as microalgas assim como aumento dos zooides para briozários sob microscópio segundo Omori & Ikeda (1984).

Hidrodinâmica

O estudo da enseada de Balneário Camboriú envolveu avaliação preliminar das características hidrodinâmicas da praia central e área costeira adjacente. Para isso foi realizada análise dos dados hidrodinâmicos medidos para o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da Alimentação Artificial da Praia Central de Balneário Camboriú e a modelagem numérica da circulação hidrodinâmica na região de interesse.

Assim objetivou-se avaliar o comportamento das variáveis hidrodinâmicas medidas e modeladas da região ao largo da praia Central de Balneário Camboriú a fim de determinar o comportamento das ondas, correntes, oscilações do nível do mar, condições meteorológicas, gerando subsídios para o entender o processo das Arribadas dos organismos.

Para atingir os objetivos descritos, o presente estudo dividiu-se em dois grupos: a análise de dados oceanográficos e a modelagem numérica. Na análise de dados foram analisados dados pretéritos para auxiliar na compreensão do comportamento de variáveis hidrodinâmicas atuantes na região, assim como dados atuais de vento e precipitação com objetivo de correlacionar com eventos de arribadas.

Os dados de velocidade e direção de correntes, nível do mar e os parâmetros de ondas foram adquiridos por um fundeio para os estudos de impacto ambiental (EIA) da Alimentação Artificial da Praia Central de Balneário Camboriú. Esses dados foram fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente (SEMAN)/Prefeitura de Balneário Camboriú.

O primeiro passo no processamento dos dados obtidos pelo instrumento fundeado, um AWAC (Perfilador Acústico de Correntes e Ondas), consistiu na avaliação da qualidade dos dados no programa Storm, adquirido junto à fabricante Nortek. Nessa etapa, foi verificada a inclinação dos sensores em relação ao fundo, a declinação magnética foi inserida para a correção da orientação dos dados de direção; foi conferida a relação entre o sinal acústico e o ruído (*signal to noise ratio*) e foram excluídos os dados acima da interface entre o ar e a água. Nessa etapa, os dados foram convertidos em planilhas.

Todas as variáveis, em formato de texto gerados no programa Storm, foram importados para programas matemáticos para serem processados. Nessa etapa foi verificada a consistência dos dados e foram eliminados erros (“*spikes*”).

A fim de orientar o sistema de referência dos dados de velocidade de correntes em relação ao alinhamento da costa, os dados foram rotacionados em 30° em relação à isóbata de 10 m. Estes também foram decompostos em componentes longitudinal e transversal à costa (Figura 1), seguindo a metodologia descrita em Miranda et al. (2002). Com o objetivo de remover as oscilações de alta frequência, tanto dos dados de corrente quanto de nível do mar, utilizou-se um filtro de passa baixas do tipo Lanczos-Cosseno (Thompson, 1983). Este procedimento remove 95% das oscilações com frequências menores que 1/40 h. O resultado são as chamadas oscilações de baixas frequências.

O clima de ondas, ou seja, os padrões estatísticos dos principais parâmetros de ondas (altura, período e direção de propagação) foram estabelecidos a fim de determinar as

condições de mar predominantes no litoral de Balneário Camboriú. Para isso, foram selecionadas as séries temporais de: altura significativa (H_s), período de pico (T_p) e direção (D) e geradas distribuições de frequência.

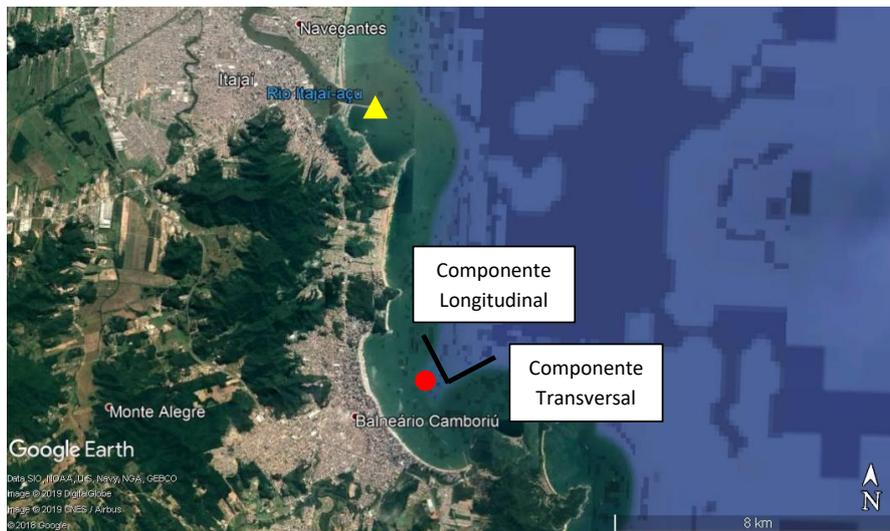


Figura 1. Área de estudo. Localização do fundeio do AWAC (ponto vermelho) e da estação meteorológica UNIVALI/Porto de Itajaí (triângulo amarelo).

Os dados de nível do mar atuais foram medidos por um marégrafo instalado na Praia de Laranjeiras em Balneário Camboriú a cada 1 hora. Esta série temporal, compreendida entre dezembro de 2015 e novembro de 2018 foi fornecida pela Epagri/Ciram. Os dados foram filtrados seguindo a metodologia descrita acima.

Os dados meteorológicos atuais (direção e velocidade do vento e precipitação) foram medidos pela estação meteorológica (Davis, modelo Vantage2 Pro) localizada no farol 8 na extremidade do molhe sul da barra do rio Itajaí-Açu. Esta estação é mantida pelo parceria técnico-científica entre Univali e Porto de Itajaí. A série temporal destes dados está compreendida entre janeiro e abril de 2019 e foi utilizada para comparar com os eventos de Arribadas que são diagnosticados pela empresa Ambiental.

Análise de registros fotográficos do Instagram “@marambasurf” foram utilizados no presente relatório para demonstrar o comportamento do acúmulo das Arribadas na Praia Central. Ressalta-se que esta avaliação não tem caráter técnico e científico pois as

imagens foram registradas de forma aleatória e apenas em momentos de ocorrência de eventos das Arribadas. Entretanto, elas ajudam a demonstrar padrões teóricos de circulação por correntes na zona de arrebentação das ondas.

O modelo numérico utilizado neste estudo foi o Delft3D, onde os módulos Delft3D-FLOW e Delft3D-WAVE foram utilizados em modo acoplado para gerar resultados da circulação hidrodinâmica no domínio de interesse. Nesta primeira etapa da modelagem, foi implementado um modelo hidrodinâmico preliminar, com uma grade numérica com uma resolução menor.

Na implementação do módulo Delft3D-FLOW foi gerada uma grade numérica regular de 250x250m e o modelo foi executado com 5 camadas verticais distribuídas homogeneamente ao longo da profundidade. A batimetria imposta ao modelo foi interpolada para a grade numérica com o auxílio do módulo Quickin de pré-processamento do Delft3D a partir de dados composta pela batimetria obtida para o EIA da Alimentação Artificial da Praia Central de Balneário Camboriú (ACQUAPLAN, 2014) e da Carta Náutica disponibilizada pela DHN (Figura 2).

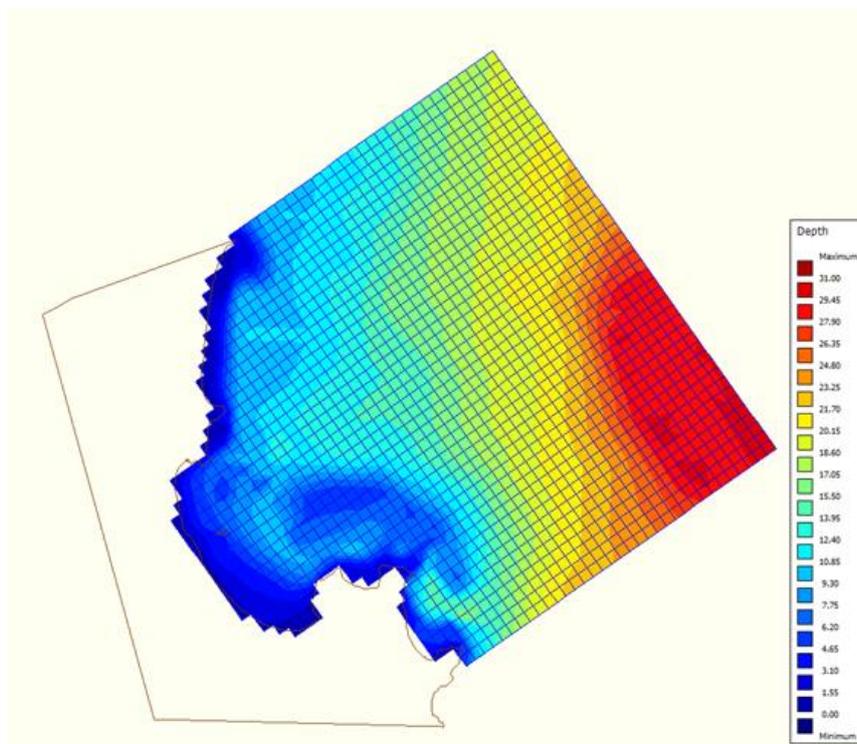


Figura 2. Domínio da modelagem discretizado em uma grade de diferenças finitas e a batimetria interpolada para esta grade numérica.

O modelo foi implementado tendo como forçantes de longo termo a maré e os ventos atuantes na região de estudo. As constantes harmônicas da maré astronômica foram obtidas do Delft Dashboard e impostas nos contornos abertos (Figura 3) e os dados de vento, intensidade e direção medidos com intervalos de uma hora, foram obtidos do site INMET para a Estação automática de Itajaí. Além destes dados, foram impostas as vazões dos rios Camboriú e Marambaia, tendo sido considerados os valores constantes de 3,0 m³/s e 0,2 m³/s, respectivamente.

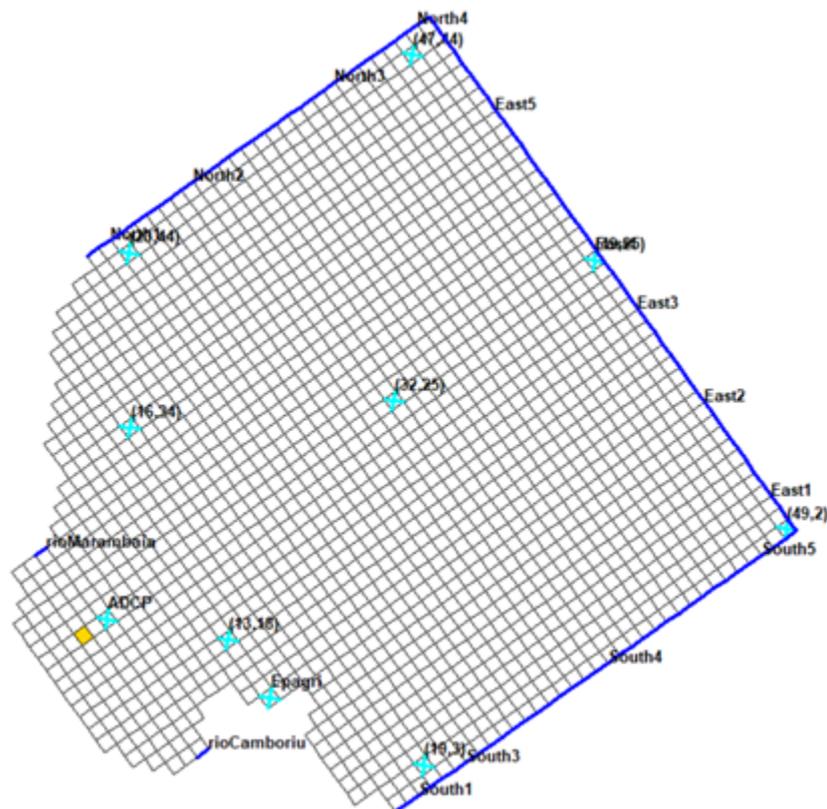


Figura 3. Grade numérica aplicada ao domínio da modelagem com indicação dos contornos abertos e localização dos pontos de gravação dos resultados temporais do modelo (+).

Na implementação do módulo Delft3D-WAVE, foram considerados os casos extremos de ondas (Tabela 1) apresentados no EIA da Alimentação Artificial da Praia Central de Balneário Camboriú, pois acreditava-se que as arribadas pudessem estar associadas aos eventos de maior energia.

Tabela 1. Casos de ondas extremos simulados. Sendo: altura significativa (Hs), período de pico (Tp) e direção (D) de onda.

Caso	Hs (m)	Tp (s)	D (°)
1	2,51	7,69	74,68 (ENE)
2	2,66	8,28	91,97 (E)
3	2,85	8,76	114,63 (ESSE)
4	3,19	10,44	154,57 (SSE)

Fonte: ACQUAPLAN, 2014.

De modo a analisar se o modelo implementado conseguia reproduzir as condições ambientais de modo satisfatório, foi realizada a validação do modelo hidrodinâmico forçado somente com a maré astronômica. Nesta etapa, o modelo foi executado de 15/11/2012 à 10/12/2012, pois neste período havia dados medidos pelo AWAC. Estes dados foram comparados qualitativamente por meio de gráficos e quantitativamente pelo cálculo do Erro Absoluto Médio (EAM), cujos valores são avaliados conforme classificação apresentada por Walstra et al. (2001), na Tabela 2.

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| \quad (1)$$

Sendo: n = quantidade de valores analisados, f_i = valor medido, y_i = valor modelado.

Tabela 2. Qualificação do Erro Absoluto Médio (EAM).

Qualificação	Valor
Excelente	< 0,2
Bom	0,2 – 0,4
Razoável	0,4 – 0,7
Pobre	0,7 – 1,0
Ruim	> 1,0

Fonte: Adaptado de Walstra et al. (2001).

O modelo hidrodinâmico tridimensional foi executado acoplado ao modelo de ondas para o período de 15/03/2019 a 20/03/2019 para simular um período de sizígia e de 24/03/2019 a 29/03/2019, onde os dois primeiros dias de cada período foram utilizados para aquecer o modelo.

Os modelos foram executados considerando maré astronômica, vento variável no tempo e uniforme no espaço, vazão constante dos rios Camboriú e Marambaia, salinidade constante e igual a 34 na enseada e igual a 24 na entrada dos rios na enseada, e os casos de onda apresentados na Tabela 1.

Desta forma foram gerados 4 cenários de sizígia e 4 cenários de quadratura, um com cada caso de onda.

Saídas a campo, amostragens e análise de amostras

Em março de 2018 foram realizadas as primeiras imagens na enseada de Balneário Camboriú na tentativa de observar os organismos no ambiente marinho antes de sua arribada na praia central. Para tal foi utilizado o TOR (Trenó Oceanográfico de Reboque) equipado com uma câmera subaquática (Fig. 4).

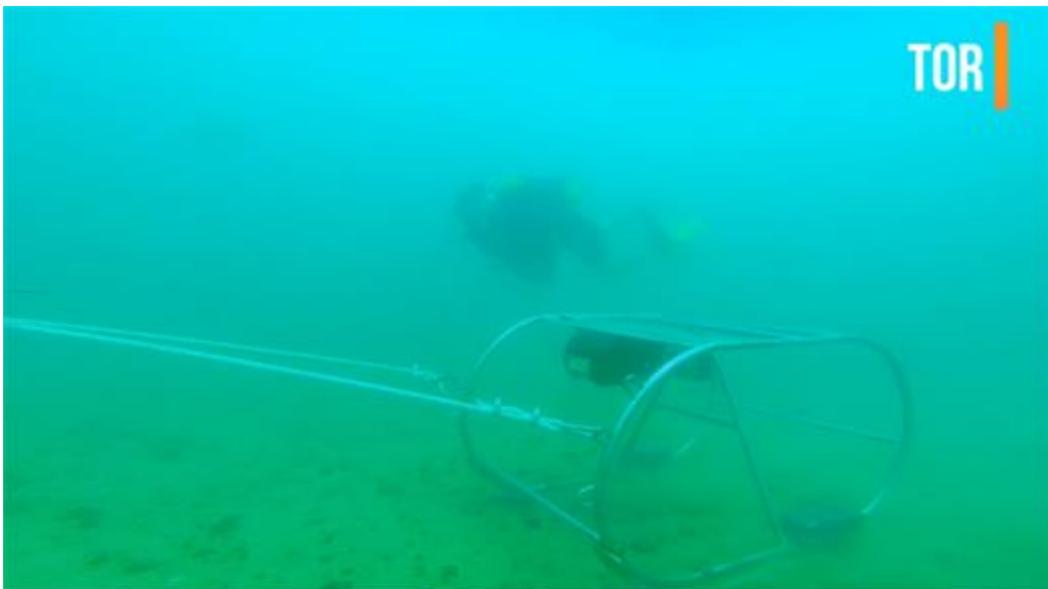


Figura 4 – TOR (Trenó Oceanográfico de Reboque) equipado com câmera subaquática.

Após as análises de hidrodinâmica da enseada terem sido concluídas foram selecionados pontos de investigação para as atividades de filmagem, mergulho e amostragem para a

confirmação da existência dos organismos que normalmente são observados nas arribadas da praia central.

Desta fora, foram realizadas as seguintes saídas de campo:

Saídas aos hotspots indicados pela hidrodinâmica

14/06/2019 – Amostradores utilizados. Mangueira, GoPro Aro, CTD, GPS.

12/07/2019 – Mergulho com garrafa e seringa de fundo

04/09/2019 – Saída com embarcação dentro da enseada, objetivando principalmente o costão norte. Mergulho.

10/10/2019 – Saída com embarcação dentro da enseada, objetivando principalmente o lado norte da enseada. Mergulho.

30/10/2019 – Saída com embarcação dentro da enseada, objetivando principalmente os promontórios de Laranjeiras e o lado sul da enseada. Mergulho.

05/12/2019 – Saída de campo na enseada com a utilização de turbidímetro e bomba e rede para a coleta de organismos demersais.

16/12/2019 – Testemunho do sedimento amostragem da coluna de água na praia central na altura da rua Alvin Bauer.

22/01/2020 – Saída de barco para uso de amostrador epibêntico o mais próximo de linha de quebra na praia central.

30/01/2020 – Testemunho na praia central (sul – Rua 2600).

14/02/2020 – Testemunhos de sedimento na praia central em condições de maré baixa assim como foram obtidos amostras de água do lençol freático.

19/02/2020 – Saída com embarcação na região da antepraia – realização de testemunhos de sedimento e scooter com rede.

Rio Marambaia

03/05/2019 – Maré alta – registro de tufos de macroalgas no interior do rio.

05/06/2019 – Amostragem no rio Marambaia em maré enchente para registro de macroalgas.

25/06/2019 – Ponto de confluência entre o rio Marambaia e ribeirão Nim.

Amostragens nos transatlânticos

03/01/2020 – Amostragem no entorno do navio Costa Fascinosa

09/02/2020 – Amostragem no entorno do Navio MSC

Parâmetros climatológicos

Dados de parâmetros de climatológicos e oceanográficos foram obtidos junto ao Laboratório de Climatologia da Univali e do marégrafo instalado na praia de Laranjeiras sendo gentilmente cedido pela Epagri/Ciram e em cooperação com o Projeto Arribadas que em contra partida auxiliou a instalação de um ADCP na enseada para a continuidade dos estudos de circulação do sistema. Os dados abióticos foram cruzados com as ocorrências das arribadas na praia central na tentativa de observar alguma relação entre os eventos e condições de sua formação.

Fotos históricas da enseada

Fotos históricas da enseada de Balneário Camboriú foram cedidas pela Secretaria do Meio Ambiente de Balneário Camboriú (Semam) que foram obtidas pela Secretaria de Planejamento Urbano e Gestão Orçamentária.

Resultados e discussão

As arribadas

Registro das arribadas em tempo real para 2018 e 2019

Para 2018 foram registradas um total de 273 ocorrências de arribadas na praia central de Balneário Camboriú, sendo que as arribadas podem ocorrer em mais de uma vez por dia, mas sempre em locais diferentes da praia.

Para esse ano destaca-se a ausência de arribadas nos meses de junho e julho (fim do outono e início do inverno) e um aumento das arribadas no segundo semestre (Figura 5). Ainda a partir de novembro houve o começo dos registros de arribadas de macroalgas em conjunto com microalgas e briozoários.

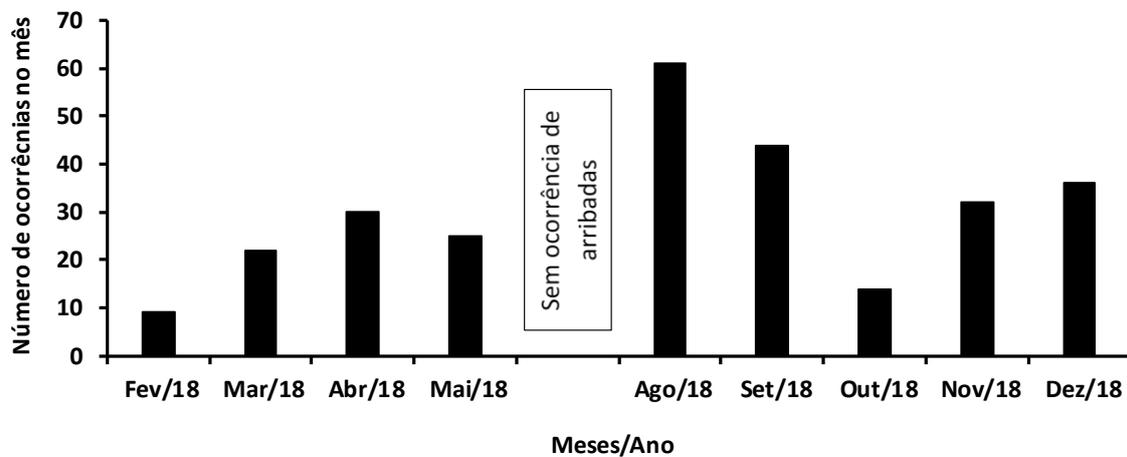


Figura 5 – Número de ocorrências de arribadas acumuladas por mês para o ano de 2018.

As arribadas observadas no ano de 2018 apresentaram uma variabilidade espacial na praia central de Balneário Camboriú, apresentando distribuição mais ao sul nos meses quentes e mais ao norte nos meses frios do ano (Figura 6). Este comportamento pode ser facilmente entendido a partir do momento que as correntes de deriva litorânea podem determinar este tipo de distribuição, já que as correntes para o sul são originadas de ondulações

provocadas por ventos de quadrante norte, enquanto que, ao contrário, a deriva para o norte é ocasionada por ondulações provocadas por ventos de quadrante sul.

Nesta distribuição, destacam-se os locais de maior ocorrência de arribadas: o cuspide norte da ilha da Cabras e o norte da praia, junto a desembocadura do rio Marambaia.

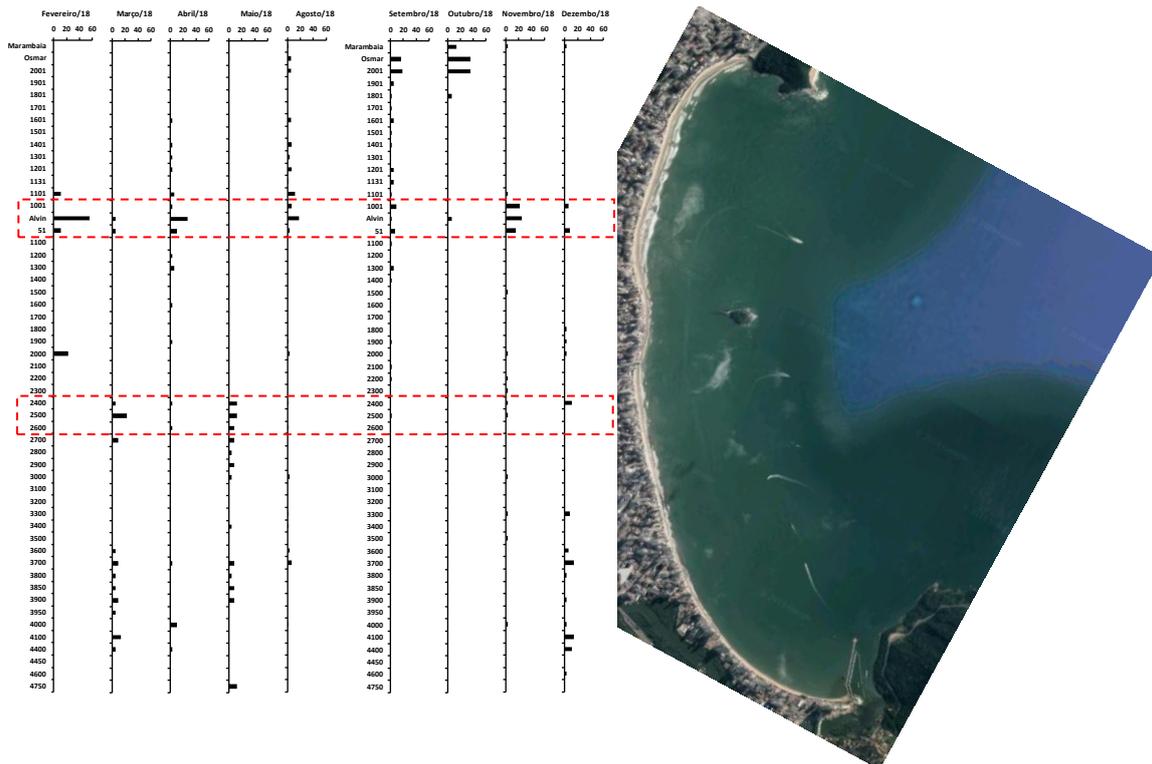


Figura 6 – Distribuição de frequência, mensal, das arribadas ao longo da praia central de Balneário Camboriú para o ano de 2018. As linhas pontilhadas referem-se as feições praias de cuspide norte e sul da ilha das Cabras.

Para as informações obtidas para 2019, as maiores ocorrências foram obtidas a partir de abril quando a macroalga *Bryopsis* passou a ser dominante nas arribadas (Figura 7). Entretanto, a partir de maio as microalgas alteraram as arribadas para uma coloração marrom, mas com uma presença de briozoários pouco significativa. As microalgas *Amphitetras antediluviana* e *Biddulphia biddulphiana* passaram a dominar as arribadas sobre as macroalgas *Briopsis pennata*.

Os maiores números de ocorrências de arribadas em 2019 em relação a 2018 se devem ao aprimoramento dos registros por parte da empresa Ambiental, responsável pela limpeza da praia. Desta forma, os comparativos entre os anos devem limitar aos períodos de maior ocorrência e a frequência e não aos números absolutos.

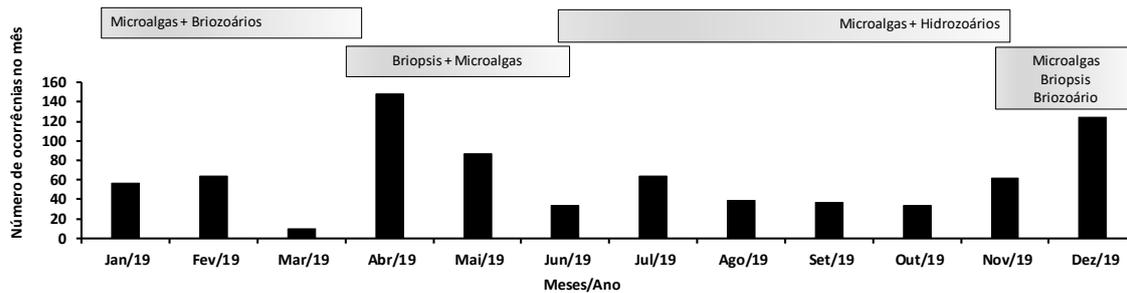


Figura 7 - Número de ocorrências de arribadas acumuladas por mês para o ano de 2019 e identificação de sua composição.

As arribadas para esse ano se concentraram no cúspide norte da ilha das Cabras, similar ao ano de 2018, mas principalmente na porção sul da praia central, obedecendo as correntes de deriva litorânea com predomínio de ventos de quadrante norte (Figura 8).

Este comportamento de acúmulo em pontos específicos da praia central de Balneário Camboriú induz a suposições nos processos de arribadas. O processo refere-se a morfologia de fundo da enseada que determina este tipo de comportamento. Na porção norte da praia central, a enseada apresenta profundidades maiores sendo destacado uma barreira no cúspide norte da ilha das Cabras de maior profundidade e que determina a acumulação de material (Figura 9).

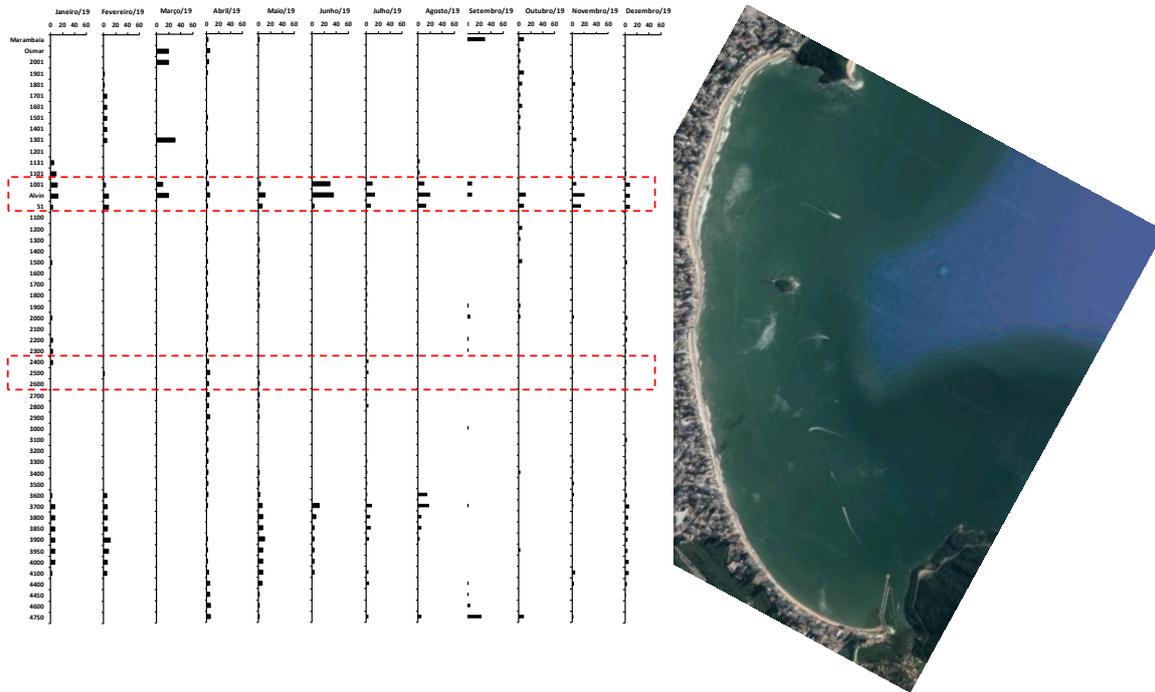


Figura 8 – Distribuição de frequência, mensal, das arribadas ao longo da praia central de Balneário Camboriú para o ano de 2019. As linhas pontilhadas referem-se as feições praias de cuspide norte e sul da ilha das Cabras.

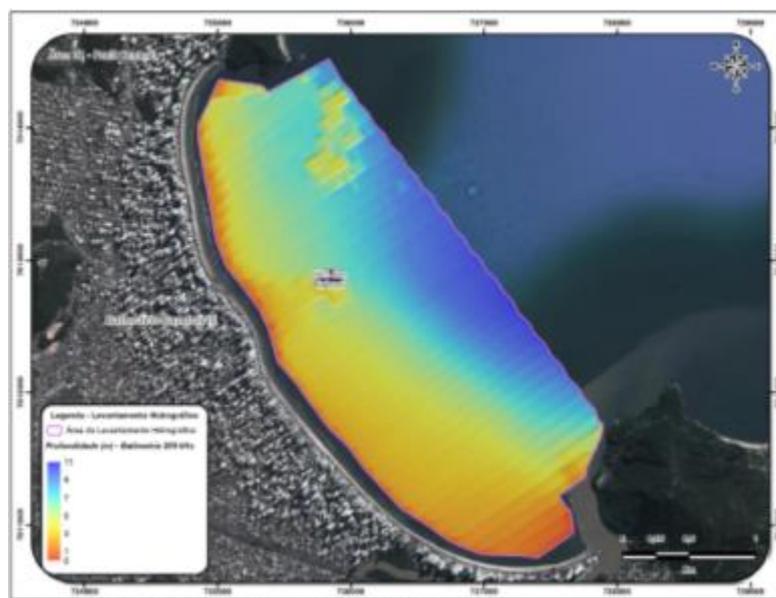


Figura 9 – Batimetria da enseada de Balneário Camboriú segundo ACQUAPLAN (2014).

As arribadas são constituídas basicamente por quatro organismos: duas microalgas *Amphitetras antediluviana* e *Biddulphia biddulphiana*, uma macroalga *Bryopsis pennata* e o briozoário *Arbocuspis ramosa*.

Para o período compreendido entre 11/06/2019 a 09/02/2020 foram observados que as microalgas *Biddulphia* e *Amphitetras* sempre estiveram presentes e dominantes principalmente no período de inverno (Figura 10). Apesar de algumas ocorrências negativas em algumas amostragens, o briozoário *Arbocuspis* também sempre esteve presente mas com maior representatividade na primavera e verão. O mesmo aconteceu com a macroalga *Bryopsis* mas com maior representatividade a partir de seu pico de ocorrência em março de 2019. Os demais representantes apresentaram ocorrências esporádicas como a microalga epífita *Melosira*, mas demais espécies de macroalgas (vermelha e *Hypineia*) e os hidrozoários.

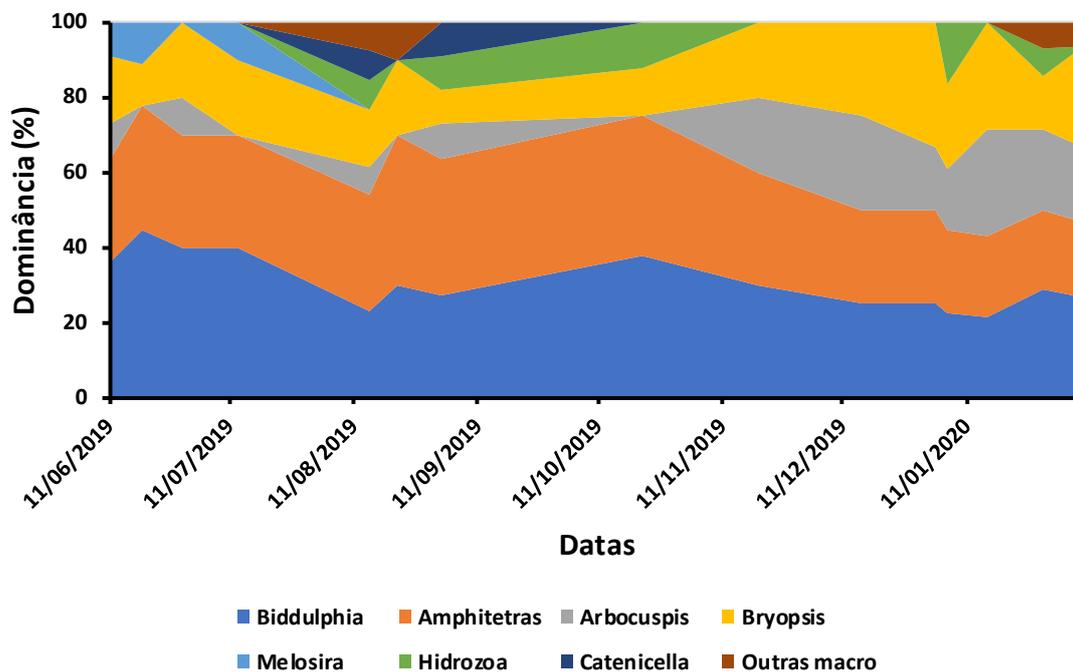


Figura 10 – Dominância relativa dos integrantes das arribadas na praia central de Balneário Camboriú entre 11/06/2019 a 09/02/2020 em base de categorias de abundância.

Estes resultados sugerem que os verdadeiros responsáveis pelas arribadas são as microalgas *Biddulphia* e *Amphitetras*, hoje podendo ser consideradas diatomáceas de zona de arrebentação e episâmicas, ou seja, utilizam a areia para se manterem no fundo. Esse processo permite que esses aglomerados de microalgas realizem movimentos verticais na coluna de água, hora estando sobre o fundo e hora na coluna de água acumulando em pontos determinados na praia em função das derivas litorâneas que são governadas por ventos e ângulo de incidência das ondas. Mesmo na areia da praia e provavelmente na região de antepraia, apresentam capacidade de reprodução devido as adaptações de baixa intensidade de luz (confirmado pelos ensaios fisiológicos) e devido a disponibilidade de nutrientes que se encontra em excesso nas águas da enseada.

Da mesma forma, a macroalga *Bryopsis* que devido ao tamanho e estratégia de fixação em substratos reduzidos, assim como a briozoário *Arbocuspis* que apresenta plano de crescimento em eixo ramificado, sugerem fortemente que utilizam a massa de microalgas como substrato para o crescimento.

Analisando especificamente o período que possui registros de ocorrências de Arribadas na praia central, foi encontrada uma correlação, com R^2 igual a 0,3 entre a temperatura da água e a ocorrência dos organismos na praia (mas com correlação significativa). Visualmente na figura 11 também pode ser observada uma relação entre o aumento da temperatura da água e dos casos de Arribadas na praia.

A comparação entre a radiação solar e a ocorrência de Arribadas na praia central apresentou uma correlação matemática com R^2 igual a 0,2 (com correlação significativa). Mesmo sendo um valor baixo, este valor mostra uma tendência de aumento de radiação e aumento no número de Arribadas. Visualmente isto também pode ser verificado na figura 12.

As análises realizadas com os dados de precipitação pluviométrica não apresentaram correlação matemática de causa e consequência (Figura 13).

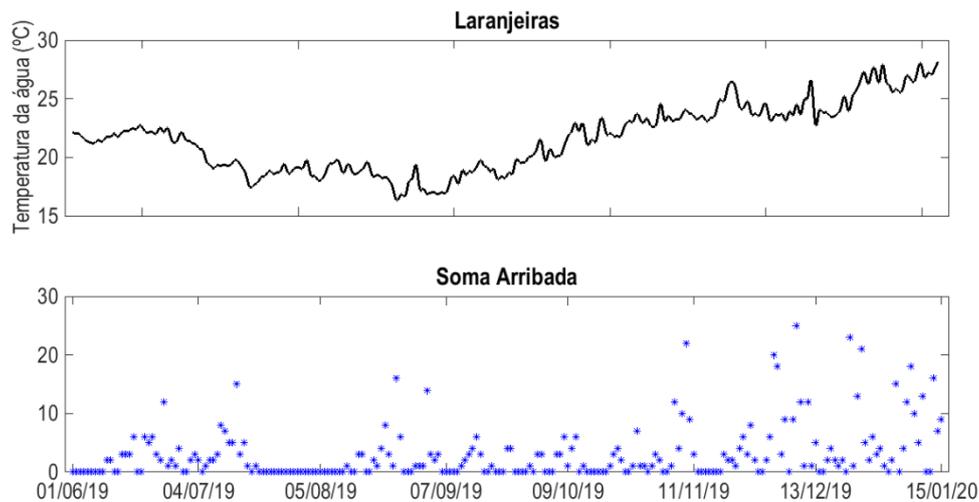


Figura 11 - Acima: Série temporal de temperatura da água do mar medida em Laranjeiras pela EPAGRI/CIRAM. Abaixo: Registros de ocorrência de Arribadas na praia central de Balneário Camboriú.

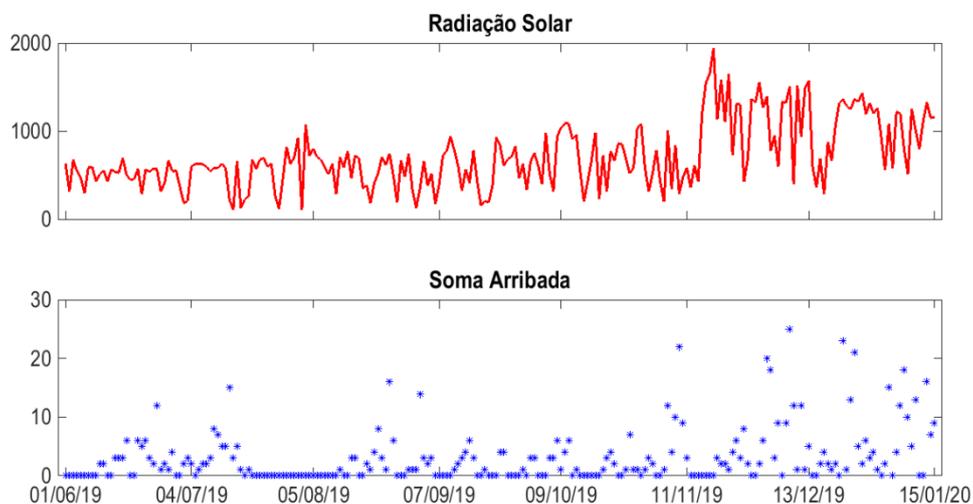


Figura 12 - Acima: Série temporal de radiação solar medida pela UNIVALI. Abaixo: Registros de ocorrência de Arribadas na praia central de Balneário Camboriú.

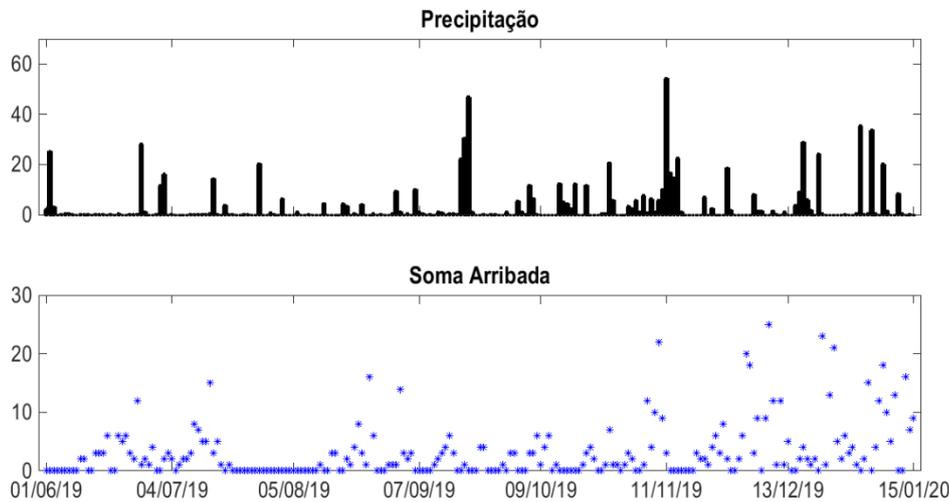


Figura 13 - Acima: Série temporal de precipitação pluviométrica medida pela UNIVALI. Abaixo: Registros de ocorrência de Arribadas na praia central de Balneário Camboriú.

Descritivo das Espécies encontradas nas Arribadas

Amphitetras (Biddulphia) antediluviana (Ehrenb.) Van Heurck - Distribuição: nativa, cosmopolita; não endêmica; marinho.

Biddulphia biddulphiana W.Sm. - Distribuição: nativa; cosmopolita; não endêmica; Nordeste (RN, PE, AL), Sudeste (ES, SP, RJ), Sul (PR, SC, RS); marinho

As microalgas bentônicas são constituídas por organismos autotróficos que desempenham um importante papel nos sedimentos marinhos costeiros. Sugere-se que a atividade fotossintética destas algas auxilia na produção de oxigênio, assim como alteram os nutrientes no entorno do sedimento. Tanto o oxigênio quanto os nutrientes são cruciais para garantir a sobrevivência e a sustentabilidade dos organismos em ecossistemas intertidais e aquáticos. Assim, as suas funções ecológicas incluem a capacidade de produzir oxigênio para outros organismos, reter os nutrientes no sedimento, evitando a liberação de nutrientes na coluna de água, nos processos de renovação de nitrogênio e ajuda no processo de troca de fosfato entre a água e o sedimento além de proporcionar maior estabilidade do sedimento em áreas de maior dinâmica (Redzuan & Milow, 2019).

As microalgas estariam presentes no ambiente, podendo ocupar tanto a coluna de água como a superfície dos sedimentos. Provavelmente utilizam os briozoários e macroalgas como substrato, não necessariamente condição para o seu crescimento, mas para favorecer o afundamento e mantendo-se em condições ideais de crescimento (baixa intensidade de luz e alta concentração de nutrientes próximos aos sedimentos).

Algumas características taxonômicas são importantes para diferenciação ecológica das microalgas presentes nas arribadas. Estas características se mostram abaixo:

Bidulphia bidulphiana (W.Smith, 1900) (Figura 14)

As células de *B. bidulphiana* são robustas, retangulares na vista da cintura, elípticas na vista da válvula, com elevações proeminentes nos pólos. Normalmente crescem em cadeias no formato de zigue-zague ligadas também a macroalgas filamentosas. Muitas vezes também são encontradas em amostras costeiras de plâncton, pois se soltam acidentalmente das tramas na qual se formam. Possui inúmeros cloroplastos, adaptados à baixa luminosidade (www.AlgaeBase.org)

Diatomácea marinha, costeira, planctônica (Al-Kandari et. al, 2009), também encontrada no ambiente bentônico, fixada ao substrato arenoso. Com descrição de presença em diversos locais ao redor do mundo (AlgaBase - Guiry et al. 2020). Segundo Boyer (1900) é muito comum ao longo da costa Atlântica, especialmente Sul (Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul), bem como, na região Nordeste (Alagoas, Pernambuco, Rio Grande do Norte) e Sudeste (Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo) (Flora do Brasil, 2020).

As relações entre *Bidulphia bidulphiana* e pequenas diatomáceas epifíticas foram descritas anteriormente por Tiffany e Lange (2002) em San Diego, CA, EUA. Esses autores descreveram que em San Diego, esta microalga está localizada entre 20-24 m de profundidade como “vastos tapetes de diatomáceas no fundo do mar” e identificaram várias espécies ligadas às células de *B. bidulphiana* (Tiffany e Lange 2002). As altas densidades que observamos são análogas aos “tapetes” como descrito por diferentes autores.

Esta estratégia possui uma potencial vantagem com relação ao custo energético para as células das microalgas, que é a possível facilitação de um estilo de vida bentônico com a

formação de um “tapete” como substrato e assim propiciar uma simbiose entre os diferentes organismos, inclusive, briozoários e outras algas. Outra vantagem é que a formação deste substrato é importante para a própria colonização, pois com o aumento da biomassa, *B. biddulphiana* se utiliza das próprias células como suporte estrutural para aumentar ainda mais sua densidade.

Amphitetra antediluviana (Figura 14)

Esta espécie de diatomácea também é comum no ambiente marinho e com distribuição mundial. Possui característica epibêntica, formando extensas colônias que se ligam em zigue-zague, desenvolvendo-se aderidas à macroalgas ou sobre o sedimento arenoso (www.AlgaeBase.org). Sua ocorrência também foi observada junto com *B. biddulphiana*, em estruturas artificiais em praias do Caribe Colombiano com elevada densidade (VIDAL, et. all., 2017). Sua distribuição é bastante ampla inclusive, com descrição nas Ilhas Canárias, Espanha (Rodriguez, A. O.; 2003)

Na costa da Califórnia, Tiffany (2002) descreve que espécies de diatomáceas de maior tamanho, com características epifíticas, atuam como substratos para outras diatomáceas. Nos registros do sul da Califórnia envolviam espécies que formam longos filamentos presos a rochas ou macroalgas, como *Biddulphia biddulphiana*. Essas diatomáceas grandes tinham outras diatomáceas ligadas, geralmente às faixas da cintura ou a superfícies planas ou côncavas da face e manto da válvula. Ocasionalmente, a porção de mucilagem que conectam as células serviam como substrato para pequenas diatomáceas epifíticas. Descreve ainda que a flora anexa compreendia vários gêneros não relacionados de diatomáceas cêntricas e penadas. Assim, grandes diatomáceas epifíticas fornecem locais de ligação adequados para outras espécies de diatomáceas em corpos d’água que abrangem uma ampla faixa de salinidade, e parece ser um fenômeno comum.

Outro fator importante é também a composição fitoplanctônica que acompanha as arribadas. Pode-se observar uma riqueza de espécies de outros grupos, a medida que as arribadas permanecem na coluna d’água, ou seja, quanto maior o tempo de residência das arribadas na água, hipoteticamente, maior será a riqueza de espécies de outros grupos,

como, cianobactérias, criptofíceas, dinoflagelados bentônicos e até mesmo outras espécies de diatomáceas.

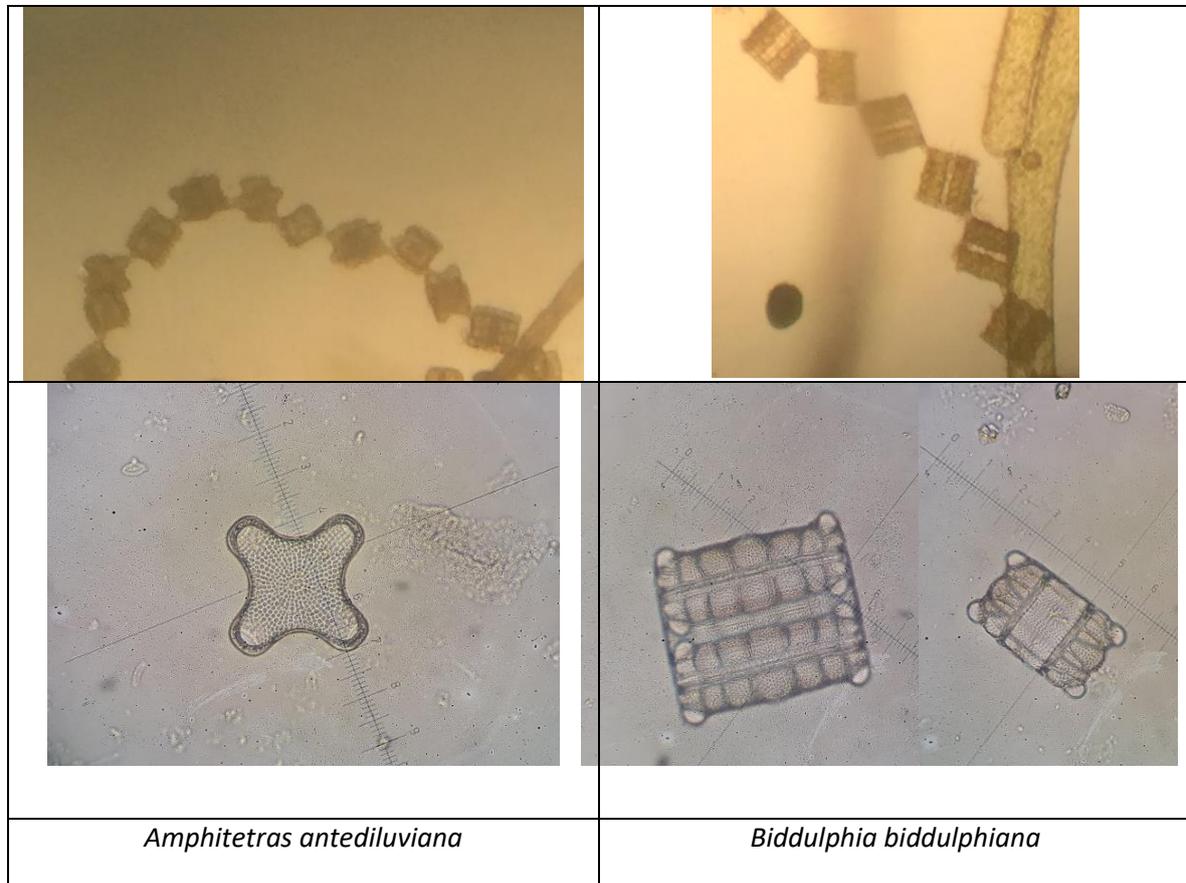


Figura 14 – Microfotografia das microalgas *Amphitetras (Biddulphia) antediluviana* e *Biddulphia biddulphiana*.

Briozoário *Arbocuspis ramosa*

Os briozoários são animais coloniais aquáticos, abundantes em ambientes marinhos e importantes componentes do registro fóssil. Em alguns lugares, os restos do esqueleto são tão abundantes que os fósseis se tornam um importante material de formação de rochas. São também conhecidos como "tapetes de mar", "animais musgo" ou "corais de renda". A maioria é marinha, embora as formas de água salobra e água doce sejam moderadamente comuns. Estes animais que se reproduzem assexuadamente por brotamento (entre outras maneiras). Essas novas adições contêm indivíduos funcionais (zooides), capazes de se alimentar de forma independente, mas permanecendo ligados ao resto do animal. As

colônias de briozoários têm uma semelhança superficial com os corais, mas a anatomia do briozoário é muito mais complexa (Bock, 2016).

Espécies de *Arbocuspis* são especialmente adaptadas para colonizar habitats de águas rasas e substratos efêmeros, e suas distribuições aparentemente amplas podem resultar de transporte natural e/ou antropogênico, e/ou também apontar para complexos de espécies criptogênicas (espécie de origem biogeográfica desconhecida ou incerta, este termo deve ser empregado quando não existe uma evidência clara de que a espécie seja nativa ou exótica) (Rosso et al., 2017). *Arbocuspis ramosa* (Figura 15) é caracterizada por apresentar duas fases da colônia, uma encrustada e outra ereta. *Arbocuspis ramosa* é encontrada no Atlântico oeste, de Porto Rico ao sul do Brasil (Vieira et al., 2016).



Figura 15 – Microfotografia de *Arbocuspis ramosa*.

Macroalga *Briopsis pennata*

A ordem Bryopsidales é um grupo de algas marinhas de distribuição mundial com máxima diversidade em águas tropicais. São algas de morfologia variada, desde uns milímetros a vários metros, caracterizadas por possuir células geralmente filiformes, mas frequentemente formam um emaranhado comuns forma geral bem definida, dando lugar as algas de formas muito curiosas, segmentadas, laminares e em forma de copas, esféricas ou de arbustos. Uma característica destas algas é que estão formadas por uma só célula, já que não existe partições entre os núcleos que se situam dentro dos filamentos. Desta

forma, tanto os núcleos como as organelas celulares podem escorregar para fora da célula. Com frequência se reproduzem por fragmentação. Diante de certas condições do meio, toda alga pode transformar-se em milhares de células nadadoras com dois flagelos. Durante este processo, uma alga adulta e completamente verde inicia a transformar-se em célula nadadora e em horas não há mais que um esqueleto branco de paredes celulares sem vida. Quando se une a um substrato e inicia o alargamento formando a única célula que originará a alga adulta (Boluda, 2020).

As espécies de *Bryopsis* são altamente oportunistas em condições eutróficas. As comunidades terão biomassa mais alta dessa alga de rápido crescimento quando localizadas perto de uma porção de água doce rica em nutrientes ou onde as temperaturas da água flutuam (Boluda, 2020).

As espécies de *Bryopsis* são potencialmente invasivas. O gênero produz defesas químicas que são tóxicas para a maioria dos organismos e se reproduz vegetativamente, facilmente a partir de pequenos fragmentos. Desta forma, caso as condições ambientais favoreçam o crescimento destas espécies, elas podem tornar-se mais competitivas e possivelmente dominantes (Virtual Herbarium, 2020).

Espécie ocorrente na arribada: *Bryopsis pennata* (Figura 16) J.V. Lamouroux (Virtual Herbarium, 2020)

Talo filamentosos, espessos, em tufo, com 10 cm de altura. Frondes em forma de pena, de 8 a 15 mm de largura, ramificados na forma de pena; ramos laterais de comprimento uniforme, contraídos na base, onde se unem ao eixo principal. Ramificações em duas linhas opostas na metade superior do ramo, metade inferior vazia. O sistema rizoidal é fibroso, firmemente entrelaçado. A cor é verde escura brilhante, geralmente com iridescência azul clara. Eixos principais 240-360 µm de diâmetro; ramificações laterais com diâmetro de 75-150 µm. As penas vegetativas funcionam como gametângios. As algas são dioicas, com plantas masculinas se tornando verde-amareladas e as femininas verde-escuras. Forma aglomerados macios de tufos presos a rochas e em restos de materiais biológicos em planícies rasas de recifes, em poças de maré e em habitats intertidais inferiores com ação de ondas baixas (VIRTUAL HERBARIUM, 2020).

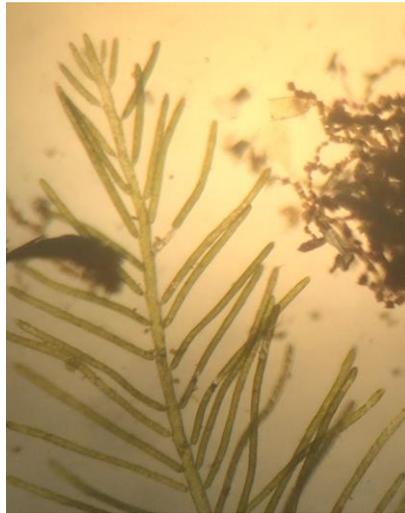


Figura 16 – Microfotografia de *Bryopsis pennata*.

Em 2007 Pezzuto e colaboradores relatam a presença de arribadas de pequeno porte na praia central constituída basicamente pelas microalgas bentônicas *Amphitetras antediluviana* e *Biddulphia biddulphiana* (Figura 17). São diatomáceas formadoras de cadeias e não estavam associadas a outros organismos a não ser pequenos pólipos de hidrozóia que provavelmente utilizavam as microalgas como substrato. Posteriormente Ottonelli (2014) e Rorig et al (2017) relatam as arribadas na praia central constituídas pelas mesmas microalgas, mas agora com um alto percentual de briozoários e alta biomassa nas praias. Atualmente as arribadas apresentam-se mais frequentes, ainda com uma alta biomassa mas com uma nítida variação na sua composição, com a presença da macroalga *Bryopsis*, redução da presença dos Briozoários e aumento da diversidade de microalgas envolvendo microalgas bentônicas como *Navicula* e *Melosira* (Figura 18).

Ao que parece a composição dos organismos das arribadas interferem na distribuição espacial das manchas na praia. Quando constituída predominantemente por macroalgas a sua distribuição é praticamente contínua na praia central, e quando dominada ou por microalgas ou por briozoários a distribuição ou ocorrências na praia é mais pontual. Este fato pode ser devido, além das altas biomassas registradas, a maior flutuabilidade das macroalgas associada ao maior tamanho e ramificações que conferem a este organismo resistência ao fluxo laminar da água.

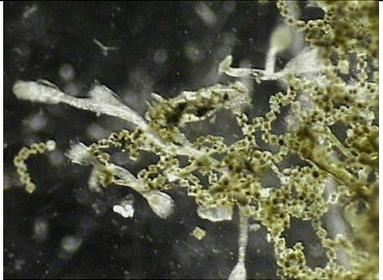
		
<i>Amphitetras antidiluviana</i> , <i>Biddulphia biddulphiana</i> e Hidrozoa indet. em 2007 (Pezzuto et al., 2007).	<i>Amphitetras antidiluviana</i> , <i>Biddulphia biddulphiana</i> e o briozoário <i>Arbocuspis bellula</i> em 2011/2012 (Ottonelli, 2014).	<i>Amphitetras antidiluviana</i> , <i>Biddulphia biddulphiana</i> , a macroalga <i>Briopsis</i> sp e Briozoários em 2019 (Este estudo).

Figura 17 – Evolução da composição das arribadas na praia central de Balneário Camboriú entre 2007 a 2019.

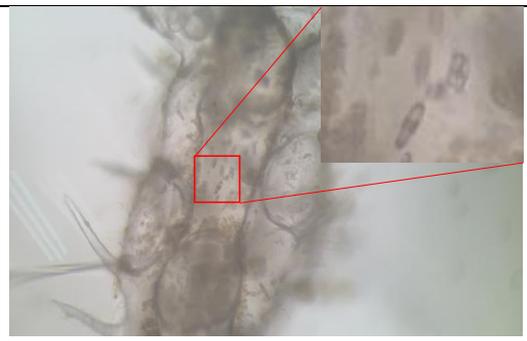
	
Presença de <i>Navicula</i> sp no interior do Briozoário	<i>Melosira</i> sp aderidas a <i>Bryopsis</i>

Figura 18 – Ocorrência de outras microalgas bentônicas nas arribadas da praia central de Balneário Camboriú.

Interpretação

O principal organismo das arribadas são microalgas bentônicas que apresentam associadas a outros organismos, animais e vegetais que utilizam as microalgas como substrato e essas oferecem oxigênio além de nutrientes obtidos dos sedimentos ou de camadas nefelóides.

Observa-se atualmente sucessão ecológica na enseada, uma espécie de adaptação do ambiente a presença desta comunidade que se desenvolveu nas células de circulação do ambiente. Como se trata de vegetais, os principais organismos, os nutrientes em excesso podem ser os responsáveis pela sua biomassa, envolvendo inclusive sedimentos ricos em matéria orgânica.

O sistema de circulação da região de praia ou zona de surf determinam a distribuição das ocorrências das arribadas, que associada a morfologia de fundo, deriva litorânea e ventos podem até prever os locais de maior incidência das arribadas.

As arribadas apresentam um comportamento sazonal, tanto em termos de composição como em termos de biomassa, sendo que esses dois parâmetros aumentam com a temperatura e irradiação no fim da primavera e verão.

Os integrantes das arribadas não são espécies invasoras mas de distribuição pouco estudada na costa brasileira.

Estudos fisiológicos

Os estudos fisiológicos foram desenvolvidos para entender os requerimentos físico-químicos que os organismos das arribadas necessitam para o seu desenvolvimento e que possam explicar as altas biomassas que caracterizam as arribadas. A partir de ensaios fisiológicos é possível delimitar parâmetros reguladores do crescimento e das condições ambientais de desenvolvimento dos organismos (Taiz & Zeiger, 2013).

Para o crescimento de vegetais a dependência de nutrientes é de conhecimento geral sobre as marés verdes (Schramm & Nienhuis, 1996) e anteriormente estudado para o caso das microalgas ocorrentes na praia central de Balneário Camboriú (Ottonelli, 2014 e Rorig et

al., 2017). Foi dada a prioridade para a avaliar os efeitos da intensidade de luz e da turbulência sobre o desenvolvimento dos organismos.

Para o experimento 01 foi utilizado material biológico da arribada total (completa) de 27/03/2019 cuja a constituição em peso foi de >85% da macroalga *Bryopsis*, >9% de microalgas (*Amphitetras antediluviana* e *Biddulphia biddulphiana*) e <1% de Briozoário *Arboscuspis ramosa*.

Os resultados obtidos para este experimento podem ser aplicados principalmente para a macroalga *Bryopsis* já que foi a dominante no material biológico utilizado e ocorrente nas arribadas. Primeiramente em condições estáticas ocorreu a fixação da macroalga no fundo dos frascos de erlenmeyer o que primariamente determina um crescimento positivo. Em segundo ponto a atenuação de luz de 67 e 74% também foram condições básicas para o crescimento positivo das arribadas dominadas por *Bryopsis* (Figura 19).

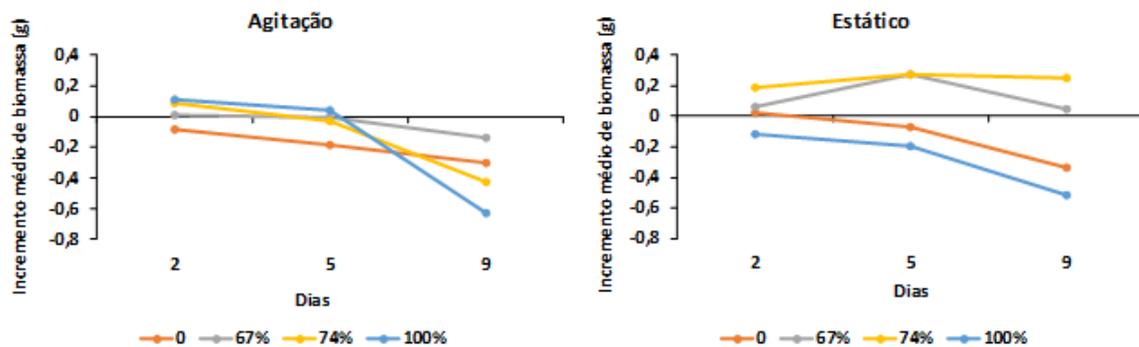


Figura 19 – Incremento de biomassa em gramas de arribadas constituídas por >85% da macroalga *Bryopsis*, >9% de microalgas (*Amphitetras antediluviana* e *Biddulphia biddulphiana*) e <1% de Briozoário *Arboscuspis ramosa* em condições estáticas e sob agitação e em quatro condições de intensidade luminosa (sem atenuação de 48,46 $\mu\text{M}/\text{cm}^2/\text{s}$; atenuação de 67% com 15,84 $\mu\text{M}/\text{cm}^2/\text{s}$; atenuação de 74% com 12,41 $\mu\text{M}/\text{cm}^2/\text{s}$ e atenuação de 100%).

Os resultados indicaram que:

1. Águas mais calmas, onde a fixação da macroalga é permitida, independente do tipo de substrato (duro ou mole) pode permitir o desenvolvimento deste organismo.
2. A atenuação da luz é também necessária para o desenvolvimento da macroalga, podendo ocorrer tanto em maiores profundidades como em águas de menor transparência (ou maior turbidez).

Por fim, observou-se que no fim de 12 dias de cultivo, quando ocorreu redução significativa da biomassa da macroalga em todos os tratamentos, um aumento expressivo das microalgas passando ao constituinte principal da biomassa do material biológico dos experimentos (Figura 20).



Figura 20 – Condições experimentais e aspectos do material biológico ante e depois do período experimental de 12 das.

Para o experimento 2 foram avaliadas as taxas crescimento de organismos presentes nas arribadas de forma isolada. O material biológico utilizado foram os isolados de *Amphitetras antediluviana*, *Biddulphia biddulphiana* (microalgas) e *Arboscuspis ramosa* (briozoário).

Os cultivos com as células isoladas das duas microalgas demonstraram que o crescimento ocorre independente da adesão das células a algum substrato e de que a espécie *Biddulphia* apresenta taxas de crescimento superiores em relação a *Amphitetras* variando de 1,6 a 2,2 a relação do incremento celular (Figura 21).

O cultivo das microalgas com a presença do briozoário *Arbocuspis ramosa* apresentou resultados similares em termos de taxas em relação ao cultivo com as células isoladas. Ou seja, as microalgas crescem independente da existência e tipo de substrato já que os resultados foram similares para o cultivo com tela de nylon (dados não mostrados), que a espécie *Biddulphia* apresenta taxas de crescimento superiores a *Amphitetras* e também independe da agitação do sistema de cultivo (Figura 22).

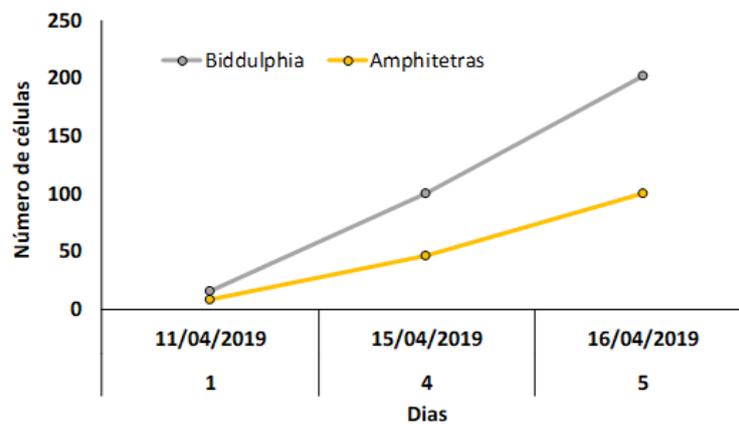


Figura 21 – Variação no número de células das espécies de microalgas *Amphitetras antediluviana*, *Biddulphia biddulphiana* em cultivos isolados (meio f/2).

Biddulphia+Arbocuspis	Luz	74% Inibição	
Estático	3,50	17,44	10,47
Gangorra	2,75	16,50	9,63
	3,13	16,97	



Amphitetras+Arbocuspis	Luz	74 % Inibição	
Estático	3,50	7,13	5,31
Gangorra		9,50	9,50
	3,50	8,31	



Figura 22 – Variação no número de células por dia para *Amphitetras antediluviana*, *Biddulphia biddulphiana* em cultivos com *Arbocuspis ramosa* em meio f/2 e adição de *Nannochloropsis* sp.

Por outro lado, a intensidade luminosa apresenta influência direta sobre o estímulo ou inibição do crescimento das microalgas. Ou seja, a atenuação da luz proporciona maiores taxas de crescimento para ambas as espécies de microalgas.

Os ensaios com a produção de zooides por dia para o briozoário *Arbocuspis ramosa* indicaram que o seu aumento é maior em condições de menor intensidade de luz e independente da agitação do sistema (Figura 23). Este resultado pode estar ou associado ou (1) ao artefato experimental já que o alimento oferecido *Nannochloropsis* sp pode crescer em condições de atenuação de luz ou (2) pode ocorrer uma simbiose entre o briozoário de microalgas em seu interior como apontado pela foto da figura 24 onde foram observados o gênero *Navicula* em seu interior. Esta microalga também é um gênero comum de microalgas bentônicas que possam estar presentes no sedimento da enseada.

Arbocuspis - Zoóide	Luz	74% Inibição	
Estático	0,00	2,71	1,35
Gangorra	1,25	3,50	2,38
	0,63	3,10	



Figura 24 – Variação do número de zooides de *Arbocuspis ramosa* em cultivo isolado e sob alimentação de *Nannchloropsis* sp. em diferentes condições de intensidade luminosa e de agitação. Na foto detalhe da microalga *Navicola* sp no interior do briozoário.

Para o experimento 3 realizado em 20/11/2019 e como terceira tentativa teve origem da arribada dominada pelas microalgas e com a presença de *Bryopsis* e *Arbocuspis*. Para a repetição do ensaio fisiológico a material coletado sofreu forte aeração overnight antes do experimento para retirada de areia.

Os resultados dos ensaios iniciados no dia 21/11/2019 confirmaram os resultados anteriores onde o principal parâmetro que estimula o crescimento das algas é a atenuação da luz (A60% - agitação em 60% de luz e E60% - estático em 60% de luz). As condições de ausência de luz (100%) parecem estimular a parte animal das arribadas com o estímulo de crescimento de briozoários e hidrozoários. Em alta incidência de luz parece haver uma inibição do crescimento de todos os organismos enquanto que em menor condições de turbulência (estático) as macroalgas parecem ser favorecidas (Figura 25).

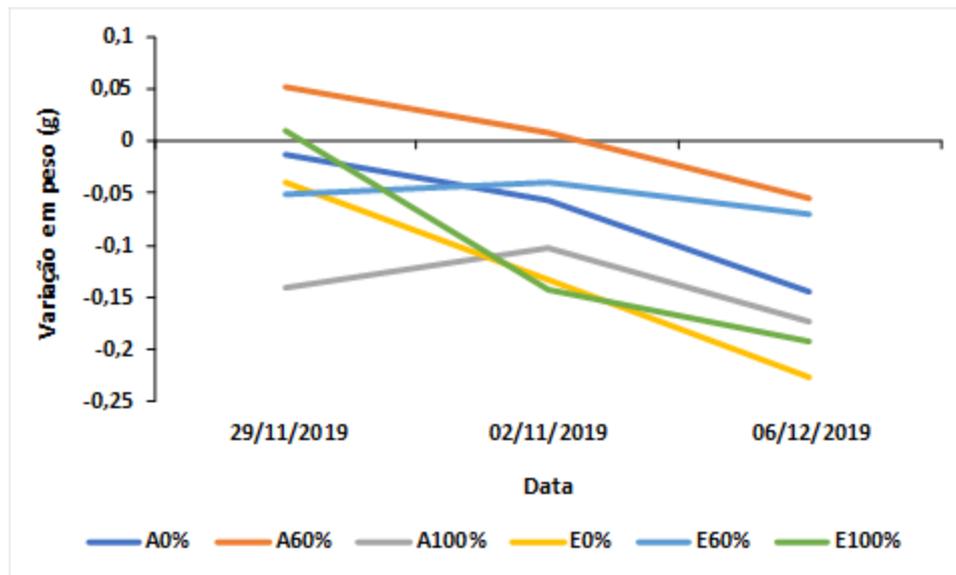


Figura 25 - Variação do peso das arribadas no tempo e nas condições de luz total (0%), inibição parcial (60%) e inibição total (100%) e em condições de agitação (A) e estático (E).

Interpretação:

Os estudos fisiológicos destacaram que o crescimento dos organismos normalmente observados nas arribadas não necessitam de substrato para o crescimento.

A espécie *Biddulphia* apresenta maiores taxas de crescimento em relação a *Amphiteras*.

A intensidade de luz é um fator determinante no crescimento dos organismos sendo a baixa intensidade estimuladora para as algas e sua ausência favorável ao briozoário, mas podendo ser um efeito secundário pela fragmentação das algas passando a serem utilizadas como alimento pelos animais.

Sob condições de menor agitação a macroalga apresenta maiores taxas de crescimento.

Estudo da hidrodinâmica para o estabelecimento de pontos de coleta com maior probabilidade de encontro da origem e acúmulo de organismos da arribada

Os resultados são apresentados divididos em dois grupos referente primeiramente à análise dos dados medidos e outro à modelagem numérica.

Análise de dados

Nível do mar e temperatura d'água

Analisando o registro de pressão medido pelo AWAC (Figura 26, linha preta), podem-se observar as oscilações de alta frequência causadas principalmente pela influência da maré astronômica. As oscilações de baixas frequências do nível do mar (Figura 4, linha vermelha) e da temperatura d'água podem ser comparadas. Quando esta comparação é realizada uma relação visual entre a elevação do nível do mar e um aumento da temperatura d'água no local do fundeio (camada de fundo) é observada em diversos momentos das séries temporais.

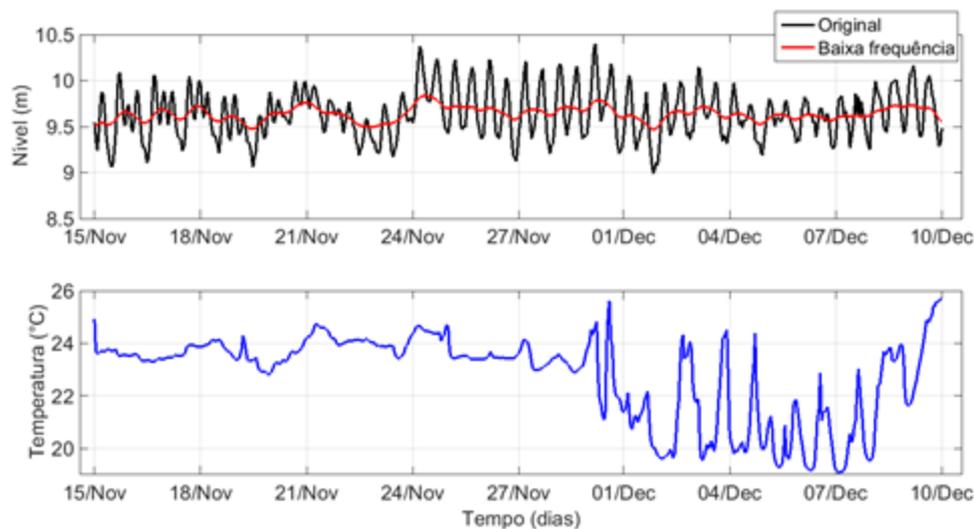


Figura 26 - Séries temporais de nível do mar (acima) e temperatura d'água (abaixo).

A Figura 27 apresenta a série temporal de nível do mar medida na praia de Laranjeiras pela Epagri/Ciram. É possível observar a predominância das oscilações de alta frequência (maré astronômica). Entretanto, as oscilações de baixa frequência, geralmente

relacionadas ao vento, podem causar elevações ou rebaixamentos no NM muito significativos.

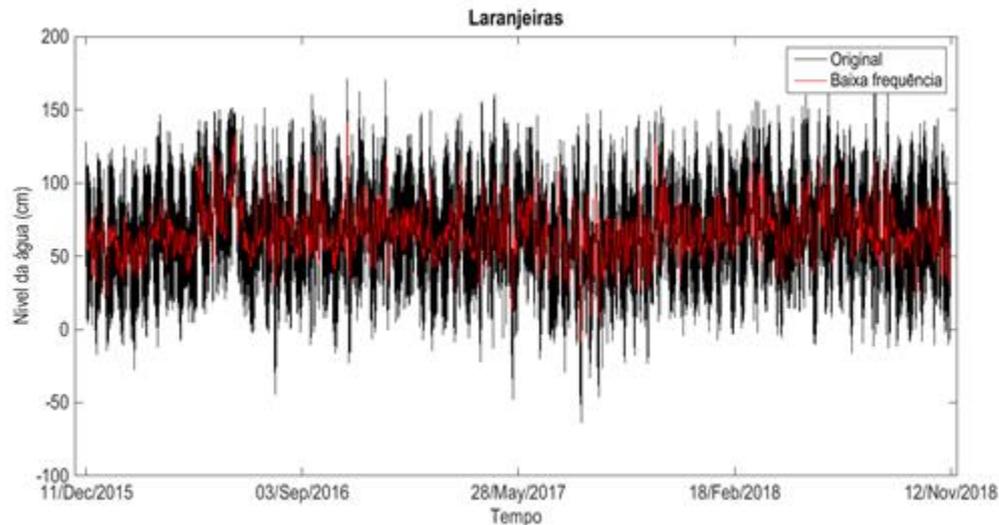


Figura 27 - Série temporal de nível do mar medidos em Laranjeiras pela Epagri/Ciram.

Circulação por correntes

A circulação por correntes na área do fundeio, localizada na região da plataforma continental interna, ao largo de Balneário Camboriú apresenta padrões de inversões periódicas nas direções das correntes. A componente longitudinal a costa das correntes pode ser ora para Norte, ora para Sul. Da mesma forma, a componente transversal à costa da corrente pode ser ora em direção a terra, ora em direção ao mar, tanto em superfície quanto na camada de fundo (Figura 28). Muito provavelmente estes comportamentos têm relação com o vento local atuante na superfície da coluna d'água. Cabe ressaltar um evento em 24 de novembro, no qual, ocorreu uma intensa corrente de fundo, de aproximadamente 20 cm/s, direcionada para a costa.

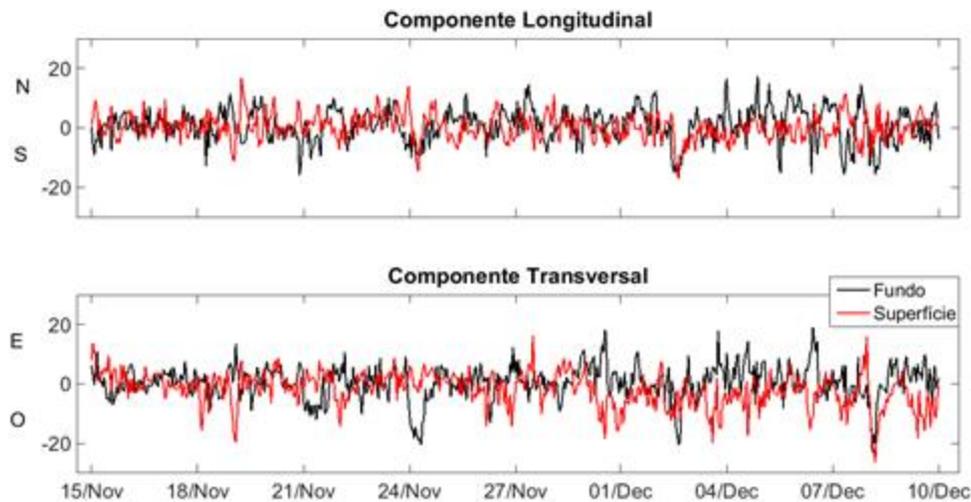


Figura 28 - Componente longitudinal da corrente medida na camada de fundo (preto) e de superfície (vermelho), onde os valores positivos indicam fluxos para N e negativos para S. Componente transversal da corrente onde os valores positivos indicam fluxos em direção ao mar aberto, e negativos em direção à costa.

Na Figura 29 é possível observar o perfil vertical médio das velocidades da corrente para todo o período do fundeio. Nota-se, um fluxo na componente longitudinal (em preto), para N. A velocidade média do perfil foi de aproximadamente 0,5 cm/s, demonstrando um padrão barotrópico com direção N nesta estação do ano. O perfil médio das velocidades na componente transversal à costa (em cinza) demonstrou um fluxo em direção à costa, nas camadas mais superficiais e outro oposto pelo fundo, em direção ao oceano. O fluxo residual integrado desta componente resultou em um valor de -0,5 cm/s, em direção à costa.

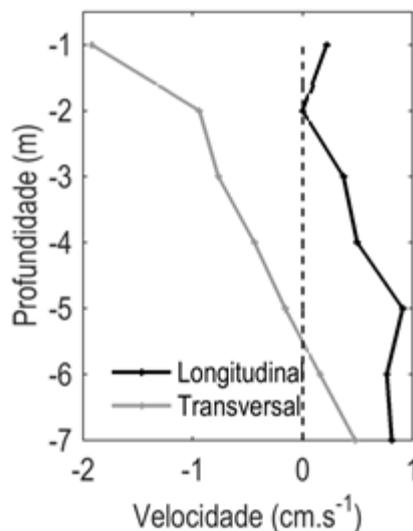


Figura 29 - Perfil médio da velocidade da corrente. Em preto os valores positivos indicam sentido para N. Em cinza, valores positivos indicam correntes em direção ao oceano e negativos à costa.

Ondas de superfície

A Figura 30 apresenta a série temporal dos principais parâmetros de ondas registrados no fundeio do AWAC. Pode ser observado que no período amostrado houve variação significativa na altura e no período das ondas. A direção de incidência das ondas variou entre Leste e Sudeste. As Figura 30 e Figura 31 apresentam as rosas direcionais da altura e período das ondas, retratando a distribuição de frequência da direção de onda que mais ocorreu no período, ou seja, Sudeste. Os parâmetros estatísticos, média, mínimo e máximo de cada parâmetro são apresentados na Tabela 3.

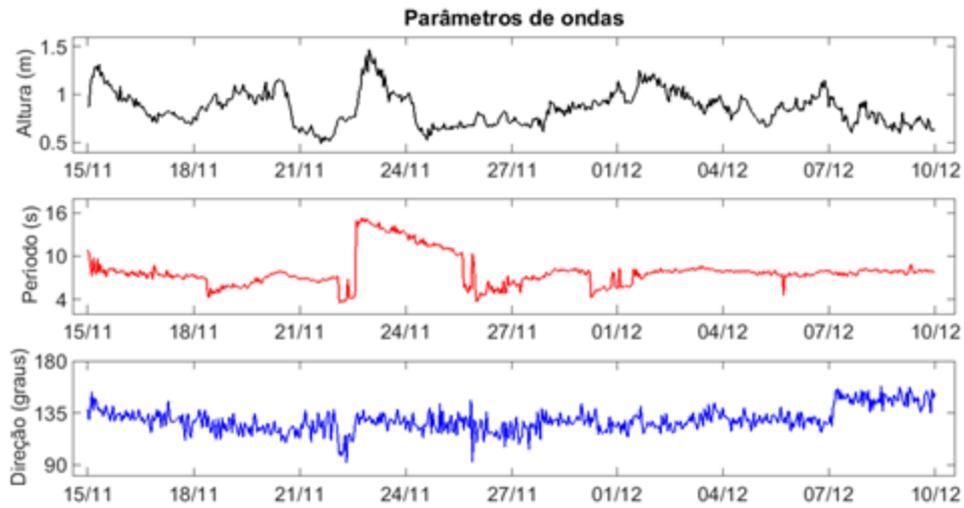


Figura 29 - Principais parâmetros de ondas. Altura, período e direção.

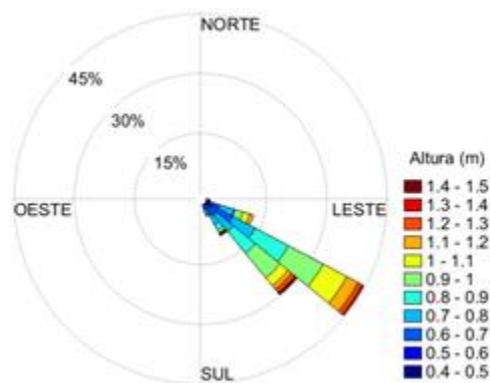


Figura 30 - Distribuição de frequência da altura.

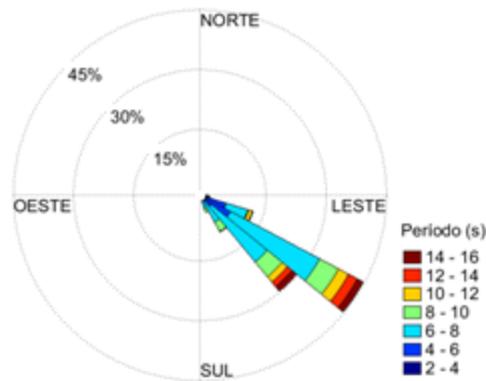


Figura 31 - Distribuição de frequência do período das ondas

Tabela 3. Parâmetros estatísticos.

	Altura (m)	Período (s)	Direção (°)
Média	0,86	7,8	128
Mínimo	0,49	3,4	92
Máximo	1,47	15.3	158

Circulação por correntes na zona de arrebentação (fotos)

Nas fotos utilizadas neste subcapítulo a coloração escura na água provavelmente está relacionada com eventos de Arribadas. Na Figura 32 a coloração escura na água, está limitada a zona de arrebentação e ao longo da orla de BC. Um padrão que aparenta estar confinado a zona de arrebentação das ondas, a qual possui uma hidrodinâmica relacionada a quebra das ondas.



Figura 32 - Foto de 2018, com angulo de sul para norte, mostrando a coloração escura em toda a orla de BC.

A coloração escura na água observada na Figura 33 também está relacionada à dinâmica da zona de arrebatção. A seta vermelha indica uma possível corrente de retorno (direcionada da terra para o mar). Cabe ressaltar, que este padrão indica que uma vez que o material é transportado para a praia ele pode retornar para o mar através de uma corrente de retorno.



Figura 33 - Foto de 08 de dezembro de 2018, com ângulo de norte para sul, mostrando a coloração escura na zona de arrebentação da Praia Central em BC.

Na Figura 34 pode-se observar uma pluma com coloração escura fluindo do canal do Marambaia em direção ao mar. Entretanto, pelas fotos, não há evidências que essa pluma chegou ou chega à praia central de forma direta e instantânea. Esse padrão sugere que o material transportado do canal do Marambaia para o mar, pode ficar por um período em uma região mais profunda ao largo da praia Central, sendo acumulado, e por algum mecanismo hidrodinâmico é transportado para a praia causando a Arribada.



Figura 34 - Foto de 05 de abril de 2019, mostrando a coloração escura na desembocadura do canal do Marambaia.

A Figura 35 apresenta uma foto retirada nas proximidades do canal do Marambaia. No entanto, não há evidências que a coloração escura na praia está relacionada com a pluma do canal do Marambaia. Pela imagem pode-se inferir um comportamento típico de zona de arrebatção, ou seja, a presença de correntes longitudinais a praia (corrente de deriva) de sul para norte. O que causou o acúmulo de material no molhe do canal do Marambaia.



Figura 35 - Foto de 20 de abril de 2019.

A Figura 36 demonstra a pluma do canal do Marambaia com tendência a fluir para a praia, mas não é observada coloração escura na praia, mais uma vez, não foi observado um fluxo direto do canal do Marambaia para a praia Central.



Figura 36 - Foto de 24 de novembro de 2018.

Modelagem numérica

Validação

Comparando-se os resultados de elevação no nível do mar medido com o gerado pelo modelo (Figura 37) verifica-se que o modelo consegue reproduzir a oscilação do nível do mar na enseada satisfatoriamente, visto que o EAM obtido desta comparação foi de 0,2047. Segundo Walstra et al. (2001), a comparação entre dados medidos e calculados é classificada como boa. Verifica-se que há uma defasagem entre as duas séries temporais que pode ser resultante do fato do modelo ter sido forçado apenas com constantes harmônicas, não tendo considerado os ventos atuantes no local. O modelo também não passou pelo processo de calibração que poderia ter melhorado o ajuste entre as duas séries temporais.

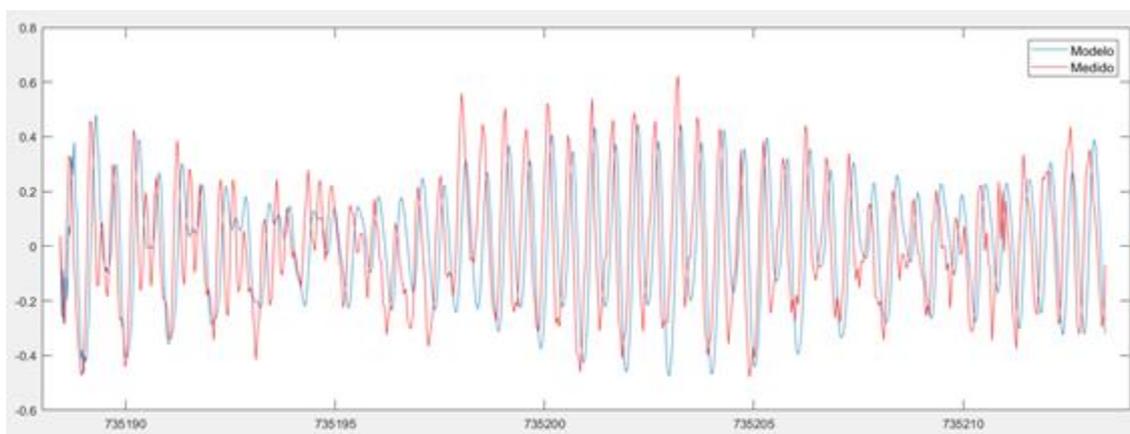


Figura 37 - Comparação entre o nível de água medidos pelo AWAC no período de 15/11/2012 a 10/12/2012 e o resultado gerado para o modelo no mesmo período.

Caracterização das forçantes

Conforme indicado no item 3.4.1, o modelo foi forçado com maré astronômica e ventos atuantes no local de interesse, sendo a série temporal de elevação do nível mar apresentado na Figura 38 e as rosas dos ventos na Figura 39.

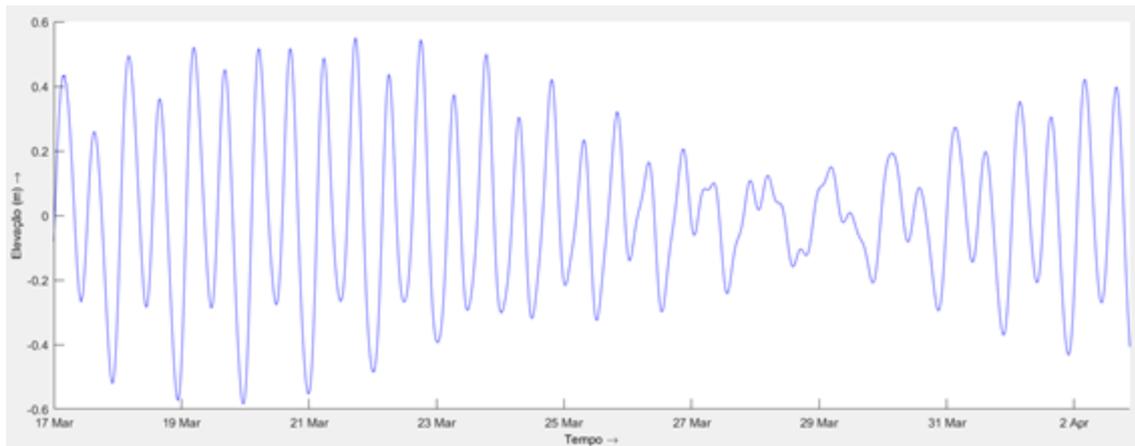


Figura 38 - Série temporal de elevação do nível do mar gerado pelo modelo no ponto de fundeio do AWAC para o período de 17/03/2019 a 02/04/2019.

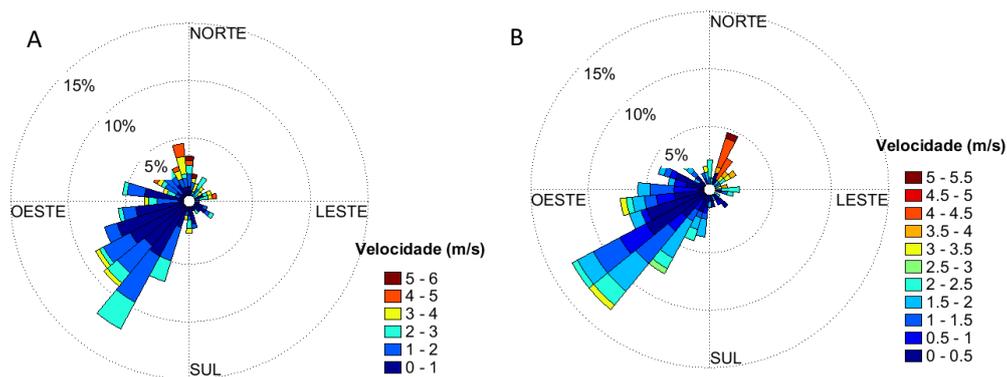


Figura 39 - Rosa dos ventos para os períodos modelados. (A) Sízígia: 15/03/2019 a 25/03/2019, (B) Quadratura: 26/03/2019 a 02/04/2019. Convenção meteorológica.

Analisando as rosas dos ventos para os períodos modelados verifica-se que tanto em sizígia como na quadratura há uma predominância de ventos de sudoeste, sendo no período de quadratura houve a presença de ventos mais intensos na direção nordeste.

Cenários modelados

Os modelos hidrodinâmico e de ondas foram executados acoplados para períodos de sizígia e quadratura em um intervalo de 3 dias para cada um dos períodos, alterando-se os casos de onda, conforme apresentado no item anterior.

O padrão da circulação hidrodinâmica resultante destas simulações é apresentado em quatro instantes significativos de cada execução: meia maré vazante, estufa de vazante, meia maré enchente e estufa de enchente para a camada mais próxima ao fundo, pois de acordo com Smetacek e Zingone (2013) as algas e briozoários permanecem próximos ao fundo antes de arribar na praia.

Nos resultados gerados somente por maré ficam evidenciados os instantes de enchente e vazante, assim como os momentos de estufa de maré, com velocidades baixas no ambiente. Nos resultados que se seguem nas figuras abaixo, tanto em sizígia como em quadratura, estes instantes não ficam evidenciados pois a circulação é influenciada principalmente pelas ondas.

Salienta-se que o modelo hidrodinâmico, apesar de ter sido executado com o modelo de ondas, não foi implementado, nesta etapa, para gerar correntes na zona de arrebentação.

Sizígia

Ao analisar os resultados das simulações verificou-se de maneira geral que a circulação pode se dividir em duas células, uma célula com padrão de circulação dentro da enseada e outra célula fora, conforme pode ser visualizado na Figura 40.

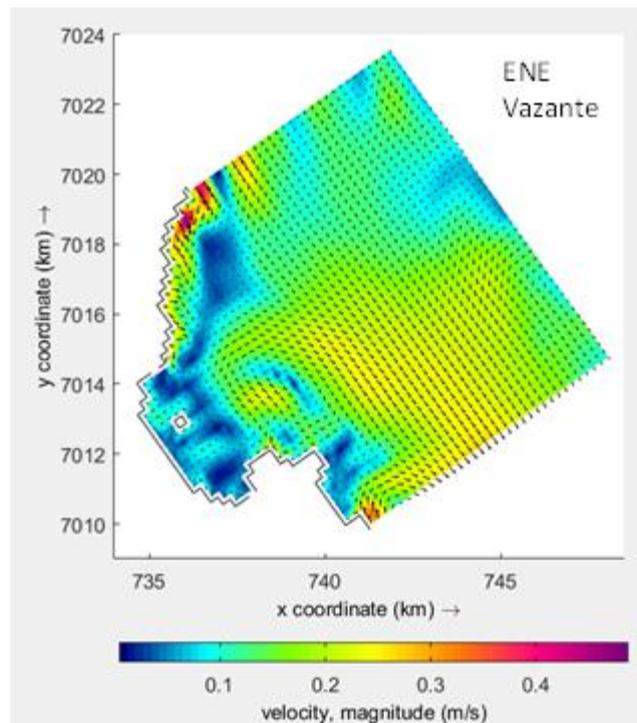


Figura 40 - Campo de velocidades na área modelada para o caso de onda Leste-Nordeste (ENE) no período de sizígia e no instante de meia maré vazante. As cores indicam a magnitude da velocidade e os vetores a direção da velocidade.

Como o interesse está na região próxima à praia, optou-se por apresentar os resultados da circulação hidrodinâmica nesta região. A seguir apresenta-se os quatro instantes relacionadas à maré para cada caso de onda.

Caso de ondas de Leste (E)

A partir da análise da Figura 41 verifica-se a presença de células de circulação localizadas uma à direita da Ilha das Cabras e outra à esquerda, gerando locais com pouca circulação. Observa-se uma corrente proveniente do contorno aberto Sul que se divide gerando uma circulação na região externa a enseada e uma pequena fração que se desloca em direção a enseada gerando estas células de circulação na região lateral à Ilha das Cabras.

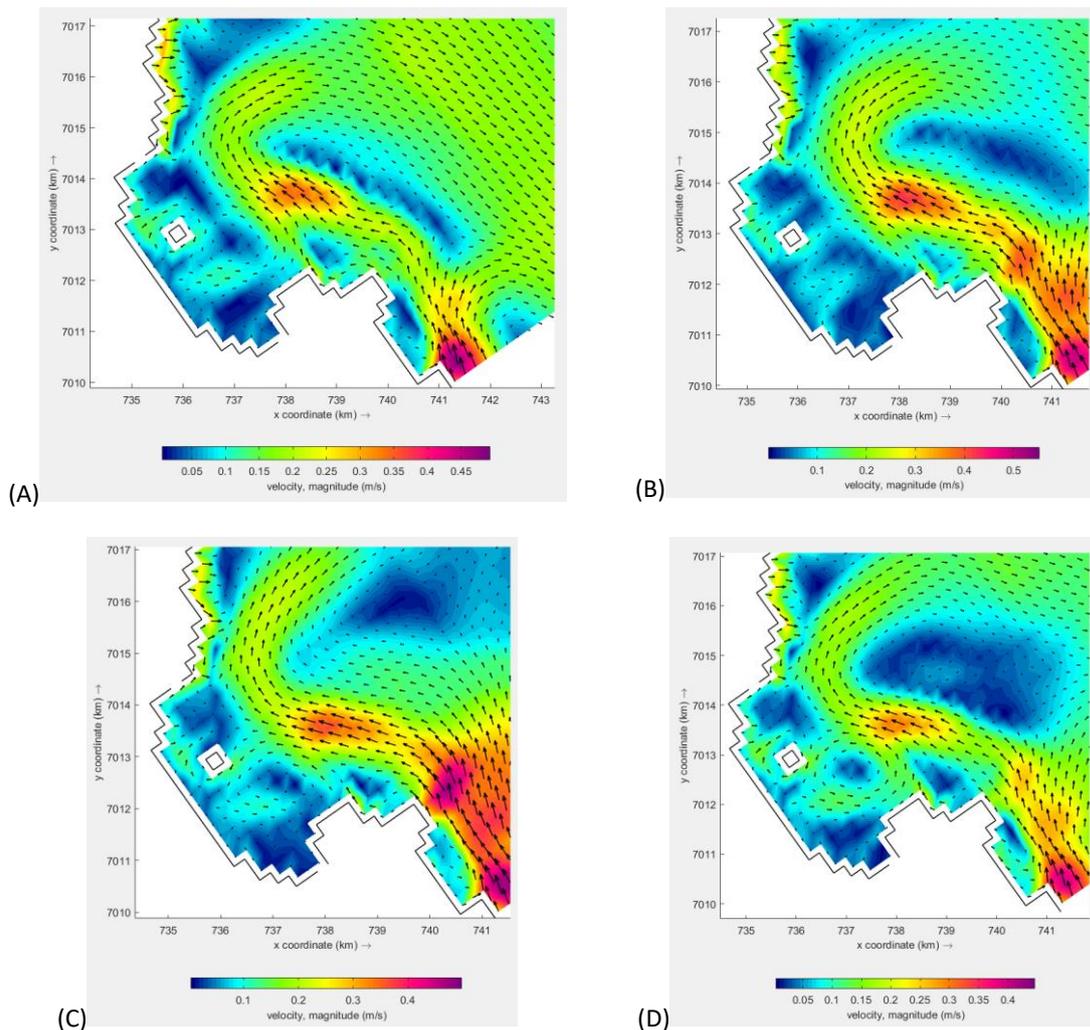


Figura 41 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Leste (E), período de sizígia nos instantes: (A) Meia maré vazante, (B) Estofa de maré vazante, (C) Meia maré enchente, (D) Estofa de maré enchente para a camada vertical próxima ao fundo.

Caso de ondas de Leste-Nordeste (ENE)

Nos resultados gerados para este caso de ondas (Figura 42) verifica-se a corrente proveniente do contorno aberto Sul após a entrada no domínio se desloca para a direita indo em direção oposta a praia de Taquaras, com exceção do instante de maré enchente, e depois gera padrões de circulação semelhantes às obtidas no caso de ondas de Leste.

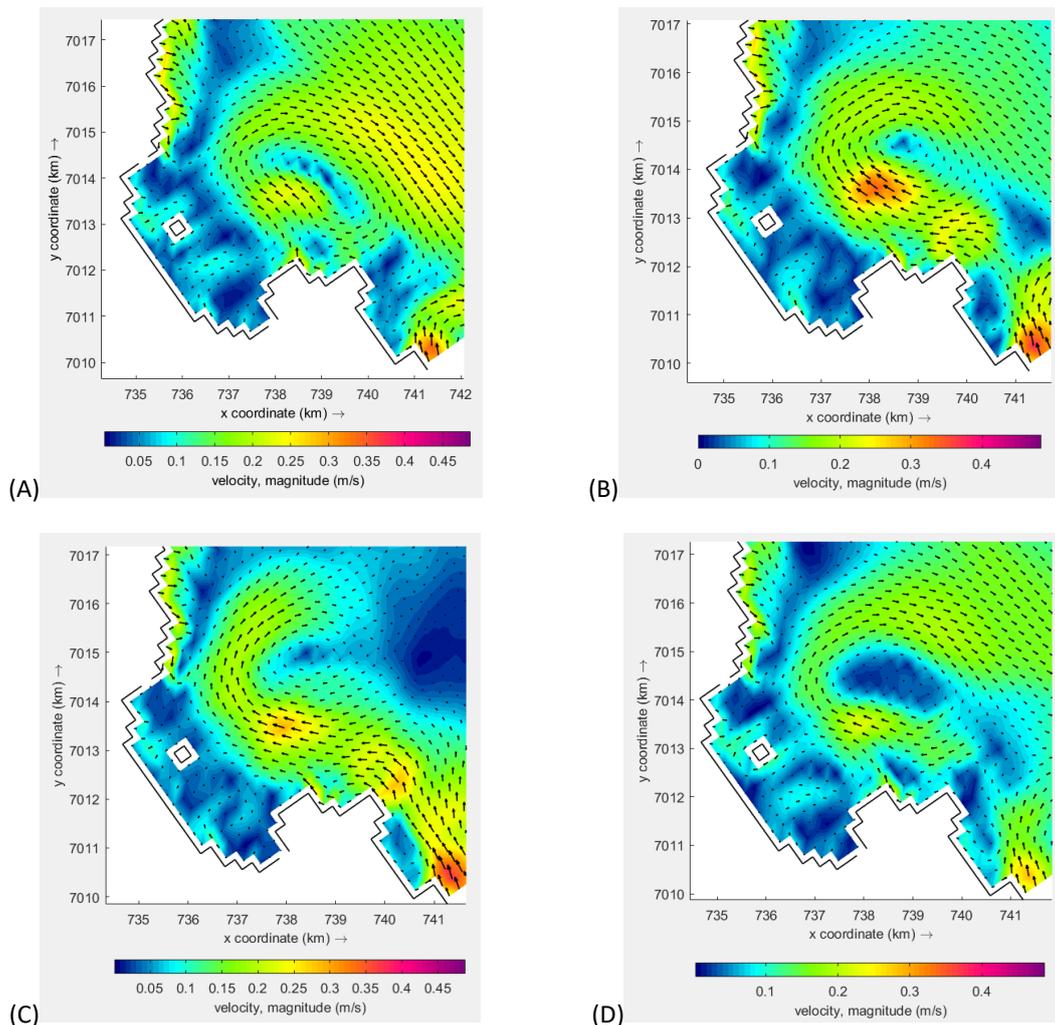


Figura 42 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Leste-Nordeste (ENE), período de sizígia nos instantes: (A) Meia maré vazante, (B) Estofa de maré vazante, (C) Meia maré enchente, (D) Estofa de maré enchente para a camada vertical próxima ao fundo.

Neste caso, verifica-se também a presença das células de circulação à direita e à esquerda da Ilha das Cabras porém, evidencia-se uma área maior dominada por velocidades menores do que a área de baixas velocidades presentes no caso de ondas de Leste.

Caso de ondas de Leste-Sudeste (ESE)

Para este caso de ondas de Leste-Sudeste (ESE) a corrente proveniente do contorno aberto Sul apresentou-se com altas velocidades nos quatro instantes de marés analisados, deslocando-se paralela a linha de costa até aproximadamente a altura da Ilha das Cabras, onde se divide indo parte em direção a enseada e outra na direção oposta. A corrente que vai em direção a enseada gera um vórtice localizado a direita da Ilha das Cabras, o que também ocasiona áreas de baixas velocidades à esquerda da ilha e próxima ao pontal Norte, assim como no pontal Sul e na praia de Laranjeiras (Figura 43).

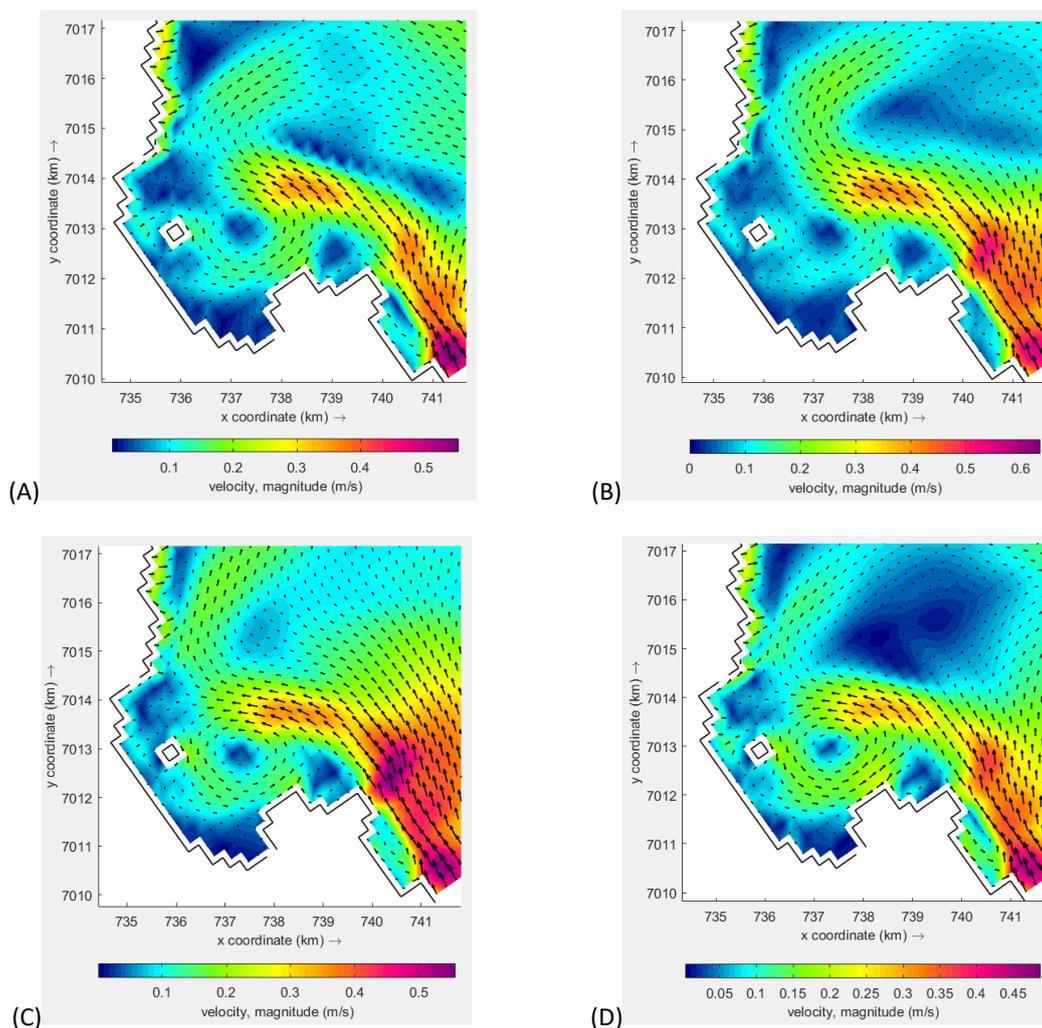


Figura 43 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Leste-Sudeste (ESE), período de sizígia nos instantes: (A) Meia maré vazante, (B) Estofa de maré vazante, (C) Meia maré enchente, (D) Estofa de maré enchente para a camada vertical próxima ao fundo.

Caso de ondas Sul-sudeste (SSE)

Na Figura 44, um padrão de circulação similar ao obtido pelo caso de ondas de ESE é observado, porém neste caso, uma grande área com baixa circulação localizado na parte Norte do domínio modelado, assim como na região próxima a linha de costa da praia Central de Balneário Camboriú e na praia de Laranjeiras.

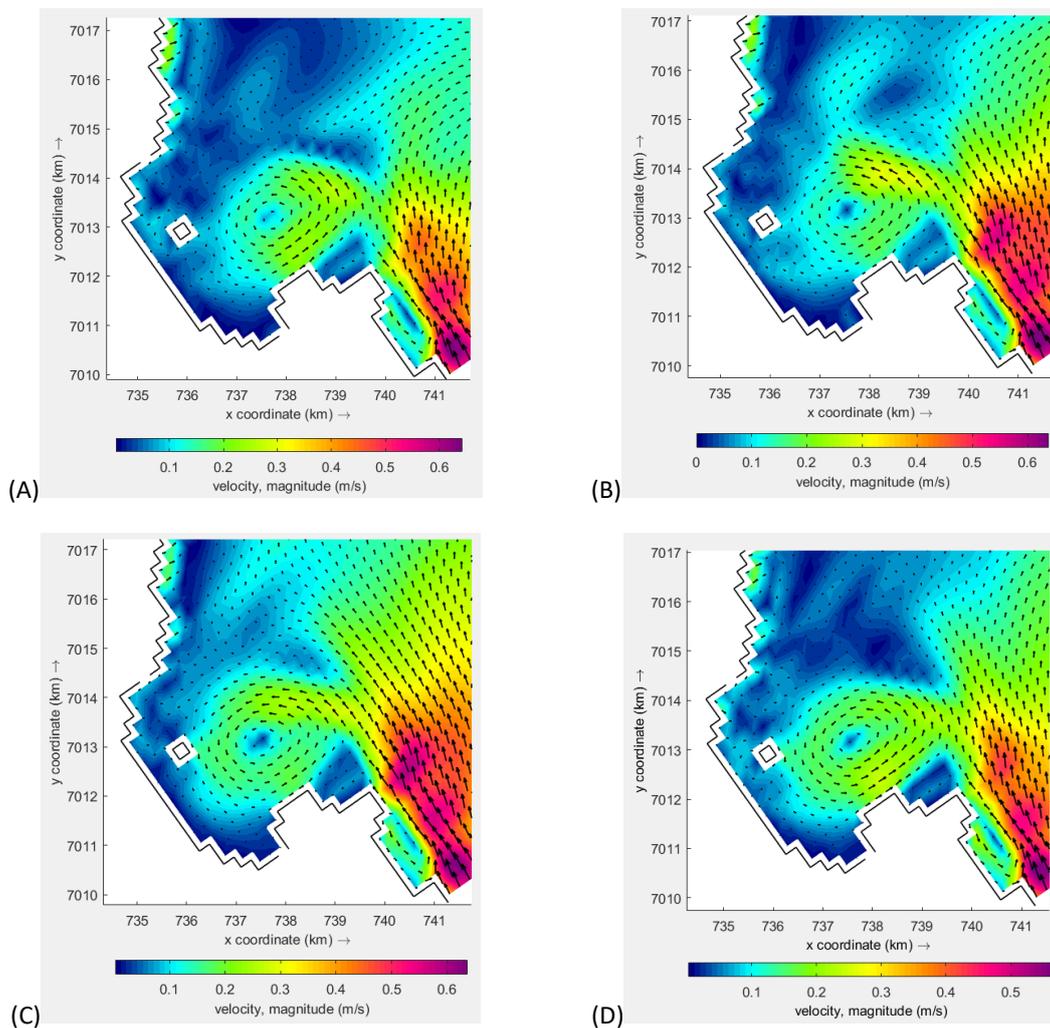


Figura 44 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Sul-Sudeste (SSE), período de sizígia nos instantes: (A) Meia maré vazante, (B) Estofa de maré vazante, (C) Meia maré enchente, (D) Estofa de maré enchente para a camada vertical próxima ao fundo.

Quadratura

Na quadratura, verificou-se o mesmo comportamento observado na sizígia, da ocorrência das células de circulação interna e externa à enseada, conforme se pode observar na Figura 45.

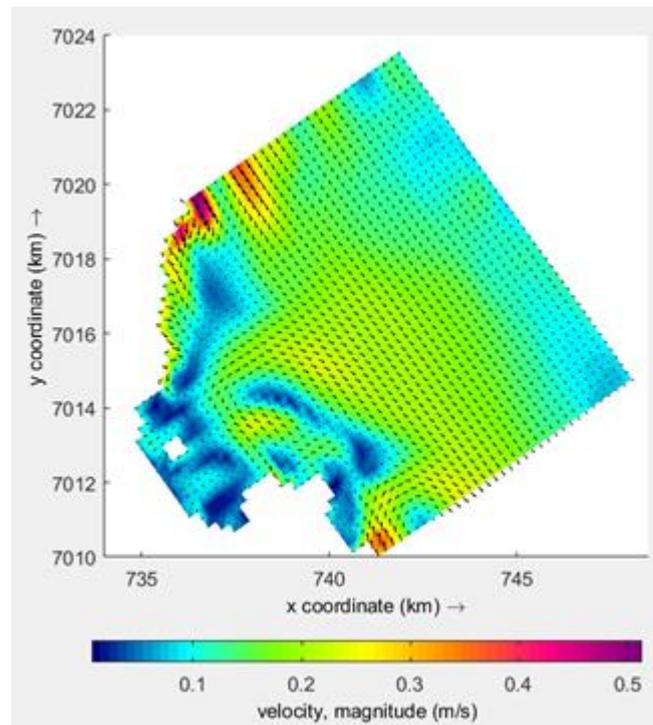


Figura 45 - Campo de velocidades na área modelada para o caso de onda Leste-Nordeste (ENE) no período de quadratura e no instante de meia maré vazante. As cores indicam a magnitude da velocidade e os vetores a direção da velocidade.

Conforme apresentado anteriormente, verifica-se que a circulação hidrodinâmica é fortemente influenciada pelas ondas e não pela maré. Desta forma, os padrões de circulação verificados durante a sizígia também ocorrem na quadratura.

Caso de ondas de Leste (E) (Figura 46)

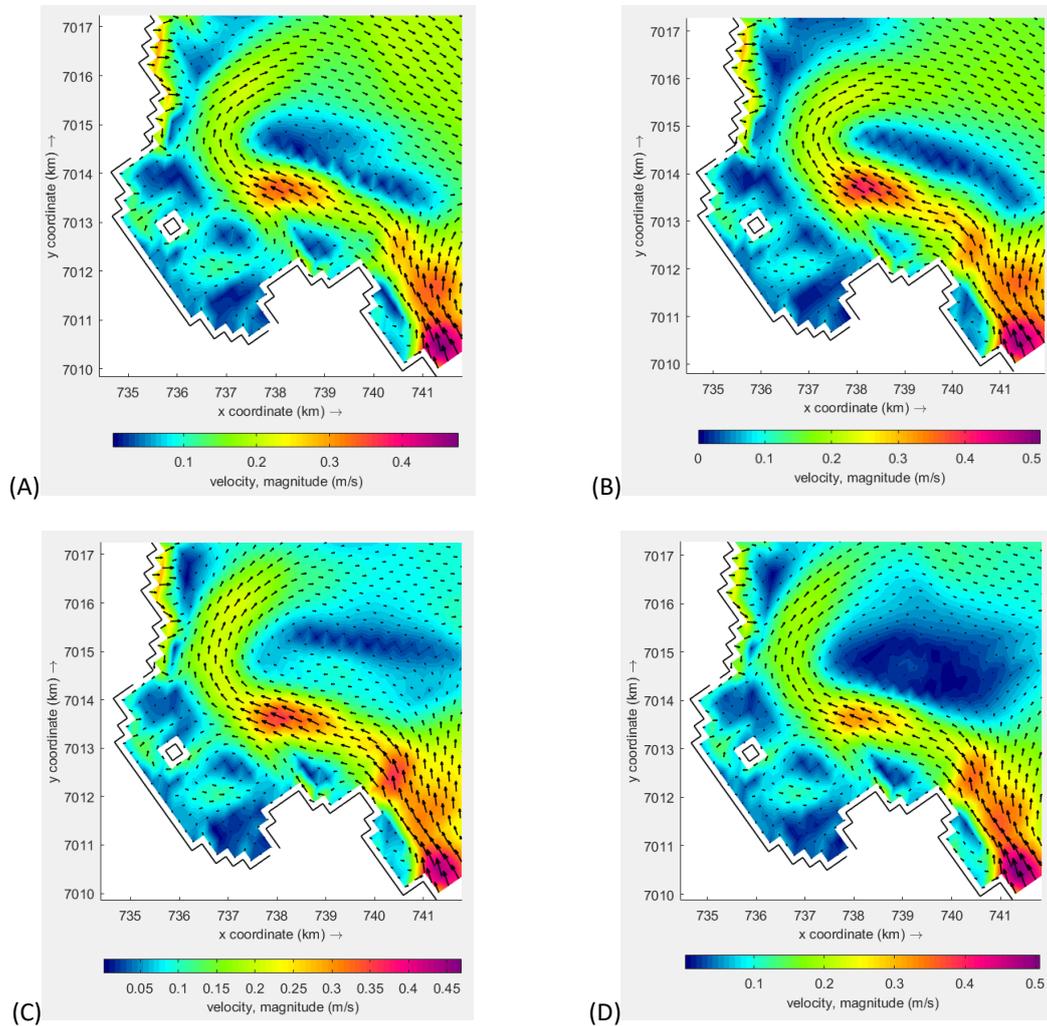


Figura 46 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Leste (E), período de quadratura nos instantes: (A) Meia maré vazante, (B) Estofa de maré vazante, (C) Meia maré en-chente, (D) Estofa de maré enchente para a camada vertical próxima ao fundo.

Caso de ondas de Leste-Nordeste (ENE) (Figura 47)

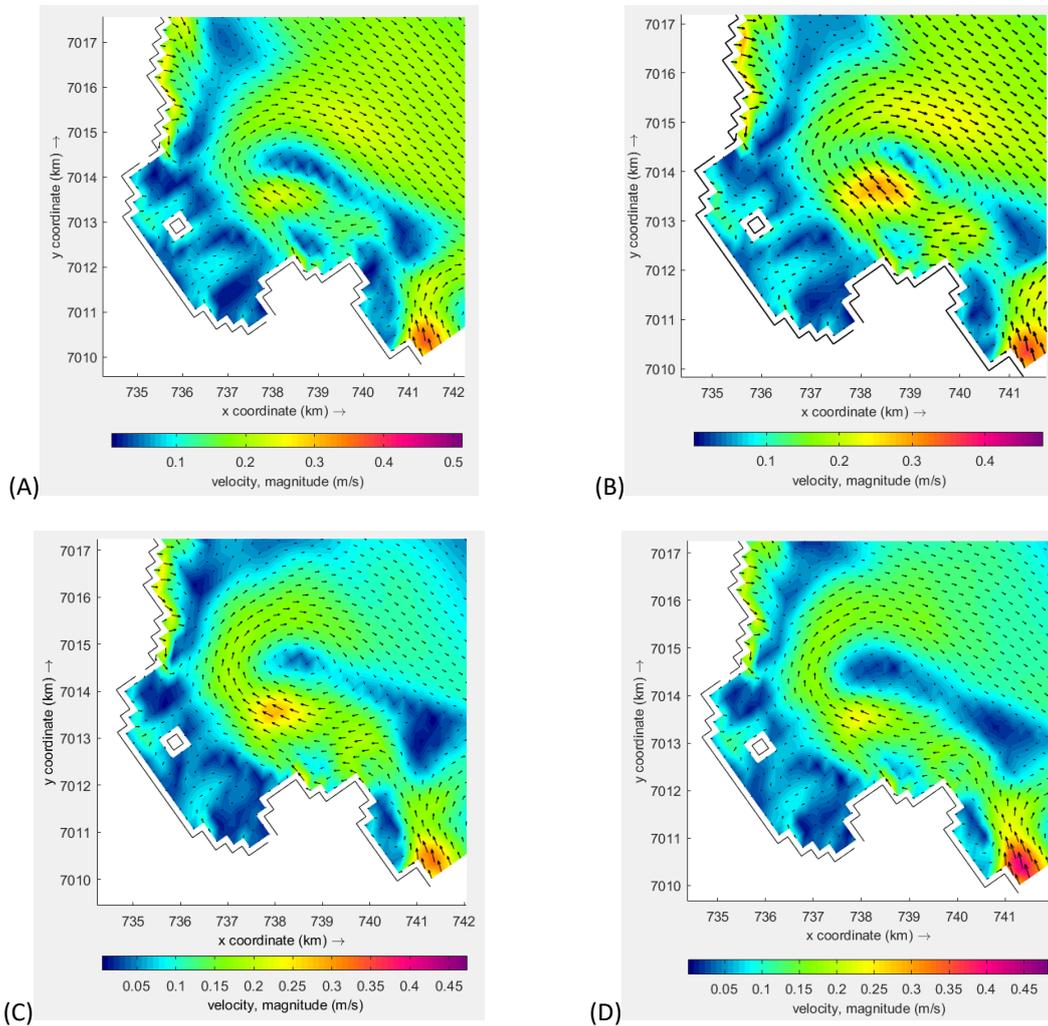


Figura 47 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Leste-Nordeste (ENE), período de quadratura nos instantes: (A) Meia maré vazante, (B) Estofa de maré vazante, (C) Meia maré enchente, (D) Estofa de maré enchente para a camada vertical próxima ao fundo.

Caso de ondas de Leste-Sudeste (ESE) (Figura 48)

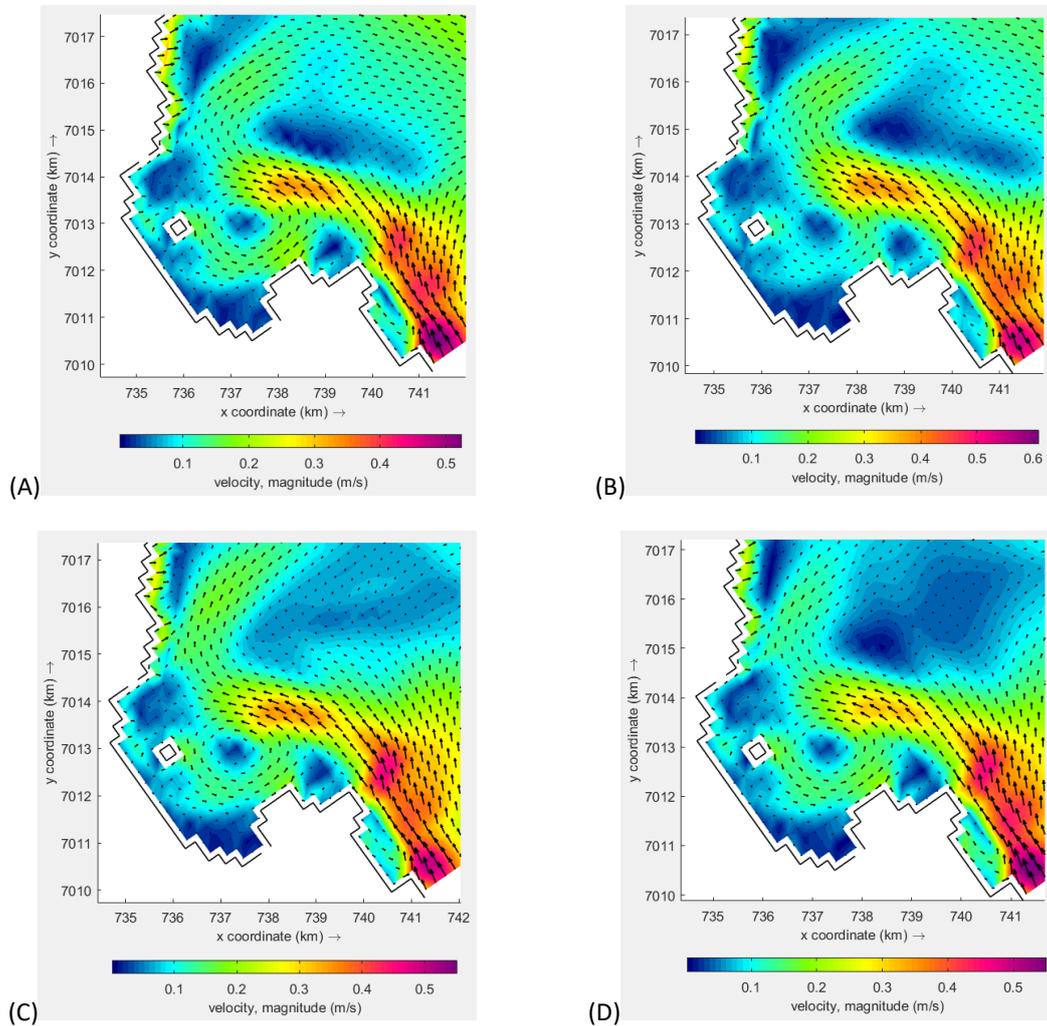


Figura 48 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Leste-Sudeste (ESE), período de quadratura nos instantes: (A) Meia maré vazante, (B) Estofa de maré vazante, (C) Meia maré enchente, (D) Estofa de maré enchente para a camada vertical próxima ao fundo.

Caso de ondas de Sul-Sudeste (SSE) (Figura 49)

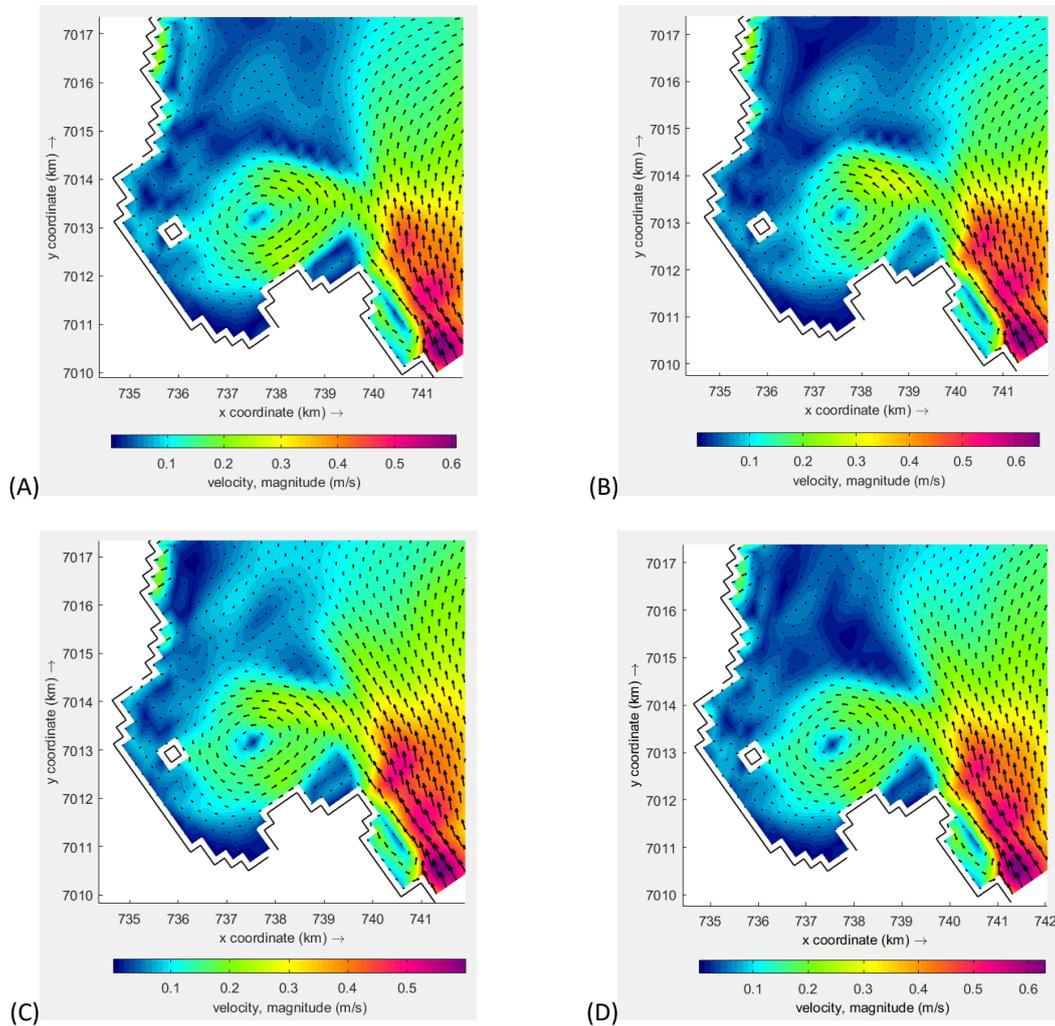


Figura 49 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Sul-Sudeste (SSE), período de quadratura nos instantes: (A) Meia maré vazante, (B) Estofa de maré vazante, (C) Meia maré enchente, (D) Estofa de maré enchente para a camada vertical próxima ao fundo

Interpretação

Baseado nos dados coletados durante 25 dias em um ponto foi encontrado um padrão de circulação por correntes, nível do mar e de ondas que reflete as condições específicas dos dias amostrados, ou seja, 15 de novembro e 10 de dezembro de 2012. Estes resultados não podem ser interpretados como um estado médio ou como a regra geral da hidrodinâmica nesta região.

Entretanto, estes resultados servem para demonstrar comportamentos que podem ocorrer no ponto estudado. Por exemplo, as inversões em baixas frequências da direção da corrente tanto em superfície quanto no fundo da coluna d'água foram observadas e está de acordo com o comportamento esperado na região sul do Brasil (Andrade et al., 2016; Costa e Moller, 2011). Nessa região, são encontrados padrões de circulação de correntes dependentes principalmente do vento. As ondas também podem agir como força motriz das correntes.

As oscilações do nível do mar observadas para o mesmo período também condizem com o esperado, no qual as oscilações causadas pela maré astronômica dominam em relação às oscilações de baixas frequências, que são geralmente causadas pela atuação do vento.

Os parâmetros de ondas também devem ser interpretados com cautela, pois foram registrados por um período relativamente curto. No entanto, a análise da série temporal expos um comportamento das ondulações incidentes na região que indica a predominância de ondulações de SE, com período médio de onda de 8s e altura média de 0,86 m. Valores que podem ser considerados típicos. Os valores máximos que provavelmente estão abaixo dos valores esperados.

A série temporal mais longa utilizada neste trabalho, compreendida entre 2015 e final de 2018 e foi fornecida pela Epagri/Ciram. Nesta série uma maior variabilidade do nível do mar foi observada, por exemplo, eventos que ultrapassaram 1 m do nível médio do mar foram observados.

Como os dados medidos fornecem informações a respeito do local onde foi realizada a medição somente no período da medição (se esta não for uma série temporal extensa), o modelo numérico calibrado ou validado foi utilizado para extrapolar espacial e temporalmente as informações medidas, permitindo gerar padrões de circulação gerados

pela variação das forçantes de longo termo (marés e ventos) associadas ao casos extremos de ondas.

A análise destes padrões de circulação permitiu evidenciar que a hidrodinâmica local é influenciada fortemente pelas ondas e não pelas marés, assim como evidenciar a presença de células de circulação hidrodinâmica diferenciadas dentro e fora da enseada da praia central de Balneário Camboriú, assim como células de circulação à direita e à esquerda da Ilha das Cabras. Esta circulação interna da enseada, de maneira geral em todas as simulações, a presença de locais de baixa hidrodinâmica, indicados na Figura 50.

Outro tipo de resultado gerado foi realizado através da análise de registros fotográficos do Instagram “@marambasurf”. Mesmo não tendo caráter técnico e científico, as imagens registradas de forma aleatória e apenas em momentos de ocorrência de eventos de Arribadas demonstram um padrão teórico de circulação por correntes. Em praias oceânicas a circulação pode ser dividida em duas de acordo com o agente causador da corrente. Ou seja, na região do fundeio do AWAC, a circulação é dominada principalmente por processos barotrópicos (vento e maré astronômica). Entretanto, na região mais próxima a costa, as correntes são causadas pela quebra das ondas. Portanto, essas correntes ao longo da praia que podem causar o acúmulo de material (Arribada) em uma parte da praia. Através das fotos, não foram encontradas evidências que a pluma do canal do Marambaia flui diretamente para a praia central. Essa observação indica que o material transportado do canal do Marambaia para o mar, pode ficar retido por um período de tempo em uma região mais profunda ao largo da praia Central, sofrendo um processo de acumulação.

Planejamento de saída de campo

Com os resultados das análises dos dados e dos resultados do modelo foram propostos pontos de coleta (Figura 51). Esses pontos, com exceção do ponto #4, foram selecionados, pois nestas regiões foi observada uma menor hidrodinâmica, ou seja, uma circulação por correntes menos intensa. Esses pontos podem teoricamente ser as regiões de acúmulo e crescimento dos organismos que compõe os eventos de Arribada em condições de suspensão, sem estarem presos ao substrato. Para o ponto #4, de maior hidrodinâmica, se

a fragmentação destes organismos a partir de um banco de crescimento aderido a um substrato duro, este seria o ponto a ser investigado.



Figura 50 - Pontos amostrais determinados com os resultados do modelo hidrodinâmico.

Identificação de hotspots em conjunto coma hidrodinâmica

Os problemas com as marés verdes (ou marés douradas dependendo a espécie de alga associada) registradas no mundo estão correlacionadas com a eutrofização das áreas costeiras por urbanização e atividades agrícolas (Schramm & Nienhuis, 1996; Smetacek & Zingone, 2013).

Igualmente existem diferentes hipóteses que tenta explicar as origens dos organismos responsáveis pelas altas biomassas que ocorrem nas arribadas e que são depositadas nas praias pela ação das marés. Em todas elas existe a fase de crescimento e acúmulo de material biológico para que depois este excedente seja jogado para a praia formado as marés verdes ou arribadas como aqui são conhecidas (Figura 51). Nesta ideia existe, (1) a necessidade de origem do material biológico (animal ou vegetal) e (2) do local de crescimento e/ou acumulação.

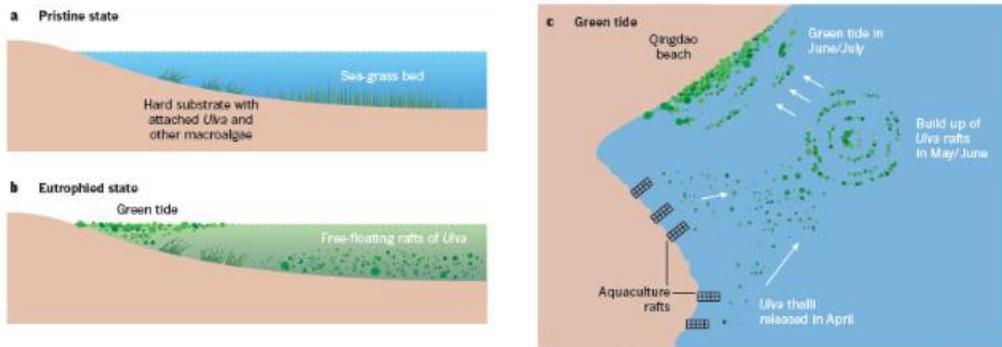


Figura 51 – Origem e acumulação de algas na costa da China segundo Smetacek & Zingone (2013), envolvendo origem e crescimento de algas no fundo de um ambiente eutrofizado (b) ou acúmulo e crescimento de algas originárias da aquicultura (c).

Para o caso das arribadas de Balneário Camboriú, também acreditava-se que existiriam a fonte de fornecimento de organismos das arribadas (1), locais de acúmulo e crescimento (2) para então esta biomassa seja jogada para as praias. Em base deste processo, as informações da hidrodinâmica da enseada (dentro e fora) assim como os registros fotográficos, amostragens e estudos fisiológicos, foi possível traçar alguma linha de raciocínio sobre os eventos na praia central.

Hotspots investigados por mergulho autônomo e coleta de amostras estão representados na figura 52.

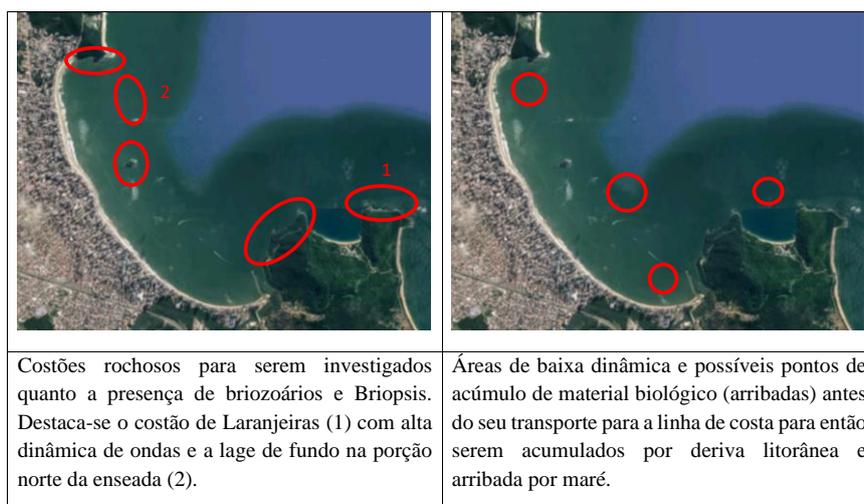


Figura 52 – Pontos amostrados na enseada de Balneário Camboriú em base da hidrodinâmica.

Imagens subaquáticas

Imagens subaquáticas da enseada e registro de organismos associados as arribadas (TOR)

Inicialmente pretendia-se obter imagens na porção sul da enseada onde acreditava-se ser o local das maiores ocorrências das arribadas segundo Ottonelli (2014). De qualquer forma, devido as limitações do uso do equipamento, associado a extensão da enseada as imagens obtidas permitiram identificar somente Partículas Escuras em Suspensão (PES) que se acredita serem um agrupamento de briozoários e microalgas que estavam em processo de transporte por deriva e acúmulo em local de arribada por maré (Figura 53). Para o período a arribada observada foi no cúspide norte da ilha das Cabras e no extremo sul da praia central.

Com os resultados limitados pela visibilidade, chegou-se à conclusão que os mergulhos autônomos seriam as estratégias mais viáveis para esse estudo.

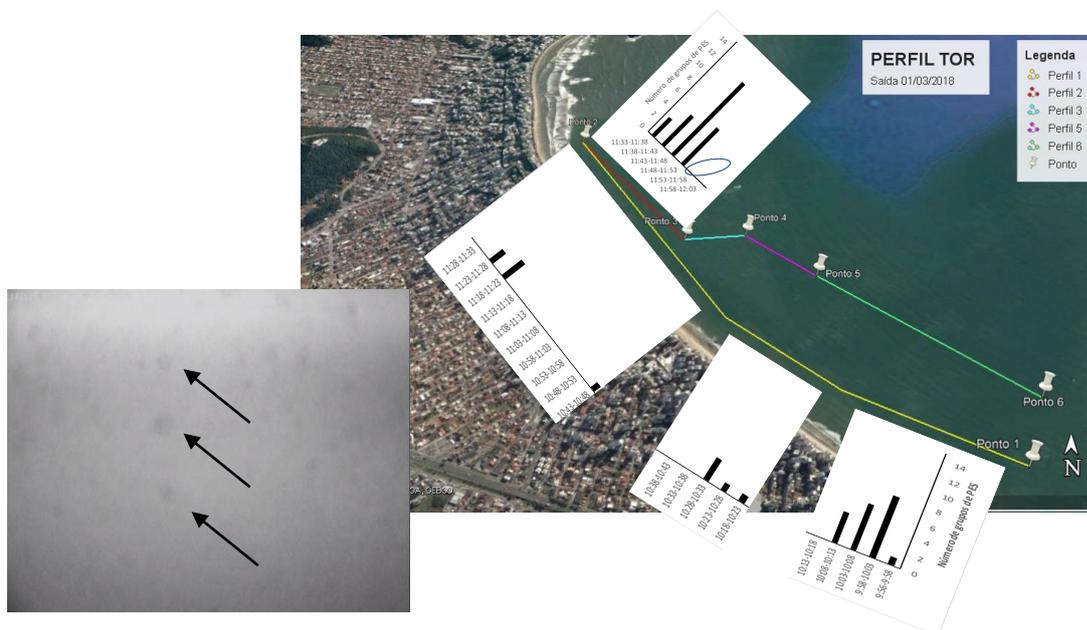


Figura 53 – Derrota do TOR e a frequência de número de grupos de PES (Partículas Escuras em Suspensão, detalhe na foto maior) ao longo da enseada de Balneário Camboriú para março de 2018.

Saídas de Mergulho nos hotspots

Foram realizadas várias saídas de campo, com o uso de mergulhadores para a observação de coleta de material biológico nos pontos destacados pelo estudo de hidrodinâmica. Em ordem cronológica os resultados das saídas são apresentados a seguir:

Saída em 14/06/2019 – Amostradores utilizados. Mangueira, GoPro Aro, CTD, GPS nos 5 pontos apresentados pela hidrodinâmica. O material biológico obtido constou de representantes das arribadas ou em baixa biomassa ou em condições inadequadas de fisiologia, ou seja, sem indícios de crescimento e encontrados somente nos pontos #1 e #3.

Ponto #1 – Presença de microalga e macroalga em estado fisiológico inadequado (Figura 54).



Figura 54 – Fragmentos de *Bryopsis* e cadeia de *Amphitetras*.

Ponto #3 – Presença de macroalgas em estado fisiológico inadequado e microalgas em bom estado fisiológico (Figura 55).

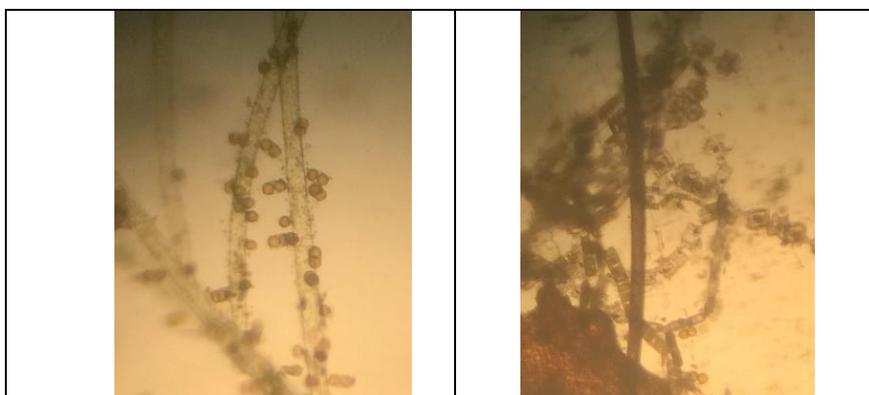


Figura 55 – *Melosira* aderida a macroalga e *Biddulphia* aderida a fragmentos.

Saída em 12/07/2019 – registro, por mergulho, de integrantes das arribadas mas em quantidade reduzida e sem indicação de acúmulo nos pontos indicados pela hidrodinâmica (Tabela 4).

Tabela 4. Resultados do mergulho nos *hotspots* da enseada de Balneário Camboriú em 12/07/2019.

Ponto	Condutímetro	Coluna de Turbidez	Seringa Fundo	Bentos
#1	19,3°C - 33,8ppt	5,4 m Sem registro	6,9 m Sem registro	-
#2	19,3°C - 33,9ppt	10,1 m Fragmentos de <i>Arbocuspis</i> e de <i>Amphitetras</i>	Sem registro	-
#3	20°C - 34,1ppt	2,6 m Fragmentos de <i>Amphitetras</i>	Sem registro	-
#4	19°C - 34,3ppt	-	Não realizado	9,3 m Briozoário <i>Catenicella uberrima</i> . Ocorrência do coral <i>Carijoa</i>
#5	19,4°C - 34,3ppt	Sem registro	Sem registro	-
#Costão norte	19,1°C - 33,9ppt	6 m Fragmento de macroalga	Sem registro	6,8 metros <i>Biddulphia</i> em pequenas quantidades. Briozoário distinto. <i>Sargassum</i> . Macroalga Vermelha.
#Lage	19,1°C - 33,9ppt	Sem registro	Sem registro	-

Saída do dia 04/09/2019 objetivando principalmente o costão norte por mergulho.

Costão norte oeste – Domínio de algas vermelhas e hidrozoários. Ocorrência de Holotúrias (pequenos pepinos do mar) e Polichaetas formadores de tubos calcáreos. Coleta realizada 3 m de profundidade.

Costão norte centro – Domínio de Sargaço e algas vermelhas. Presença de Briozoário do gênero *Catenicella* e algas marrom (não Briopsis). Coleta realizada a 1,5 m de profundidade.

Costão norte leste (área desprotegida) – sem ocorrência de organismos.

Costão da Ilha das Cabras no lado exposto. Presença de Sargaço, algas vermelhas, Briozoários da Superfamília *Buguloidea* e a microalga *Biddulphia* em densidade baixa. Coleta a 1,5 m de profundidade.

Saída do dia 10/10/2019 com embarcação dentro da enseada, objetivando principalmente o lado norte da enseada por mergulho e fora da área dos costões norte da enseada.

Lage norte da ilha com 5 m de profundidade. Presença de Briozoários da Superfamília *Buguloidea*.

Frente ao novo molhe. Observação da coluna de água e sem ocorrência de manchas.

Em frente ao cuspide norte, região da praia. Observação da coluna de água e sem ocorrência de manchas.

Costão da ilha das Cabras no lado da praia (protegido). Presença de Briozoário *Catenicella uberrima* e Sargaço.

Saída do dia 30/10/2019 objetivando principalmente os promontórios de Laranjeiras e o lado sul da enseada. Foram realizados 05 (cinco) mergulhos:

Ponto #4, fundo: presença de algas vermelhas, Sargaço e Hidrozoários

Ponto #5, fundo: tufo de briozoário *Catenicella* sobre a areia em maior número. Na coluna de água fragmentos de hidrozoários.

Ponto #2, sem organismos em fundo e água.

Ponto #4b, fundo: Polichaeta calcário, Sargaço, Fragmentos de hidrozoário, algas vermelhas. Na coluna de água presença de fragmentos de hidrozoários.

Ponto #3, fundo: tufo de *Bryopsis* e alga vermelha livre sobre o fundo. Coluna de água com alta densidade de copépoda.

Saída do dia 05/12/2019 na enseada com a utilização de turbidímetro e bomba e rede em 13 pontos da enseada (Figura 56). Não foram registradas a presença de organismos das arribadas nas amostras.



Figura 56 – Localização dos pontos de coleta de bomba e rede na enseada de Balneário Camboriú.

De forma geral, a água da enseada é típica de água costeira com salinidade entre 28,93 a 32,38 e temperatura entre 23 e 24 oC. A turbidez aumenta da superfície ao fundo provavelmente devido a ressuspensão do sedimento, sendo mais evidente na porção norte da enseada.

O material obtido, tanto na bomba como na rede, foi constituído basicamente por organismos zooplancônicos, apesar dos amostradores trabalharem próximos ao fundo. Destaca-se por outro lado, que as densidades dos organismos nas amostras foram elevadas, indicando alta atividade biológica no local.

Com exceção do ponto #9 com a ocorrência de um fragmento de *Biddulphia* e do ponto #14 com um fragmento de *Bryopsis*, pode-se dizer que os locais destacados como zonas de concentração de organismos no estudo da hidrodinâmica não apresentaram evidências de acúmulo de organismos responsáveis pelas arribadas.

Este fato sugere, e em associação com as investigações nos costões das barra sul e norte e ilha, assim como o parcel norte, que o acúmulo das arribadas deve mesmo ocorrer próximos a praia, especificamente atrás da linha de quebra das ondas, em profundidades chamadas de profundidades de fechamento inferior e superior. São locais de difícil acesso devido a sinalização para embarcações na praia, além do fato de serem áreas de risco por ondulação.

Saída do dia 16/12/2019 com a realização de testemunho do sedimento amostragem da coluna de água na praia central na altura da rua Alvin Bauer

Testemunho 1 – microalgas, briozoários e macroalgas a 11 cm no sedimento. Organismos apresentaram morfologia de viabilidade e sobrevivência.

Testemunho 2 - microalgas, briozoários e macroalgas de 6 a 7 cm no sedimento. Organismos apresentaram morfologia de viabilidade e sobrevivência.

Para o local a coluna de água apresentou processo de arribamento com a presença de *Bryopsis* e microalgas.

O fato da presença de microalgas no fundo do sedimento confirma o comportamento de diatomáceas de zona de arrebenção com comportamento episâmicas (diatomáceas aderidos a grãos de areia), assim como sugere mais uma fonte de entrada de nutrientes no sistema, por percolação no lençol freático que chega a praia.

Saída do dia 22/01/2020 para uso do amostrador epibêntico o mais próximo de linha de quebra na praia central (ou profundidade de fechamento).

Com a limitação do local de arrasto imposta pelas boias de sinalização da praia, as amostras acusaram baixa representatividade dos organismos comuns as arribadas com

raras ocorrências de micro e macroalgas. Foi também amostrado o local de ancoragem dos transatlânticos sem ocorrência de organismos das arribadas.

Saída no dia 30/01/2020 para testemunho na praia central (sul – Rua 2600) com a presença de *Biddulphia* degradada.

Saída de 14/02/2020 para testemunhos de sedimento na praia central em condições de maré baixa. Para essa amostragem não foi encontrado organismos das arribadas em nenhum ponto amostrado

Obtidas amostras de água do lençol freático – indicando concentrações elevadas de nitrogênio amoniacal na região central e região sul da praia. Esse fato alerta para uma possível entrada de nutrientes no sistema (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados nas análises da água da praia, do testemunho e água do lençol freático da praia central de Balneário Camboriú.

Local	Salinidade	Temperatura (°C)	N-NH4 (mg/L) lençol freático	Organismos de arribadas
Rua Osmar Nunes	31,8	26,9	0,06	Sem organismos
Rua Alvin Bauer e rua 1001	31,1	27,1	0,70	Sem organismos
Rua 2000	31,7	26,9	0,72	Sem organismos

Saída do dia 19/02/2020 para amostragem na região da antepraia com a realização de testemunhos de sedimento e scooter com rede.

Para essa saída ocorrências e densidades de organismos foram coerentes com os processos de arribadas na praia central.

Ponto #1 – Barra norte (Rua Osmar Nunes) – Ponto da praia sem ocorrência de arribadas no momento da coleta. Profundidade de coleta de 3 m. Material coletado em quantidade aparente.

Testemunho superficial: Biddulphia >Briozoário>Hidrozoa>Bryopsis

Scooter: Bryopsis>Briozoário>Hydrozoa>Biddulphia>Amphitetras

Ponto #2 – Rua Alvin Bauer – com a ocorrência de mancha e arribada na praia e forte corrente de retorno. Profundidade de amostragem de 3 m. Tanto o testemunho com a rede obtiveram representatividade de material.

Testemunho superficial: Biddulphia>Briozoário>Bryopsis>Hidrozoa>Amphitetras

Scooter (muito material): Biddulphia>Briozoário>Bryopsis>Hidrozoa>Amphitetras

Ponto #3 – Rua 3850 (sul) – sem ocorrência de arribada nesse ponto na praia. Profundidade de amostragem de 2 m. Pequena quantidade de material nos amostradores.

Testemunho superficial: Biddulphia>Briozoário>Bryopsis>Hidrozoa>Amphitetras

Scooter (pouco material): Biddulphia>Briozoário>Bryopsis>Hidrozoa>Amphitetras

Ponto #4 – Rua 4700 – sem ocorrência de arribada nesse ponto na praia. Profundidade de amostragem de 2 m. Ausência ou pequena quantidade de material coletado.

Testemunho superficial: Sem material na superfície do sedimento

Scooter (pouco material): Biddulphia>Briozoário>Bryopsis>Hidrozoa>Amphitetras

Esses resultados confirmam, tanto por exclusão (ausência de arribadas em outras áreas da enseada) como por presença positiva, ocorrência de arribadas em pontos da antepraia onde não esteve ocorrendo arribadas na região de surf e de espraçamento.

Outras prováveis fontes dos organismos das arribadas

Análise da denúncia da ação da draga do rio Itajaí próxima a enseada de Balneário Camboriú

Em 08 de fevereiro de 2019 ocorreu uma denúncia sobre a disposição do material dragado do rio Itajaí-açu estaria sendo depositado próximo a enseada de Balneário Camboriú. Na mesma ocasião foi solicitado o posicionamento da draga pelo sistema de rastreamento de embarcações que é realizado pela Superintendência do Porto de Itajaí sobre a operação da draga. No sistema foi indicado que a draga operava sobre o bota-fora sul licenciado pelo IMA. Para o material grosseiro (sólido) obtido pela draga, este é removido do sedimento e destinado em terra para o aterro sanitário.

A associação do material dragado com as arribadas é falha por vários motivos. Primeiro os organismos ocorrentes nas arribadas (microalgas, macroalgas, briozoários e outros) não fazem parte da constituição do material disponibilizado pela draga e no bota-fora sul. Segundo, mesmo sem operação da draga as arribadas na praia central continuam acontecendo. Por fim, como o bota-fora sul está localizado em frente à praia Brava, era de se esperar que as arribadas deveriam ocorrer também nesse local, fato que não acontece.

Análise da denúncia da ação dos transatlânticos na ressuspensão do sedimento de fundo a efeito sobre as arribadas na praia central

Por várias oportunidades foram questionadas a influência dos transatlânticos no processo de arribamento de organismos na praia central de Balneários Camboriú. E por duas oportunidades foram avaliadas a ação dos transatlânticos quanto atracados na porção externa da enseada. O processo de atracagem é o mesmo para os dois casos, ou seja, os navios ficam ancorados e os motores laterais atuam para manter a sua posição em relação as correntes de maré. Foi realizada amostragem da água nas proximidades da popa do navio sob ação dos motores e comparado com o material da arribada na praia central.

Os resultados das análises das visitas foram:

03/01/2020 – Amostragem no entorno do navio Costa Fascinosa e de arribada na praia central

Navio – Material em suspensão de cor arenosa clara: Peletts naturais, gêneros de fitoplâncton *Asterionellopsis* e *Skeletonema* – Salinidade da água de 36.

09/02/2020 – Amostragem no entorno do navio MSC e de arribada na praia central

Água de entorno do navio: salinidade de 34,5 e temperatura 26,2 °C (profundidade de 12 m, localização 26 58 867 S; 48 36 452 W)

Material particulado de cor arenosa clara. Presença de fitoplâncton em cadeia do gênero *Skeletonema*.

Resultado:

Em base do material coletado observou-se que os motores laterais dos transatlânticos que fundeiam na parte externa da enseada apresentam a capacidade de ressuspender o material de fundo. Para os dois casos amostrados, o material ressuspensionado foi constituído por areia superficial do sedimento, já que as condições de mar para esses casos não apresentavam a necessidade de motores operando constantemente.

O exame do material com microscópio acusou a presença de organismos típicos da costa brasileira e também de ocorrência comum sobre o sedimento de fundo para águas costeiras. Da mesma forma, esse material obtido a mais de 10 m de profundidade não apresenta qualquer tipo de relação com os organismos que ocorreram nas arribadas da praia central. Somado a isso, foi realizado arrasto com amostrador epibêntico (amostragem com rede próximo ao fundo), no mesmo ponto onde os transatlânticos atracam e sem a presença dos transatlânticos (22/01/2020 – Amostrador epibêntico – salinidade da água de 34 e temperatura de 26,5 °C – 13 m de profundidade – presença de larvas de Decapoda e Chaetognatha. Sem a presença de organismos das arribadas na praia central).

Desta forma, o estudo é conclusivo de que a presença dos transatlânticos não apresenta relação com as arribadas, mas tem efeito sobre a ressuspensão do fundo.

Análise do rio Marambaia, sua pluma e sua associação com as arribadas na praia central

O rio Marambaia sempre foi foco de interesse nos estudos sobre as arribadas, principalmente como fonte de nutrientes na entrada da enseada assim como devido a uma

pluma negra que sempre ocorria após períodos de chuvas. O aumento do interesse no fim de 2018, ou seja, antes de iniciar este projeto, ocorreu porque foram registrados tufo de algas dentro do rio e que aparentemente se desprendiam do fundo e se deslocaram para fora da barra e se desintegrando para a enseada.

Como os eventos que ocorreram no fim de 2019 e início de 2019, associado as massivas arribadas de *Bryopsis* na praia central, o rio Marambaia apresentou-se como uma possível fonte dos organismos necessitando ser investigado e amostrado.

Coletas realizadas no rio Marambaia:

03/05/2019 – Observação da salinidade de 22 no início das galerias. Observado tufo de algas (*Bryopsis*). Tabela 5.

05/06/2019 – Amostragem do sedimento arenoso e sem a ocorrência de algas.

25/06/2019 – Ponto de confluência entre o rio Marambaia e ribeirão Nim. Sem a ocorrência de algas.

Análise:

O rio Marambaia, na sua parte exposta, já que esse rio encontra-se quase que totalmente coberto pelo pavimento da cidade de Balneário Camboriú, não apresenta extensão, largura e nem profundidade para comportar a massa de macroalgas que arribaram na praia central, fato constatado em março de 2019. Por várias vezes não foram detectadas algas no seu interior e os tufo observados, primeiro, não apresentaram viabilidade de crescimento por testes em laboratório e sua observação no interior rio pode ter sido influenciada pela ação da maré (Figura 57 e 58).

De qualquer forma, os eventos observados no final de 2018 e início de 2019 não foram mais registrados, ao ponto que após a instalação do emissário da barra norte (em dezembro de 2020), a qualidade desse rio melhorou de forma significativa segundo observadores locais.

Tabela 6. Dados físico-químicos no rio Marambaia em 03/05/2019.

#	Estrato	Data	Temp °C	Sal	Prof. (m)	pH	ORP (mV)	OD (%)	OD (mg/L)	Turb (NTU)
1	S	05/03/19	24,11	14,49	0,073	7,43	306	7,8	0,6	7,7
1	F	05/03/19	24,04	24,06	0,611	7,49	313	4,7	0,35	8,1
2	S	05/03/19	24,62	13,79	0,071	7,74	315	8,2	0,63	7,6
2	F	05/03/19	24,28	29,01	0,677	7,75	337	5	0,36	4,6
3	S	05/03/19	24,95	14,58	0,051	7,84	321	8,4	0,64	7,5
3	F	05/03/19	24,35	28,19	0,803	7,8	347	5,2	0,37	4,8



Figura 57 - Imagens do canal do Marambaia com tufos flutuantes realizadas no fim de 2018 e início de 2019. A observação foi de que estes sofrem desintegração podendo formar as manchas apresentadas anteriormente. Estes tufos aparecem repentinamente do fundo do rio, possivelmente com o seu desprendimento. Amostragens realizadas com busca fundo não confirmaram este material no fundo do rio.

Para a interpretação do material originário do rio Marambaia, destaca-se:

1. Sua composição é similar as arribadas na praia central;
2. Seu estado morfológico assim como a sua biomassa não é compatível com o material das arribadas;
3. Ensaio realizados em laboratório atestaram a sua inviabilidade;
4. O desaparecimento dos tufos no rio acompanhou a diminuição das arribadas dominadas por *Bryopsis* na praia central.

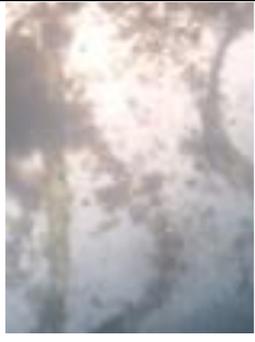
		
<p>Coleta do tufo em 03/05/2019 - Microfotografia dos tufos constituídos por todos os componentes da arribada (macroalgas, microalgas e briozoários) mas em condições morfológicas degradadas.</p>	<p>Coleta de MPS em 14/06/2019 - Material particulado em suspensão em frente a desembocadura do rio Marambaia e em profundidade mas com estado morfológico degradadas. Mas de composição similar as arribadas.</p>	

Figura 58 - Imagens dos tufos e do material particulado em suspensão no ponto da enseada e em frente a desembocadura do rio Marambaia.

05/06/2019 – Amostragem no rio Marambaia em maré enchente – sem ocorrência de algas – sedimento arenoso

Análise integrada dos resultados

Uma vez identificada a área na parte submersa da praia onde ocorre a aglomeração dos organismos que compõe as Arribadas (entre a linha de quebra e profundidade de fechamento), foi possível criar um entendimento baseado em conceitos da morfodinâmica de praias arenosas (Hoefel, 1998). A praia Central de Balneário Camboriú é claramente uma praia arenosa (Menezes, 2008).

Esses conceitos preconizam que em determinadas condições de agitação marítima (altura e período de onda), os sedimentos de fundo (areia) se movem do mar em direção a parte emersa da praia em um movimento natural e eventual (Hoefel, 1998).

Assim, considerando que os organismos foram encontrados na região submersa onde esses processos das ondas transportam os sedimentos em direção à praia, ou seja, em uma região localizada antes da quebra da onda, entende-se que os organismos são transportados junto com a areia em direção à praia, formando as Arribadas. Também foi levado em conta neste entendimento, que as amostras de organismos coletadas em campo apresentaram uma quantidade significativa de sedimentos.

Ressalta-se, que estes eventos ocorrem em condições específicas de período e altura das ondas. Infelizmente, como não houve medições diretas em campo durante a vigência deste projeto, os valores exatos não puderam ser determinados.

Por fim, como foram calculadas correlações positivas entre a ocorrência de Arribadas e a temperatura da água e a radiação solar, que são condicionantes do crescimento destes organismos biológicos pode-se concluir porque as Arribadas não seguem a mesma periodicidade das condições marítimas. Uma vez que, o crescimento e o acúmulo dos organismos precisam de condições ambientais para crescimento e após aglomerados precisam de condições específicas de ondas para ser transportadas e acumuladas na parte emersa da praia central de Balneário Camboriú.

A formação de manchas de diatomáceas de zona de arrebenção é um processo conhecido e bem estudado, no mundo e no Brasil (Preez & Campbeel, 1996). O que difere em Balneário Camboriú são as espécies envolvidas e que não existe similaridade com nenhuma outra praia e de citação na literatura.

O consenso para esse processo é que as algas envolvidas na zona de arrebentação apresentam forte comportamento de migração vertical, se desenvolvendo atrás da zona de arrebentação (antepraia) (Figura 59) e depois, com o aumento da altura de onda, são jogadas para a zona de surf onde acumulam por deriva litorânea e nas correntes de retorno (rip current).

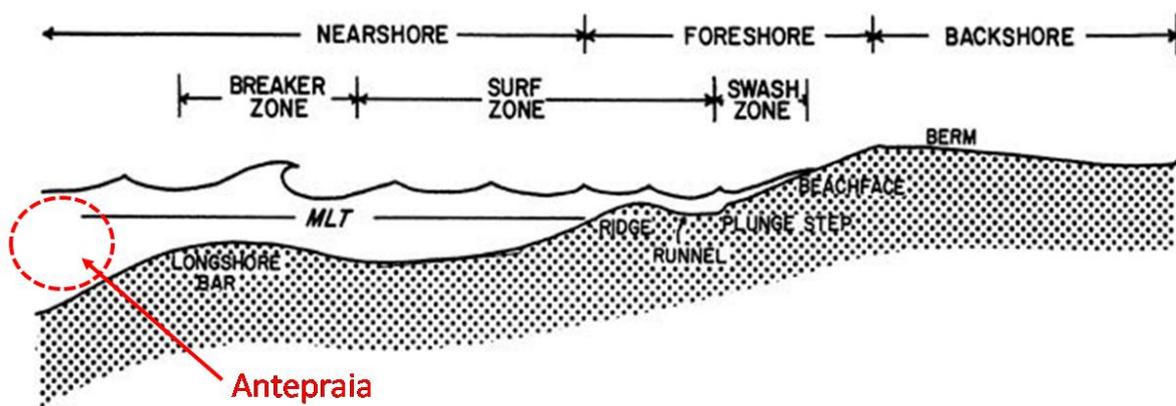


Figura 59 - Local de crescimento e acúmulo de arribadas na região da antepraia.

Esse processo explica o porquê não foram encontradas em outras regiões da enseada (costões e áreas de baixa dinâmica), assim como foram encontradas inclusive na antepraia em pontos onde não foram observados as arribadas na praia.

A figura 32 sugere a existência de uma zona de coloração diferenciada atrás a linha de quebra (zona esbranquiçada) o que pode ser a área de profundidade de fechamento e onde a massa das arribadas estão localizadas antes de serem jogadas para a praia.

Além disto, como é um processo natural e normalmente observado em praias dissipativas ou intermediárias com no mínimo 4 Km de extensão (Odebrecht et al., 2014) (a praia de Balneário Camboriú apresenta mais de 6 Km de extensão) acredita-se que as manchas de microalgas é um fenômeno presente e de longa data na praia central. Esse fato é fortemente indicado pelas fotos da praia desde a década de 30 (Figura 60).

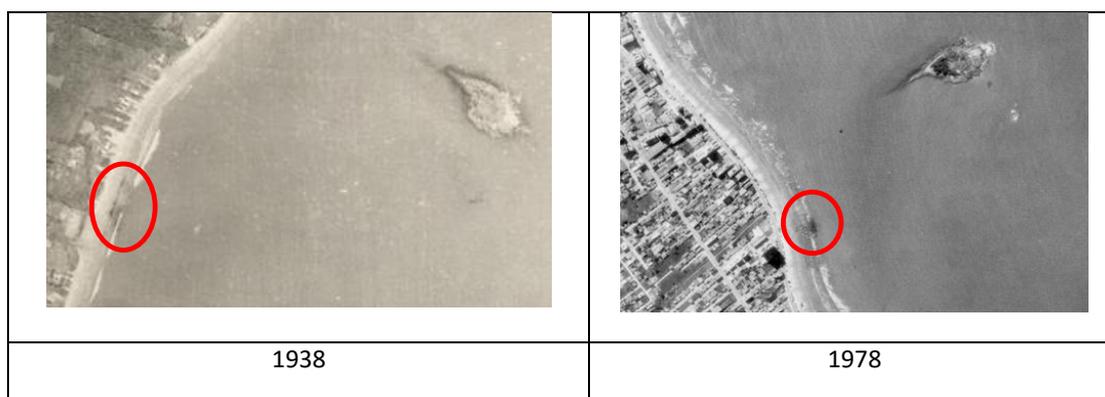


Figura 60 - Ocorrência de arribadas em 1938 e 1978, sempre no lado sul da ilha.

O que difere das arribadas atualmente são a sua frequência e biomassa, que reflete a entrada de nutrientes no sistema. Além disto, os pontos de acumulação podem ter sido alterados devido as inúmeras obras costeiras que o ambiente vem sofrendo desde então. Por outro lado, a sua composição dificilmente poderá ser confirmada devido a inexistência de amostras preservadas e identificação da época. Destaca-se que o primeiro registro de ocorrência e composição da arribada foi apresentado por Pezzuto et al. (2007) em base de amostras obtidas no mesmo ano.

De qualquer forma, os modelos de dispersão das plumas dos rios Marambaia e Camboriú indicam a permanência das águas dentro da enseada, refletindo na maior disponibilidade de nutrientes para o sistema e com sustentação das biomassas dos organismos responsáveis pelas arribadas (Figura 61).

Destaca-se a maior influência do rio Camboriú no sistema, sendo pouca ou nenhuma do rio Marambaia. Esses modelos indicam que a preocupação maior deve ser direcionada a qualidade do rio Camboriú no controle das arribadas além do fato dos indícios de que a água do lençol freático pode apresentar alto conteúdo em nitrogênio amoniacal.

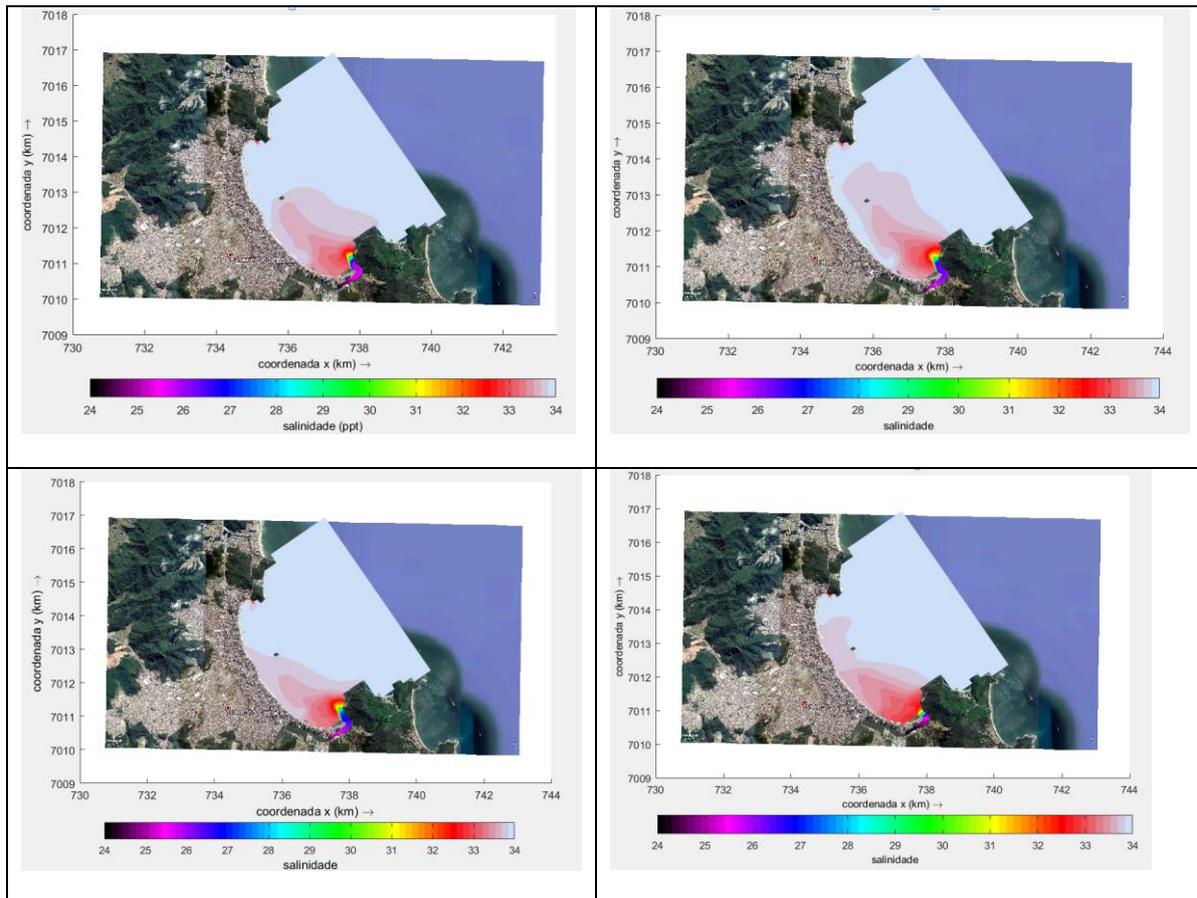


Figura 61 - Pluma do rio Camboriú e rio Marambaia, representados pela salinidade, em um instante de (da esquerda para a direita e de cima para baixo): enchente de quadratura, vazante de quadratura, vazante de sizígia e enchente de sizígia.

A problemática do rio Camboriú e o aporte de nutrientes na enseada

O município de Balneário Camboriú é conhecido nacionalmente como um balneário de elevado potencial turístico. Em função disso o município vem sofrendo grande crescimento populacional, principalmente na região central, junto à Enseada de Camboriú. É nessa região que concentra a grande maioria dos hotéis do município, na orla da enseada de Camboriú. Além da grande rede hoteleira, o município mostra grande verticalização e aumento populacional.

A Enseada de Camboriú recebe o aporte do Rio Camboriú em sua extremidade sul e Rio Marambaia, na extremidade norte. O Rio Camboriú recebe o efluente da estação de tratamento de esgotos do município. Recebe também o aporte de vários rios menores que

drenam o município vizinho (Camboriú), o qual não tem rede de coleta e tratamento de esgoto doméstico. Em função do aporte da estação e dos rios que drenam Camboriú, o Rio Camboriú apresenta concentrações elevadas de nutrientes (Kuroshima et al. 2000, Costódio, 2003, Costódio et al. 2006). O Rio Marambaia drena a região urbanizada do norte do município, e junto com o Rio Camboriú, representam as principais vias de entrada de água doce para a enseada.

Em um monitoramento realizado na enseada de Camboriú entre 1997 e 2000, Kuroshima et al. (2000) encontraram concentrações de N-amoniaco variando entre $< 0,1$ e $2,1$ mg/L ao longo da praia de Camboriú. Nesse estudo os maiores valores foram observados em períodos de chuva, nas extremidades da enseada, em função da influência do aporte dos rios Marambaia e principalmente do Rio Camboriú, na porção sul.

Pereira Filho et al. (2001 e 2002) mostraram que as concentrações de nutrientes no rio Camboriú apresentam alta variação das concentrações em função do ciclo de maré. Essa variação é resultado da entrada da água da enseada no estuário, nos momentos de elevação da maré, quando as concentrações atingem os menores valores ao longo do ciclo. Por outro lado, na maré baixa, a maior influência do Rio Camboriú resultou na elevação das concentrações de todos os nutrientes (Tabela 7). Essa tendência mostra o potencial do Estuário do Rio Camboriú na deterioração da qualidade da água, na extremidade sul da enseada.

Em um monitoramento realizado na zona de arrebentação de praias da região centro-norte de SC (Tabela 8), incluindo a Praia de Camboriú, Kuroshima et al. (2004) encontraram concentrações menores do que as observadas no estuário, o que é esperado, em função da maior influência de água marinha. Mas ficou nítido o aumento das concentrações de N-amoniaco nos meses de verão, mostrando os resultados do aumento de aportes nos períodos de temporada.

Tabela 7. Variação de salinidade, clorofila-a e de nutrientes no Estuário do Rio Camboriú, ao longo de ciclos de maré no Estuário do Rio Camboriú (Pereira Filho, 2001, 2002)

Variável	Maré de Quadratura	
	Mínimo – Máximo	Mínimo – Máximo
Salinidade	8,4 – 35	7,4 – 34,6
N-NH ₄ ⁺	0,03 – 2,36 (mg/L N)	0,07 – 1,46
N-NO ₂ ⁻	0,003 – 0,05 (mg/L N)	0,003 – 0,02
N-NO ₃ ⁻	0,01 – 0,10 (mg/L N)	< 0,01 – 0,15
N-NID	0,06 – 2,58 (mg/L N)	0,10 – 1,56
P-PO ₄ ³⁻	0,004 – 0,10 (mg/L P)	0,014 – 0,045
Si-H ₄ SiO ₄	0,28 – 5,88 (mg/L Si)	0,36 – 4,18
Clorofila-a	1,9 – 22,8 (µg/L)	1,7 – 24,8

Tabela 8. Variação da salinidade e concentração de nutrientes em praias da região centro-norte de SC nos períodos de verão e inverno.

Variável	Verão de	Inverno de
	2001 e 2002	2001 e 2002
Salinidade	30,5 – 30,9	29,3 – 30,3
NH ₄ ⁺ (mg/L N)	0,21 – 0,23	0,10 – 0,15
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,02 – 0,04	0,02 – 0,04
PO ₄ ³⁻ (mg/L P)	0,021 – 0,025	0,018 – 0,029
Clorofila-a (µg/L)	6,0 – 8,4	4,9 – 6,0

Em síntese, as praias da região centro-norte de SC mostram aumento da concentração de nutrientes como resultado da deterioração da qualidade de água, principalmente em regiões que sofrem influência da entrada de rios na região costeira. Essa deterioração é mais acentuada durante e/ou logo após períodos de chuva e principalmente nos períodos de verão, durante a temporada, como resultado do aumento da população flutuante relacionada ao turismo.

Recomendações

- A continuidade dos estudos é de fundamental importância para as tentativas de resolver o processo de arribadas na praia central de Balneário Camboriú. Mesmo porque ainda existem várias lacunas no conhecimento e sempre existe a necessidade de atualizações do conhecimento do ambiente.
- É muito importante que seja implantado um programa de monitoramento de variáveis de qualidade de água na região estuarina e na enseada de Camboriú, que inclua a determinação de nutrientes em longo prazo. Considerando que as arribadas ao longo do mundo são relacionadas ao aumento da disponibilidade de nutrientes para os produtores primários (eutrofização), seu acompanhamento em longo prazo, pode auxiliar a compreensão de processos como os que estão ocorrendo na enseada. Também a avaliação da influência do lençol freático sobre a disponibilização de nutrientes deve ser considerada, principalmente frente ao processo mencionado, referente à formação da arribada na enseada de Camboriú
- Um segundo ponto de recomendação é a atualização de um depósito de dados do conhecimento gerado para a enseada. A disponibilidade dos dados de forma rápida e confiável é a mola mestra para os estudos de impacto ambiental.

Referências

- Abreu, JGN, Pezzuto, PR, Resgalla Jr., C, Menezes, JT, Vintém, G. 2003. Impacto ambiental e modificações texturais dos sedimentos provocadas pela alimentação artificial da praia de Balneário Camboriú (SC). In: Congresso Brasileiro da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, ABEQUA, 9. Recife, PE, 199 p.
- ACQUAPLAN – Tecnologia E Consultoria Ambiental LTDA, 2014. Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da Alimentação Artificial da Praia Central de Balneário Camboriú. Balneário Camboriú, SC.
- Al-Kandari, M, Al-Yamani, FY, Al-Rifaie, K. 2009. Marine Phytoplankton Atlas of Kuwait`s Waters. P. 59-60. Kuwait Institute for Scientific Research. Kuwait.
- Andrade, MM, Toldo Jr., EE, Nunes, JCR. 2016. Variabilidade das correntes na plataforma interna ao largo de Tramandaí, RS durante o verão de 2014. *Pesquisas em Geociências*, 43 (3): 289-298. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78231>.
- Boyer, CS. 1900. The biddulphoid forms of North American Diatomaceae. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. P. 685-748.
- Costa, MMS. 2009. Diatomáceas epífitas em *Galaxaura rugosa* (J. Ellis & Solander) J.V. Lamouroux (Rhodophyta) no Arquipélago de Fernando de Noronha, PE, Nordeste do Brasil. *Acta Bot. Brasil*. Volume: 23, n° 3, p. 713-719.
- Costa, R, Möller Jr., OO. 2011. Estudo da estrutura e da variabilidade das correntes na área da plata-forma interna ao largo de Rio Grande (RS, Brasil), no sudoeste do Atlântico Sul, durante a primavera-verão de 2006-2007. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 11(3): 273-281.
- Costódio, PFS, Kuroshima, KN, Barreiros, MAB. 2006. Correlation Between Total Bacteria and Inorganic Nutrients in Water of Camboriú River and Beach. *Journal of Coastal Research*, SI 39: 1373-1377. ICS 2004 (Proceedings).
- Costódio, PFS. 2003. Distribuição de Nutrientes Inorgânicos e Bactérias no Estuário do rio Camboriú-SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina.

- Flora do Brasil. 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 05/03/20.
- Galland, GR, Pennebake, SL. 2012. A benthic diatom bloom in the Gulf of California, Mexico. *BioInvasions Records*. Volume 1, Issue 1: 65–69.
- Griffiths, RW, Schloesser, DW, Leach, JH, Kovalak, WP. 1991 Distribution and dispersal of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the Great Lakes region. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48(8): 1381-1388.
- Guiry, MD, Guiry, GM. 2020. AlgaeBase. Publicação eletrônica mundial, Universidade Nacional da Irlanda, Galway. Disponível em: <<http://www.algaebase.org>>. Acesso em: 05/03/20.
- Harvey, BP, Agostini, S, Kon, K, Wada, S, Hall-Spencer, J M. 2019. Diatoms dominate and alter marine food-webs when CO₂ rises. *Diversity*. Volume 11, n. 12, p. 242.
- Hoefel, FG. 1998. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica. Editora da Universidade do Vale do Itajaí.
- Kuroshima, KN, Barreiros, MAB, Costódio, PFS, Bellaver, PH, Laçava, L. 2006. Chemical and Microbiological Evaluation in Bathing Waters from Itajaí, Balneário Camboriú and Itapema Cities (Brazil). *Journal of Coastal Research*, SI 39: 1378-1382. ICS 2004 (Proceedings).
- Kuroshima, KN, Barreiros, MAB, Rörig, LR, Scherer, PF, Fasanaro, R, Schroeder, RA, Ribeiro, LF, Ternes, CF. 2000. Avaliação das características físicas e químicas da Enseada de Balneário Camboriú.. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental., 2000.
- Lotze HK, Lenihan HS, Borque BJ. 2006. Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science* 312: 1806-1809.
- Menezes, JTD. 2008. Balanço de sedimentos arenosos da enseada de Balneário Camboriú-SC.
- Miranda, LB, Castro, BM, Kjerve, B. 2002. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. São Pau-lo: Editora da Universidade de São Paulo (Edusp), 413p.

- Odebrecht, C, Preez, DRD, Abreu, PC, Campbell, EE. 2014. Surf zone diatoms: A review of the drivers, patterns and role in Sandy beaches food chains. *Estuar. Coast. Shelf Scienc.* 150:24-35.
- Omori, M., Ikeda, T. 1984. *Methods in marine zooplankton ecology*. New York: John Willey. 332 p.
- Otonelli, M. 2014. *Florações de diatomáceas epibênticas associadas a briozoários na enseada de Camboriú - SC: características químicas da biomassa, ecofisiologia das microalgas envolvidas e hipóteses sobre as causas*. Dissertação. UFSC. 85p.
- Pereira Filho, J, Schettini, CAF, Rörig, L, Siegle, E. 2001. *Intratidal Variation and Transport of Nutrients, POC and Chlorophyll-a in the Estuary of the Camboriú, SC, Brazil.. Estuarine - Coastal and Shelf Science, Inglaterra, v. 53, p. 249-257.*
- Pereira Filho, J, Spillere, L, Schettini, CAF, Silva, LF. 2002. *. Estuário do Rio Camboriú-SC: Variação Intramareal e Transporte Residual de Nutrientes, COP e Clorofila-a em Condições de Quadratura e Sízígia*. *Notas Técnicas da Facimar, Itajaí-SC, v. 6, p. 137-151.*
- Pezzuto, PR, Resgalla Jr., C, Abreu, JGN, Menezes, JT. 2006. *Environmental impacts of the nourishment of BalneárioCamboriú Beach, SC, Brazil. Journal of Coastal Research, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 863 - 868.*Itajaí, SC, Brazil.
- Pezzuto, PR, Santos Alves, E, Novaes, MJ. 2007. *Caracterização da macrofauna bêntica após as obras do aterro hidráulico na parte sul da praia central de Balneário Camboriú, SC. Relatório final. UNIVALI/EMASA, 43/2007. 159p.*
- Preez, DRD, Campbell, EE. 1996. *The photophysiology of surf diatoms – a review. Rev. Chilena Hist. Nat. 69:545-551.*
- Rodriguez, AO. 2003. *Diatomeas centrales del orden Triceratales em aguas costeras de las islas Canarias. Vieraea. Vol. 31. 207-217.*
- Rörig, LR, Otonelli, M, Itokazu, AG, Maraschin, M, Vitor, H, Lins, J, Abreu, PCV, Almeida, MTR, Ramlov, F, D'Oca, M, Ramalho, LV, Diehl, FL, Horta, PA, Pereira Filho, JP. 2017. *Blooms of bryozoans and epibenthic diatoms in an urbanized sandy*

- Beach (Balneário Camboriú - SC - Brazil): dynamics, possible causes and biomass characterization. *Brazilian Journal of Oceanography*, 65(4): 678-694.
- Rosman, PCC. 1997. Subsídios para Modelagem de Sistemas Estuarinos. In: SILVA, RUI CARLOS VIEIRA DA (Org.). *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos* 3. 1. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p. 231–351.
- Schramm, W, Nienhuis, PH. 1996. *Marine benthic vegetation: recent changes and the effects of eutrophication*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 477p.
- SLI Coastal Solutions, 2019. Prefeitura Municipal de Balneário Camboriú. Levantamento Batimétrico e Sedimentológico na Enseada de Balneário Camboriú – SC. Balneário Camboriú, SC.
- Smetacek, V, Zingone, A. 2013. Green and Golden Seaweed Tides on the Rise. *Nature*; 504(84); 84-88.
- Thompson, R. 1983. Low-Pass Filters to Suppress Inertial and Tidal Frequencies. *Journal of Physical Oceanography*, 13:1077-1083.
- Tiffany, MA, Lange, CB. 2002. Diatoms provide attachment sites for other diatoms: a natural history of epiphytism from southern California. *Journal Phycologia*. Volume 41, p. 116-124.
- Truccolo, EC. 2011. Assessment of the wind behavior in the northern coast of Santa Catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(3), 451-460.
- Tucci, CEM. 1998. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: Universidade/UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- Vidal, LA, Ospino-Acosta, K, Linares-Vargas, K, Garcia-Uruena, R. 2017. Diatomeas asociadas a macroalgas em placas permanentes de la coleccion del profesor Gernam Bula Meyer, Universidad del Magdalena, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 46 (1). 45-111. Santa Marta, Colombia.
- Vieira, LM, Almeida, ACS & Winston, JE. 2016. Taxonomy of intertidal cheilostome Bryozoa of Maceió, northeastern Brazil. Part 1: Suborders Inovicellina, Malacostegina and Thalamoporellina. *Zootaxa* 4097(1):059–083.



UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ

RUA URUGUAI, 458

FONE (47) 3341-7500

CAIXA POSTAL 360

CEP 88302-202

ITAJAÍ

SANTA CATARINA

Walstra, LC, Van Rijn, LC, Blogg, H, Van Ormondt, M. 2001. Evaluation of a hydrodynamic area model based on the COAST3D data at Teignmouth 1099, Report TR121-EC MAST Project No MAS3-CT97-0086. HR Wallingford, UK. pp D4. 1-D4.4.

Worms. 2020. World register of Marine species. Disponível em: <<http://www.marinespecies.org/>>. Acesso em: 05/03/20.

ANEXO I

O presente projeto teve como principal fonte de dados e informações o levantamento de dados secundários, existente na literatura e/ou provenientes de projetos anteriores na região. Em geral, projetos que buscaram caracterizar a sedimentologia da enseada de Balneário Camboriú, suas características geomorfológicas, batimétricas e físico-químicas.

Como tratam-se de grandes bases de dados com acessibilidade normalmente difusa, uma maneira de resolver essa questão é a disponibilização de informações em um repositório único, on-line e de fácil e acessibilidade. A ferramenta disponibilizada foi o Gerenciador de Arquivos presente na suíte de softwares do Laboratório de Informática da Biodiversidade e Geomática – LIBGeo, da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia da Universidade do Vale do Itajaí. Este sistema gerenciador de arquivos está em versão beta, em constante desenvolvimento, porém já pode ser utilizado em produção com segurança e agilidade.

Para a criação de novos usuários e instituições deve-se realizar solicitações junto a Universidade do Vale do Itajaí. Para isto, basta enviar um e-mail para o contato cresgalla@univali.br, aos cuidados do Prof. Charrid Resgalla, solicitando a inclusão do novo usuário. Nesta mensagem deverão constar os seguintes dados do requerente:

- Nome completo;
- Endereço eletrônico (e-mail);
- Cadastro de Pessoa Física (CPF), e;
- Afiliação (Nome completo da instituição que representa).

O prazo para criação e disponibilização do novo usuário será de até 5 dias.

Todos os dados e informações compilados para Enseada de Balneário Camboriú estão disponíveis na pasta WS_UNIVALI, conforme exposto na Figura 66. Após realizar o login no sistema, basta clicar na pasta WS_UNIVALI para navegar pelos arquivos.

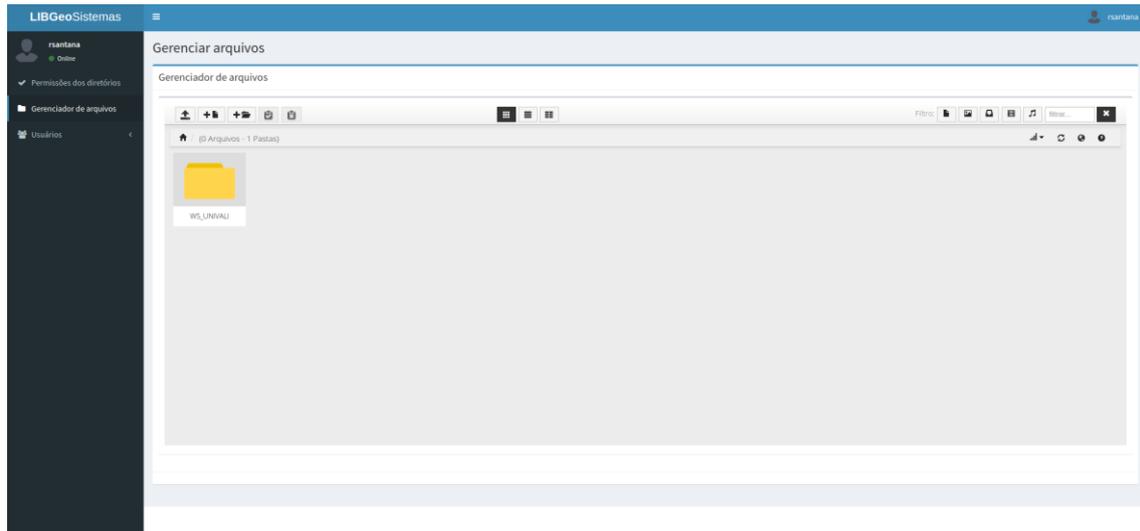


Figura 66 - Visão inicial da estrutura de pastas e arquivos disponíveis no Gerenciador.

Em geral, os arquivos de dados e informações compiladas estão disponibilizados no gerenciador da seguinte maneira:

- Arquivos, dados e informações provenientes de Laudos;
- Arquivos, dados e informações referentes aos processos de busca de jazida;
- Arquivos, dados e informações referentes à biota local;
- Arquivos, dados e informações batimétricas e sedimentológicas, e;
- Arquivos, dados e informações provenientes de coletas com ADCP.

Na Figura 67 é possível visualizar esta estrutura organizacional. Para navegar entre os temas, basta clicar em uma das pastas de interesse.

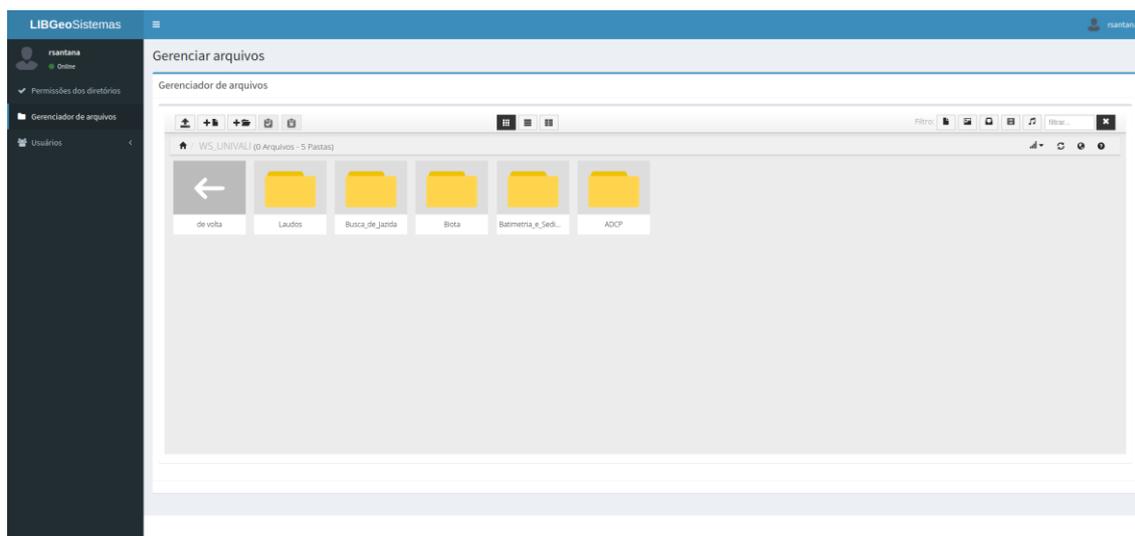


Figura 67: Imagem esquemática da organização dos temas no gerenciador de arquivos.

Para efetuar o download de um arquivo em específico, basta você passar o mouse sobre o ícone do arquivo que deseja fazer download que sobre o próprio ícone irá aparecer uma barra de ação, vide Figura 68. Nesta barra de ação, há um ícone para download de arquivos, basta clicar sobre ele que o download irá começar (Figura 69).

Entretando, para que esta ação seja válida, o depósito deve ser usado e alimentado com novas informações por parte da Secretaria do Meio Ambiente da prefeitura com dados das diferentes prestações de serviços que essa subcontrata.

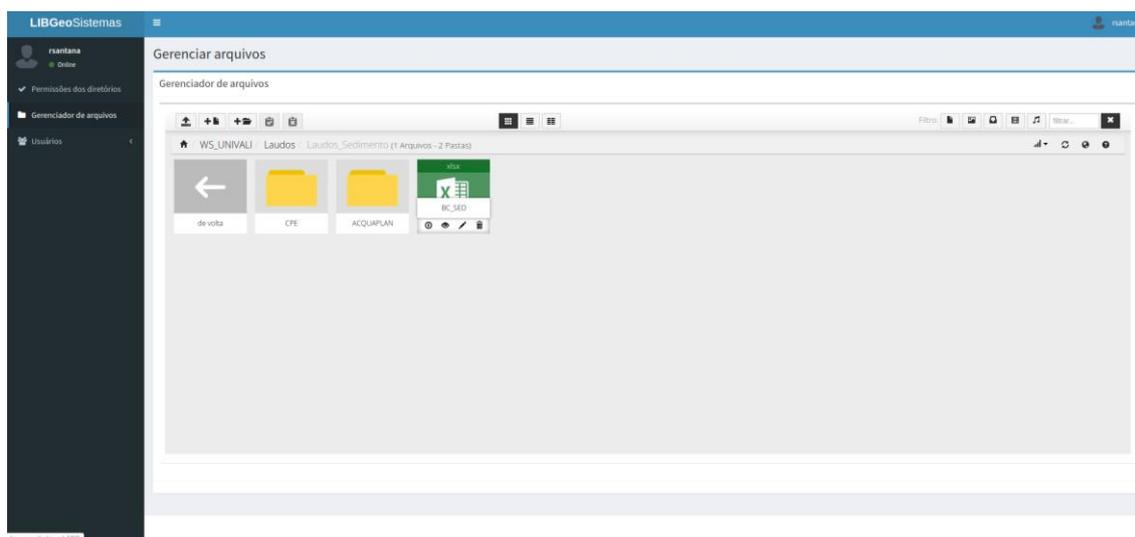


Figura 68 - Imagem esquemática da mudança de comportamento do ícone do arquivo em função da sobreposição do mouse sobre o mesmo.

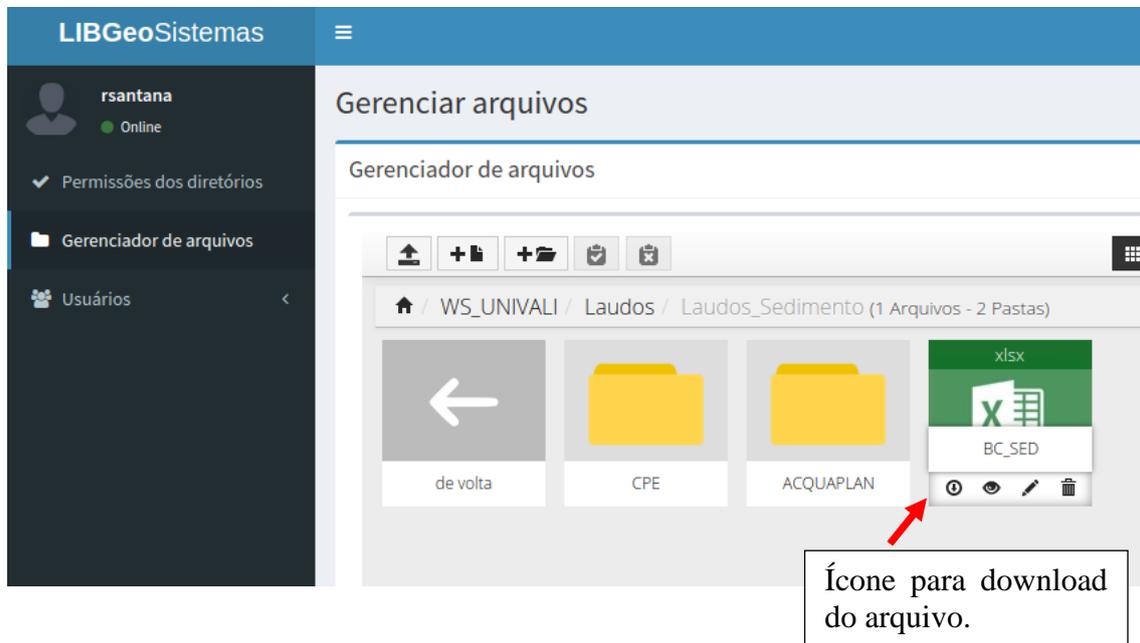


Figura 69 - Imagem esquemática do ícone para realização do download do arquivo de interesse.

ANEXO II

Para o caso especial da hidrodinâmica, Rosman (1997) e Tucci (1998) destacam que o modelo como sendo uma simplificação da realidade os seus resultados apresentam grande dependência dos dados de entrada fornecidos.

Os resultados preliminares da modelagem hidrodinâmica apresentados nesse relatório foram obtidos em um modelo implementado para uma grade numérica de diferenças finitas regulares de 250 x 250m e batimetria composta de dados medidos em 2013 na enseada para a realização do Estudo de Impacto Ambiental da Alimentação Artificial da Praia Central de Balneário Camboriú (ACQUAPLAN, 2014) e dados fornecidos em Cartas Náuticas B80 e B1800 da DHN para a região externa do domínio de modelagem (Figura 62). Os dados de batimetria foram interpolados para a grade numérica, onde os dados medidos possibilitaram uma boa interpolação na enseada enquanto os dados da Carta Náutica, por apresentar dados mais espaçados, não possibilitaram uma interpolação tão boa. Ressalta-se que a batimetria das Cartas Náuticas data de 1945.

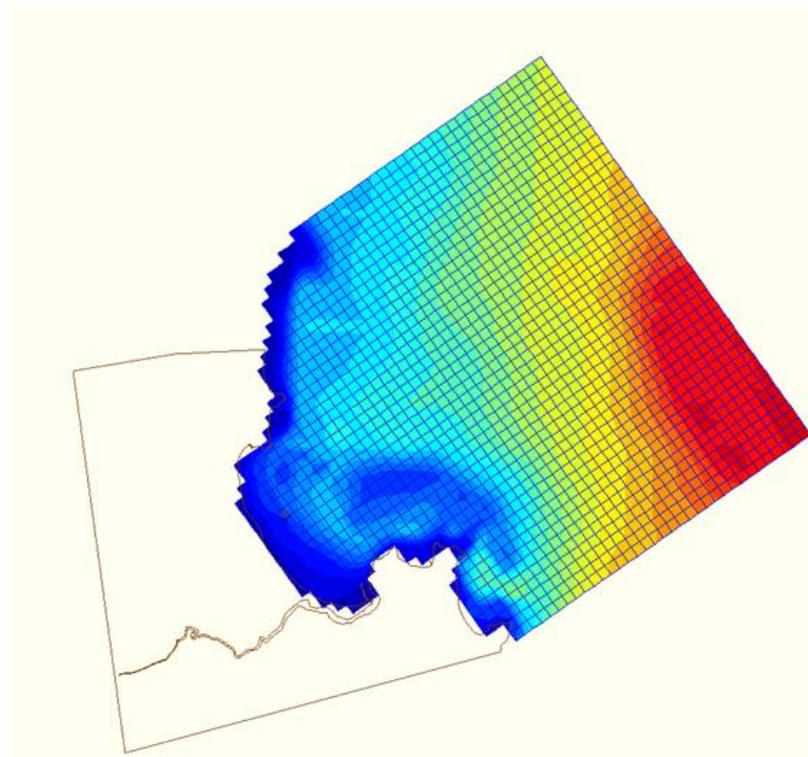


Figura 62 – Domínio da modelagem discretizado em uma grade de diferenças finitas com células de 250x250m e a batimetria de 2013 (ACQUAPLAN, 2014) interpolada para esta grade numérica utilizada para a geração das simulações desse relatório.

Para os novos modelos hidrodinâmicos, a grade numérica foi refinada, possibilitando a inclusão dos molhes norte e sul, respectivamente nos rios Marambaia e Camboriú. No rio Marambaia considerou-se o molhe antes desta obra de extensão do mesmo. Também foi considerada a batimetria mais recente da enseada de 2019 realizada para o estudo “Levantamento Batimétrico e Sedimentológico na Enseada de Balneário Camboriú – SC” (SLI COASTAL, 2019) e para a área externa à enseada, porém pertencente ao domínio da modelagem, foram utilizados os mesmos dados da Carta Náutica utilizados nas simulações anteriores. Na Figura 63 apresenta-se o domínio da modelagem utilizada nas novas simulações.

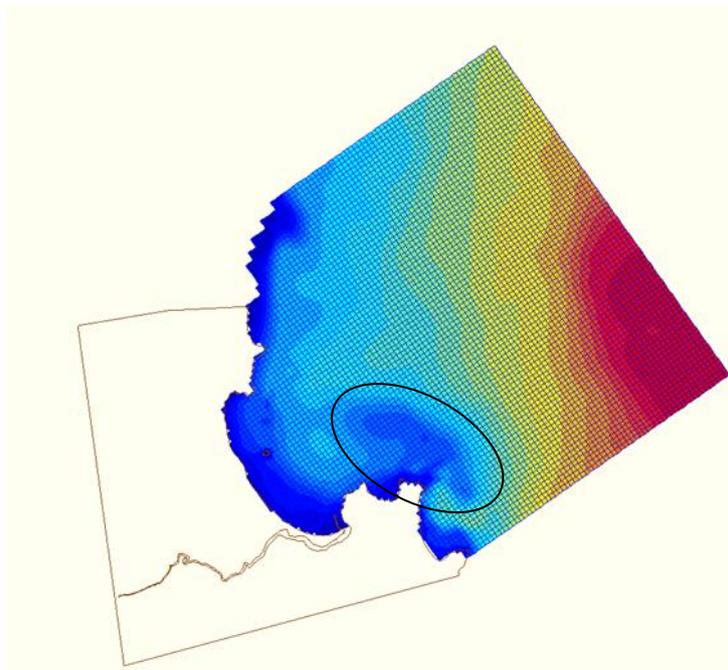


Figura 63 - Domínio da modelagem discretizado em uma grade de diferenças finitas com células de 125x125m e a batimetria de 2019 (SLI COASTAL, 2019) interpolada para esta grade numérica utilizada para a geração das simulações. Em destaque área com maior modificação na batimetria entre as simulações anteriores e as atuais.

Foi possível notar algumas diferenças na batimetria interpolada na região posterior à Ilha das Cabras. Nesta região há a interface entre os dados medidos e os dados das Cartas Náuticas. Estas alterações na batimetria geraram alterações nos resultados

hidrodinâmicos, visto que os demais dados de entrada não foram alterados para estas novas simulações.

Desta forma os resultados da hidrodinâmica no domínio de modelagem na camada de fundo decorrente de maré de quadratura, ventos e ondas de Leste (E) em maré de enchente (Figura 64) e vazante (Figura 65) foram alteradas.

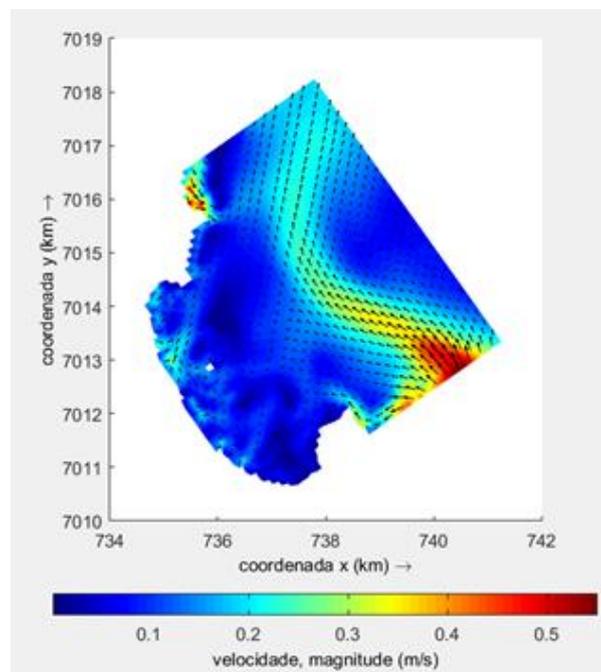


Figura 64 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Leste (E), período de quadratura no instante de meia maré enchente para a camada vertical próxima ao fundo.

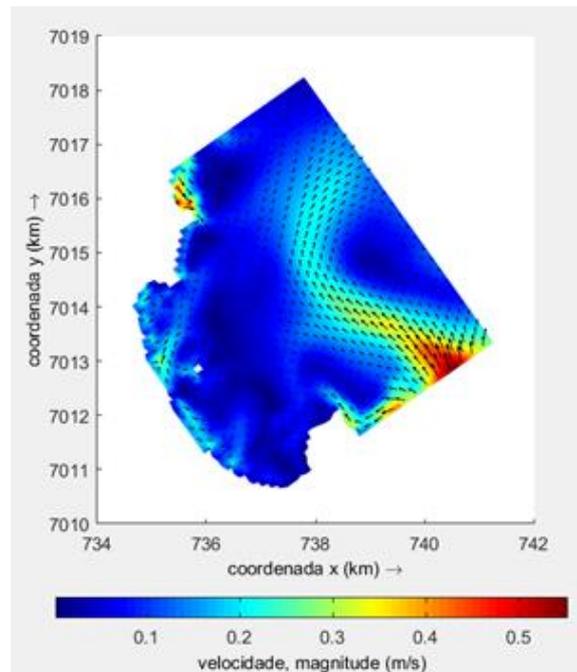


Figura 65 - Detalhe do padrão de circulação hidrodinâmica na região próxima a enseada de Balneário Camboriú para o caso de onda de Leste (E), período de quadratura no instante de meia maré vazante para a camada vertical próxima ao fundo.

Observando estas duas figuras e as comparando com as figuras apresentadas no modelo da localização dos *hotspots*, verificou-se que o padrão de circulação é modificado, principalmente na localização das correntes mais fortes que entram no domínio de modelagem pelo contorno sul. Nas simulações anteriores estas estavam localizadas mais próximas à enseada. Pode-se explicar esta alteração pela modificação da batimetria nesta região como pode-se observar no detalhe destacado na Figura 63. A presença de regiões mais profundas na área posterior à Ilha das Cabras reduz as velocidades nestes locais e consequentemente altera a circulação no interior da enseada.

Verificou-se que as células de circulação ao norte e sul da Ilha das Cabras aparecem atenuadas quando comparadas com os resultados das simulações anteriores, porém se nota que nestas regiões as velocidades continuam baixas.

Desta forma, a atualização de dados que possibilitem um acompanhamento em tempo real da real situação da enseada é uma estratégia no mínimo prudente para o uso sustentável desse balneário.