

Eliziane Silva

Dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos em áreas de cultivo utilizando modelagem hidrodinâmica

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Aquicultura.

Orientador: Alex Pires de Oliveira Nuñez

Coorientadora: Katt Regina Lapa

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Eliziane

Dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos em áreas de cultivo utilizando modelagem hidrodinâmica / Eliziane Silva ; orientador, Alex Pires de Oliveira Nuñez ; coorientadora, Katt Regina Lapa. - Florianópolis, SC, 2016.

82 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós Graduação em Aquicultura.

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. Biodepósitos. 3. Dispersão. 4. Cultivo de moluscos. 5. Modelagem hidrodinâmica. I. Nuñez, Alex Pires de Oliveira. II. Lapa, Katt Regina. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Aquicultura. IV. Título.

Dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos em áreas de cultivo utilizando modelagem hidrodinâmica

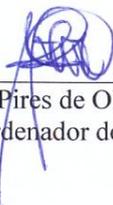
Por

ELIZIANE SILVA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM AQUICULTURA

e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.



Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.
Coordenador do Programa

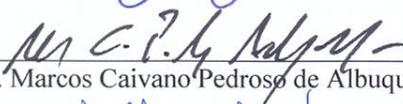
Banca Examinadora:



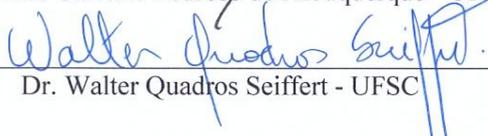
Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez – *Orientador*



Dr. Eduardo Guilherme Gentil de Parias - UDESC



Dr. Marcos Caivano Pedroso de Albuquerque - UFSC



Dr. Walter Quadros Seiffert - UFSC

Este trabalho é dedicado à
minha família. Dedico aos meus pais
Sônia e Adenir, e ao meu irmão
Ernane.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, por sua imensa bondade, e por me dar a oportunidade a cada dia de lapidar o meu ser. Obrigada, Senhor, por estares a todo instante comigo. Obrigada por me dar a oportunidade de ser paciente, de ser forte, de ser corajosa, de buscar o desconhecido, de acreditar, de ir em busca daquilo que acredito e sonho... Obrigada pela oportunidade de ser feliz. À Nossa Senhora, mãe suprema, a quem clamo por sua proteção e bênção. Obrigada por acalantar meu coração.

A minha família, em especial meus amados pais, por me incentivarem, permanentemente, na busca pelo conhecimento. Ao meu querido e amado irmão, a quem tenho grande admiração profissional, por toda parceria, paciência e apoio. Vocês são a base de tudo! Conseguimos, juntos, superar as dificuldades que a vida nos impôs e vencer com maestria! Obrigada por serem pra mim exemplos de amor, carinho, honestidade, fé, esperança... E acima de tudo, lutar para que o amanhã seja melhor que hoje! Amo-os demais! Bruna e Alex, vocês estão inclusos nisso, e vieram para lutar junto conosco.

Ao meu parceiro de todas as horas, Alex, com quem muitas vezes dividi minhas lágrimas pelas angústias vividas, pelo nervosismo... Mas também com quem dividi meus sorrisos e gargalhadas mais sinceros. Obrigada pelo carinho e amor. Amo-te! Estendo também meus agradecimentos à sua família, por me tratarem como filha, obrigada Adilson, Tânia e Ana. Além disso, agradeço aos seus avós, tios, padrinhos, primos e agregados que me acolheram como membro da família. Obrigada à todos pelo carinho, amo-os!

Aos presentes que a faculdade me deu: Camilla, Ariane e Scheila. Meus sinceros agradecimentos à Camilla, amiga que dividiu a coorientadora comigo, parceira que compartilhou de momentos angustiantes e felizes, obrigada por sua colaboração, carinho e amizade. Ariane e Scheila, obrigada por serem essas doces e amadas amigas dos bons e maus momentos. Vocês três são especiais!

Aos meus queridos amigos pólems, integrantes do grupo jovem católico do qual faço parte, obrigada por me incentivarem e apoiarem à todo momento, e mais que isso, orarem por mim e pelo meu trabalho. Tenho certeza que a oração de vocês me fez mais forte para chegar até aqui. Obrigada por serem minha segunda família, por chorarem e se alegrarem comigo.

Aos amigos que a vida me deu ao longo do caminho, do ensino fundamental e médio, da escola de samba, dos cursos que participei, da graduação, do curso e das aulas que ministrei na graduação, do projeto

AQI na rua, dos concursos e congressos, dos amigos e dos familiares dos amigos... Enfim, agradeço à todos aqueles com quem dividi e divido minhas angústias e alegrias.

Ao meu orientador, professor Alex Pires de Oliveira Nuñez, exemplo de profissional competente e dedicado. Obrigada por me aceitar como sua orientanda, acreditar no meu trabalho e me dar a oportunidade de aprender com o senhor.

À professora Katt Regina Lapa, minha querida coorientadora. Obrigada por ser muito mais que apenas professora, obrigada por ser minha amiga, obrigada por ser minha “mãe acadêmica” como dizemos! Obrigada por compartilhar sua vida, suas experiências, suas angústias, suas tristezas, suas alegrias... Foi e continua sendo algo enriquecedor! Obrigada também por me mostrar que a cada dia posso ser melhor, por ensinar a me lapidar no mundo profissional.

Ao pesquisador da EPAGRI/CIRAM Luis Hamilton Pospissil Garbossa, excelente profissional com quem tive o prazer de conviver durante o mestrado, e que muito me ensinou sobre modelagem. Obrigada também sobre os momentos que divagamos sobre diversos assuntos e que enriqueceram minha mente de ideias.

À toda equipe do LAPAD pelo acolhimento, e em especial, aos amigos Jhon, Lula, Luciano e Claudia, com quem tive o prazer de conviver e trocar experiências. Vocês são pessoas especiais, com um coração enorme, e excelentes profissionais.

À todos os professores com quem tive o prazer de conviver, no ensino fundamental, médio ou na graduação, e que me ajudaram a colocar mais um tijolinho na construção do meu ser. Sou imensamente grata à vocês.

Ao PPG em Aquicultura (UFSC) pela oportunidade que me foi dada, e por toda sua equipe pela excelência de seus profissionais.

Ao Carlito, secretário do PPG em Aquicultura (UFSC), pela paciência e dedicação com que exerce seu trabalho, e por estar disposto a nos ajudar em todos os momentos.

À equipe da Fazenda Marinha Paraíso das Ostras, que me possibilitaram realizar prévias medições em campo, a fim de realizar testes preliminares para este estudo.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

E à todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que este trabalho fosse possível.

“Cada segundo é tempo para mudar tudo para sempre”.

(Charles Chaplin)

RESUMO

O aumento da pressão antrópica em zonas costeiras tem sido motivo de preocupação global por comprometer a sustentabilidade destes ambientes. Dados apontam que 2,95% da produção brasileira de pescados é oriunda da malacocultura. E, destes, mais de 90% são produzidos em Santa Catarina, no qual se destacam três espécies: *Crassostrea gigas* (ostra do Pacífico), *Perna perna* (mexilhão) e *Nodipecten nodosus* (vieira). Deste modo, torna-se necessário o uso de ferramentas de gestão ambiental para identificar, analisar e propor medidas com vistas a garantir a continuidade e progresso desta atividade. Neste contexto, os modelos hidrodinâmicos de base física podem ser utilizados para este fim, pois permitem calcular o movimento de partículas na coluna d'água e assim prever os locais de acumulação dos resíduos gerados pelos cultivos aquícolas. O objetivo deste estudo foi determinar a área de influência da dispersão de fezes e pseudofezes e determinar possíveis áreas de acúmulo de sólidos devido aos cultivos de moluscos existentes nas Baías Norte e Sul de Florianópolis – SC. Foi possível identificar e mapear os locais mais propícios à acumulação de partículas advindas do cultivo de moluscos, assim como locais que apresentaram maior dispersão dessas partículas. Com a análise das correntes marinhas, foram avaliados quatro locais de cultivos, sendo que os pontos desprotegidos, ou seja, de maiores velocidades foram superiores em cerca de 100% das velocidades observadas nos pontos protegidos. A carga máxima (gramas) por célula modelada (90 m x 90 m) para o período de maré de quadratura foi de 6.364 g, e a deposição do material se deu em uma área de 24,00 km², enquanto que para o período de maré de sizígia a carga máxima (gramas) por célula modelada foi de 6.446 g, e a área de deposição deste material foi de 36,50 km². A utilização de modelagem hidrodinâmica de base física mostrou ser uma ferramenta viável e eficaz para o estudo da dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos, abrindo diversas possibilidades de estudos futuros ao projetar cenários de produção em fazendas aquícolas.

Palavras-chave: Aquicultura; biodepósitos; dispersão; cultivo de moluscos; modelagem hidrodinâmica.

ABSTRACT

The increasing anthropic pressure in coastal areas is causing a global concern because it is compromising the sustainability of these environments. There is an indication that 2.95 % of Brazilian aquaculture production comes from mollusks culture. More than 90% of Brazilian mollusks production comes from Santa Catarina, mainly from three species: *Crassostrea gigas* (the Pacific oyster), *Perna perna* (the mussel) and the *Nodipecten nodosus* (scallop). Thus, it is necessary the use of environmental management tools to identify, analyze and help propose measures to ensure the continuity and progress of this activity. In this context, the hydrodynamic models of physical basis can be used, because it is possible to calculate the motion of the particles in the water column and predict the local of accumulation of waste generated by aquaculture. The objective of this study was to identify the area of influence of faeces and pseudofaeces dispersal and define possible areas of solid accumulation due to mollusk farms at the North and South Bay of Florianópolis - SC. It was possible to identify and map the most favorable places to accumulation of particles coming from the mollusk cultivation, as well as sites with higher dispersion of particles. Based on the currents, four cultivation location were evaluated, two of them in unprotected areas and two in protected areas. The ones in open areas presented current speeds 100% higher than the ones in protected areas. The maximum load for ebb tides was 6,364 g for one cell of 90 m x 90 m and the solids deposition occurred for an area of 24.00 km². The maximum load for spring tide reached values of 6,446 g for one cell and the deposition reached an area of 36.50 km². The hydrodynamic modeling is a viable and efficient tool to study the dispersion of faeces and pseudofaeces. There is a wide variety of possibilities for future studies evaluating different scenarios of aquaculture farming.

Keywords: Aquaculture; biodeposits; dispersion; mollusks culture; hydrodynamic modeling.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Proporção da produção de ostras (*Crassostrea gigas*), por cidade, cultivadas na Baía de Florianópolis. 27
- Figura 2: Proporção da produção de mexilhões (*Perna perna*), por cidade, cultivados na Baía de Florianópolis 27
- Figura 3: Localização da área de estudo..... 45
- Figura 4: Áreas de cultivo de moluscos na Baía Norte de Florianópolis. Legenda: em vermelho observa-se os cultivos de moluscos existentes na Baía de Florianópolis. Os círculos pretos numerados representam os pontos de análise das velocidades das correntes marinhas..... 47
- Figura 5: Áreas de cultivo de moluscos na Baía Sul de Florianópolis. Legenda: em vermelho observa-se os cultivos de moluscos existentes na Baía de Florianópolis. Os círculos pretos numerados representam os pontos de análise das velocidades das correntes marinhas 48
- Figura 6: Comportamento das partículas de fezes e pseudofezes na coluna d'água na Baía Norte de Florianópolis, em diferentes instantes de tempo após a liberação no ambiente, no período de maré de sizígia. Legenda: em azul escuro observa-se a massa de partículas na coluna d'água (azul claro). Em tons de verde claro, escuro e marrom observa-se o território das cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis 57
- Figura 7: Comportamento das partículas de fezes e pseudofezes na coluna d'água na Baía Sul de Florianópolis, em diferentes instantes de tempo após a liberação no ambiente, no período de maré de sizígia. Legenda: em azul escuro observa-se a massa de partículas na coluna d'água (azul claro). Em tons de verde claro, escuro e marrom observa-se o território das cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis..... 58
- Figura 8: Áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos na Baía Norte de Florianópolis, no período de maré de quadratura. Legenda: em tons de cinza observa-se as cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis, e em azul claro observa-se a massa de água..... 60
- Figura 9: Áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos na Baía Sul de Florianópolis, no período de maré de

quadratura. Legenda: em tons de cinza observa-se as cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis, e em azul claro observa-se a massa de água 61

Figura 10: Áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos na Baía Norte de Florianópolis, no período de maré de sizígia. Legenda: em tons de cinza observa-se as cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis, e em azul claro observa-se a massa de água 62

Figura 11: Áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos na Baía Sul de Florianópolis, no período de maré de sizígia. Legenda: em tons de cinza observa-se as cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis, e em azul claro observa-se a massa de água 63

Figura 12: Distribuição das velocidades das correntes simuladas nos pontos analisados para as Baías Norte e Sul. Legenda: * representa os *outliers*. O número seguido da letra S corresponde ao ponto analisado na maré de sizígia, e o número seguido da letra Q corresponde ao ponto analisado em maré de quadratura..... 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diferentes modelos e ferramentas para simulação de cenários que podem ser utilizados para prever impactos ambientais advindos da atividade aquícola.....	30
Tabela 2: Taxas de produção de biodepósitos observadas para diferentes espécies de moluscos aquáticos e em diferentes locais do mundo.....	36
Tabela 3: Resumo dos dados de entrada do módulo hidrodinâmico	50
Tabela 4: Número de partículas lançadas por emissão por cultivo e suas respectivas áreas.....	53
Tabela 5: Resumo dos dados de entrada do módulo lagrangiano.....	55
Tabela 6: Resultados dos índices testados para validação do modelo hidrodinâmico.....	55
Tabela 7: Velocidade média das correntes marítimas e desvio padrão nos pontos analisados. O número seguido da letra S corresponde ao ponto analisado na maré de sizígia, e o número seguido da letra Q corresponde ao ponto analisado em maré de quadratura.....	65

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação de conservação da massa	49
Equação 2: Equação de conservação do momento.	49
Equação 3: Erro médio absoluto relativo.	51
Equação 4: Índice de concordância.	51
Equação 5: Equação que define a movimentação dos traçadores.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACARESC - da Associação de Crédito e Assistência Rural de Santa Catarina

CSAS – Secretariado Canadense de Consultoria Científica

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

FAO – Fundação das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

IA – Índice de concordância

MPA – Ministério da Pesa e Aquicultura

R^2 – Coeficiente de determinação

RMAE – Erro médio relativo absoluto

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	Produção aquícola no mundo e no Brasil	25
1.2	Produção de moluscos em Santa Catarina	26
1.3	Os efeitos da aquicultura ao ambiente e as ferramentas para auxiliar na gestão desta atividade	28
1.4	A malacocultura e os impactos gerados ao ambiente por esta atividade	33
2.	OBJETIVOS	39
2.1	Objetivo Geral.....	39
2.2	Objetivos Específicos	39
3.	ARTIGO CIENTÍFICO.....	41
3.1	Introdução.....	42
3.2	Material e Métodos	44
3.2.1	Localização e caracterização da área de estudo	44
3.2.2	Modelagem hidrodinâmica	49
3.2.3	Dados ambientais de introdução no modelo para geração das simulações da hidrodinâmica local.....	50
3.2.4	Validação do modelo.....	50
3.2.5	Previsão da dispersão de fezes e pseudofezes e determinação de possíveis áreas de biodeposição	51
3.3	Resultados	55
3.3.1	Validação do modelo.....	55
3.3.2	Previsão da dispersão de fezes e pseudofezes e determinação de possíveis áreas de biodeposição	56
3.3.3	Velocidades da água em ambientes expostos e ambientes protegidos.....	64
3.4	Discussão	66
3.5	Conclusões.....	69
3.6	Referências.....	70
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
5.	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....	77

1. INTRODUÇÃO

1.1 Produção aquícola no mundo e no Brasil

O aumento da pressão antrópica em zonas costeiras tem sido motivo de preocupação global, por comprometer a sustentabilidade destes ambientes (GRANT et al., 2012). De acordo com Hughes et al. (2005) e Grant et al. (2012), atividades como a pesca extrativista excessiva, a poluição e os impactos diretos ou indiretos das mudanças climáticas, afetam numerosas paisagens costeiras e modificam os ecossistemas, que também tem sido alterados pela aquicultura.

A fim de satisfazer a demanda global por pescado, a aquicultura marinha tem desempenhado papel fundamental na indústria de produção de pescados, principalmente em decorrência do declínio da produção pesqueira, devido à diminuição das populações de peixes selvagens (DONG et al., 2010).

Em termos de produtividade e ganhos econômicos, as atividades relacionadas à aquicultura apresentam grande potencial de crescimento, tendo em vista que a produção pesqueira, sozinha, já não supre a demanda por pescados. Atualmente, a aquicultura representa cerca de 42,00% da produção pesqueira mundial. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO (2014), a previsão é que a produção em 2030 alcance 101,20 milhões de toneladas, representando em tese 52,05% da produção pesqueira mundial (produção aquícola somada a produção de captura).

Dentre a produção aquícola, no ano de 2012, o destaque é a produção de peixes (marinhos e continentais), com 44.151,00 milhões de toneladas produzidas, representando 66,30% da produção aquícola mundial. Em segundo lugar, a produção de moluscos com 15.171,00 milhões de toneladas produzidas, representando 22,80%, seguida pela produção de crustáceos com 6.447,00 milhões de toneladas produzidas, representando 9,70% da produção mundial. O restante, 1,30%, é composto pela produção de outras espécies aquícolas (FAO, 2014).

Já no Brasil, de acordo com dados no Ministério da Pesca e Aquicultura (BRASIL, 2011), a principal produção aquícola é a piscícola em águas continentais, com 544.490,00 toneladas produzidas, representando 86,60 % da produção brasileira de aquicultura. Em seguida, a carcinicultura produziu 65.670,60 toneladas, representando 10,45% da produção aquícola brasileira. E por último, a malacocultura produziu 18.541,70 toneladas, representando 2,95% da aquicultura brasileira.

Sendo o segundo grupo de organismos mais produzidos no mundo com relação à aquicultura, e o terceiro mais produzido no Brasil, é possível observar a importância que o cultivo de moluscos representa em âmbito comercial. No Brasil, a maior porção da produção de moluscos é oriunda de Santa Catarina (BRASIL, 2011).

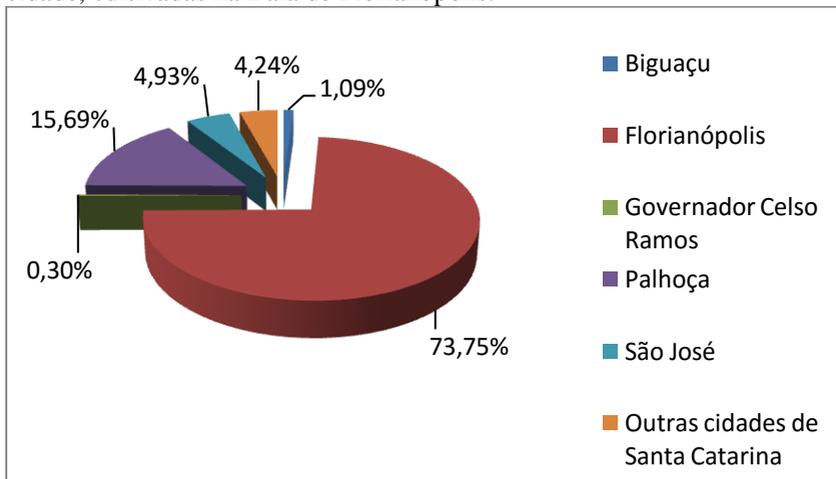
1.2 Produção de moluscos em Santa Catarina

O desenvolvimento da malacocultura no estado de Santa Catarina iniciou na década de 1980 em decorrência de um programa de pesquisa e extensão, firmado em parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e a Secretaria de Agricultura do Estado de Santa Catarina (através da Associação de Crédito e Assistência Rural de Santa Catarina – ACARESC, atual Empresa de Pesquisa e Extensão Rural do Estado de Santa Catarina - EPAGRI) (MAGALHÃES; FERREIRA, 2004).

Atualmente, segundo dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (BRASIL, 2011), a maior parte da produção de moluscos no Brasil tem origem em Santa Catarina, sendo que esta produção está baseada em três espécies principais: *Crassostrea gigas* (ostra do Pacífico), *Perna perna* (mexilhão) e *Nodipecten nodosus* (vieira). O cultivo de moluscos em Santa Catarina, segundo dados da EPAGRI (2014), proporcionou uma movimentação financeira estimada em R\$ 70.084.887,20, com um aumento de 26,41% em relação ao ano de 2013.

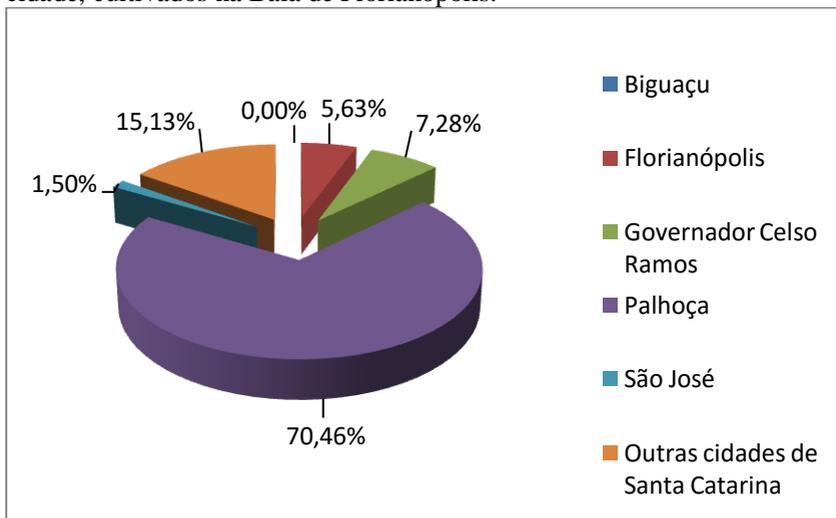
Santa Catarina produziu, no ano de 2014, 21.553,60 toneladas de moluscos, sendo que 86,70% desta produção foi realizada na Baía de Florianópolis, subdividida em Baía Norte e Baía Sul. Os municípios que abrangem a produção de moluscos nas Baías Norte e Sul são: Florianópolis, São José, Governador Celso Ramos, Biguaçu e Palhoça. Cada município contribui com a produção de ostras e mexilhões em porções diferentes como pode ser observado na Figura 1 e Figura 2, respectivamente. O restante da produção de moluscos tem origem em outras cidades do Estado.

Figura 1: Proporção da produção de ostras (*Crassostrea gigas*), por cidade, cultivadas na Baía de Florianópolis.



Fonte: Dados da EPAGRI (2014).

Figura 2: Proporção da produção de mexilhões (*Perna perna*), por cidade, cultivados na Baía de Florianópolis.



Fonte: Dados da EPAGRI (2014).

De acordo com o Estudo Complementar para Implantação do Plano de Ordenamento Náutico de Município de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2012), as Baías Norte e Sul são caracterizadas como um sistema costeiro transicional, formando um complexo estuarino dividido em dois compartimentos principais: Baía Norte e Baía Sul. Possui área superficial de 428,00 km², com dimensões de aproximadamente 50,00 km de comprimento e 12,00 km de largura máxima, profundidade média de 3,30 m e máxima de 28,00 m.

Com relação à circulação hidrodinâmica, a Baía de Florianópolis caracteriza-se por ser um sistema semiaberto de natureza estuarino. A circulação hidrodinâmica apresenta forças geradas principalmente pela oscilação de maré e pela ação dos ventos. O regime de marés nesta região caracteriza-se como sendo do tipo micromarés, no qual são encontradas amplitudes inferiores a 2,00 m (BONETTI; BONETTI; BARCELLOS, 2007). Marés de quadratura apresentam variação média de 0,80 m, e marés de sizígia apresentam variação de amplitude de 1,10 m. A ligação da Baía de Florianópolis com o Oceano Atlântico se dá por duas desembocaduras situadas uma na Baía Sul e uma na Baía Norte. A Baía Norte conecta-se ao mar por uma seção transversal larga, com cerca de 5.500,00 m, e raso, com profundidade de aproximadamente 9,00 m. Enquanto que a Baía Sul possui uma seção transversal de seção estreita, com cerca de 800,00 m, e profundidade acentuada, aproximadamente 30,00 m (FLORIANÓPOLIS, 2012).

O Estudo Complementar para Implantação do Plano de Ordenamento Náutico de Município de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2012) sugere que as Baías Norte e Sul apresentam-se como ambientes diferentes em questão de energia. Enquanto na primeira predomina sedimentos finos, na segunda este material não representa grande importância. Desta forma, o autor sugere que na Baía Norte predominam processos de deposição pela baixa energia do ambiente, enquanto que na Baía Sul apresentam-se ambientes submetidos à maior energia hidrodinâmica, evitando assim processos de deposição.

1.3 Os efeitos da aquicultura ao ambiente e as ferramentas para auxiliar na gestão desta atividade

De acordo com Huggins, Piedrahita e Rumsey (2004), é necessária a compreensão da extensão dos efeitos que a aquicultura pode ter sobre o meio ambiente uma vez que a sustentabilidade a longo prazo da indústria aquícola depende da saúde do ecossistema em que esta

atividade é praticada. Por isso, há grande preocupação em analisar de que forma os resíduos de alimentação e excretas dos animais (peixes, crustáceos e moluscos utilizados em aquicultura) alteram os fluxos de nutrientes e partículas no ambiente em que estão inseridos (FILGUEIRA et al., 2013).

Os órgãos ambientais são responsáveis pela regulação e fiscalização de atividades que possam ter efeitos deletérios sobre o meio ambiente, como a indústria aquícola. Além disso, estes órgãos também são responsáveis pelo desenvolvimento de políticas e estratégias de gestão que possam garantir o desenvolvimento sustentável da atividade (CHAMBERLAIN; STUCCHI, 2007). Em países como Canadá, Chile e Noruega, onde a aquicultura é bem desenvolvida, a gestão e o monitoramento de impactos ao meio ambiente são elementos centrais para a regulamentação da atividade aquícola (CHAMBERLAIN; STUCCHI, 2007). De modo geral, no mundo há fortes pressões sociais, econômicas e regulatórias para reduzir a liberação de nutrientes advindos de atividades aquícolas nos locais onde estão inseridas (HUGGINS; PIEDRAHITA; RUMSEY, 2004).

A previsão de impactos ambientais e a tomada de decisões relacionadas ao ambiente aquático têm sido avaliadas com ferramentas computacionais, que auxiliam na previsão de possíveis danos ambientais, mediante modelos matemáticos. Estas ferramentas apresentam abordagens diferentes de acordo com o objetivo de cada modelo matemático, que pode apresentar foco hidrodinâmico, hidrológico, ecológico ou ainda o acoplamento de diferentes módulos, possibilitando uma visão mais ampla dos processos que ocorrem no meio aquático. Em Ferreira et al. (2014) são listados diferentes modelos e ferramentas (incluindo objetivos) para simulação de cenários que podem ser utilizados para prever impactos ambientais advindos da produção aquícola costeira, Tabela 1.

Tabela 1: Diferentes modelos e ferramentas para simulação de cenários que podem ser utilizados para prever impactos ambientais advindos da atividade aquícola.

Ferramenta	Objetivo
SWAT (do inglês Soil and Water Assessment Tool, Ferramenta de Avaliação do Solo e da Água)	Modela descargas de água, nutrientes e sedimentos de uma bacia hidrográfica com base em respostas hidrológicas.
Delft3D-FLOW (Modelo hidrodinâmico tridimensional)	Modela a circulação em águas <i>inshore</i> e <i>offshore</i> .
AquaShell (individual shellfish model)	Modela o crescimento individual de amêijoas, ostras e mexilhões
EcoWin (Modelo ecológico)	Sistema de simulações em escala de componentes <i>inshore</i> e <i>offshore</i>
FARM (do inglês Farm Aquaculture Resource Management, Modelo de gestão de recursos de fazendas aquícolas)	Simulações em escala de fazendas <i>inshore</i> e <i>offshore</i> para moluscos, peixes e cultivos multitróficos integrados
Geographic Information Systems (GIS, Sistema de Informações Geográficas)	Interface dentre SWAT, Delft3D-FLOW, EcoWin e outros para tratamento e apresentação de resultados

Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2014).

Pesquisas publicadas com modelos capazes de observar os impactos causados pela aquicultura têm sido utilizadas na avaliação da dispersão de poluentes advindos do cultivo de peixes em águas marinhas (DUDLEY; PANCHANG; NEWELL, 2000; DOGLIOLI et al., 2004; CORNER et al, 2006; MAGILL; THETMEYER; CROMEY, 2006; CHAMBERLAIN; STUCCHI, 2007; TSIHRINTZIS et al., 2007; BORJA et al., 2009; BRIGOLIN et al., 2009; CROMEY et al., 2009; NAVAS; TELFER; ROSS, 2011; CROMEY et al, 2012; KEELEY et al., 2013; CHANG et al., 2014; CORNEJO et al., 2014; FERREIRA et al., 2014; PÉREZ et al., 2014; WU et al., 2014).

Nos últimos anos, além da utilização de modelos para avaliar os impactos gerados pelas atividades relacionadas ao cultivo de peixes em

ambientes marinhos, têm sido observados cuidados também com a dispersão de resíduos advindos do cultivo de moluscos, principalmente ostras e mexilhões (FERREIRA; HAWKINS; BRICKER, 2007; SEQUEIRA et al., 2008; BORJA et al., 2009; GILES et al., 2009; WEISE et al., 2009; FILGUEIRA et al., 2013; O'DONNCHA; HARTNETT; NASH, 2013; ROBERT et al., 2013; COMEAU et al., 2014; FERREIRA et al., 2014; WALKER et al., 2014; LIN; LI; ZHANG, 2016).

Em ambientes marinhos, as condições hidrodinâmicas apresentam grande influência nos processos físicos e biológicos, incluindo o transporte e o assentamento de larvas de moluscos, o transporte de parasitos de peixes, a concentração de partículas em suspensão, o suprimento de oxigênio e o transporte e acúmulo de resíduos solúveis e partículas liberadas pelos organismos cultivados (NAVAS; TELFER; ROSS, 2011).

Em muitas partes da Europa e do mundo tem-se desenvolvido modelos matemáticos com foco na dinâmica e na movimentação de partículas na água, utilizando modelagem numérica de base física (que será detalhado na sequência), principalmente relacionados ao controle e à dispersão de patógenos, previsão de cenários de impactos em estuários e ambientes costeiros, e a descarga de nutrientes nestes ambientes (HENDERSON et al., 2001). Segundo Navas, Telfer e Ross (2011), a gestão ambiental eficaz requer ferramentas de previsão para modelar os potenciais impactos e identificar os riscos de desenvolvimento da aquicultura, a fim de minimizar os impactos da atividade e adotar melhores práticas de manejo para o desenvolvimento sustentável. De acordo com o mesmo autor, a utilização de modelos hidrodinâmicos na regulação e planejamento da aquicultura foi incentivada por Henderson et al. (2001). Modelos hidrodinâmicos de base física permitem utilizar os conceitos das equações de conservação de massa e momento, variáveis e parâmetros para representar diretamente os processos que ocorreram no ambiente.

Conforme afirmado por Henderson et al. (2001), apesar de modelos hidrodinâmicos serem bastante complexos e apresentarem limitações, eles oferecem recursos importantes para a previsão de potenciais impactos ambientais. Os principais impactos aquícolas modelados são: o enriquecimento de nutrientes, a deposição de resíduos orgânicos e a dispersão e deposição de medicamentos e produtos químicos (HUGGINS; PIEDRAHITA; RUMSEY, 2004).

Ano a ano cresce a preocupação com os impactos gerados pela atividade aquícola sobre o meio ambiente. A partir disto, a utilização de

modelagem computacional possibilita prever possíveis impactos gerados pelos cultivos e compõe fortemente os instrumentos de gestão desta atividade (CHAMBERLAIN; STUCCHI, 2007).

A extensão do impacto gerado depende do tipo e da quantidade de material liberado no local de cultivo e das condições físicas do local, como a batimetria e as correntes de água, ambos os quais podem ser incorporados a modelos de dispersão de partículas (CORNER et al., 2006). De acordo com o mesmo autor, estes modelos podem auxiliar a tomada de decisões, de forma a determinar os limites de biomassa a ser produzida em termos de capacidade ambiental, testando possíveis cenários de produção em fazendas aquícolas.

Estudos que utilizam modelagem hidrodinâmica de base física contribuem com a ciência a fim de prever as áreas que podem sofrer significativos impactos ambientais. Além disso, podem auxiliar no desenvolvimento de modelos matemáticos mais específicos e capazes de demonstrar de forma mais adequada os processos que ocorrem no meio ambiente. De acordo com Cornejo et al. (2014), a caracterização dos impactos espaciais e temporais na hidrodinâmica e transporte de sedimento no ambiente fornece dados importantes para análise de risco do processo produtivo, a qual valida a prática da utilização de ferramentas computacionais a fim de avaliar os impactos gerados por um sistema produtivo ao ambiente. Além disso, de acordo com os mesmos autores, é importante para áreas em que a aquicultura está se expandindo, e em que a medição *in situ* exige grande esforço e se torna inviável economicamente.

Contudo, é importante que estas ferramentas não sejam apenas utilizadas para fins acadêmicos, é necessário que estas ferramentas estejam disponíveis aos órgãos gestores a fim de fornecer mecanismos de *feedback* aos cidadãos comuns (Ferreira et al., 2014). Os mesmos autores afirmam que o uso continuado destas ferramentas pode auxiliar no desenvolvimento da atividade aquícola e proporcionar um diálogo produtivo entre as partes interessadas.

Uma das ferramentas utilizadas atualmente para simular os efeitos da atividade aquícola no ambiente é um modelo denominado MOHID. Este é um sistema integrado de modelos numéricos de base física e permite modelar os principais processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no meio aquático. Esta ferramenta foi desenvolvida pela MARETEC (do inglês Marine and Environmental Technology Research Center), situado no Instituto Superior Técnico, vinculado à Universidade de Lisboa, em Portugal. É um modelo livre e pode ser obtido gratuitamente em seu site da internet. Modelos físicos,

como o MOHID, tem como base equações derivadas das equações de conservação de massa, momento e energia, e utilizam variáveis e parâmetros que representam diretamente as quantidades mensuradas em campo. O uso de modelos livres, como é o caso do MOHID, é um importante aspecto na escolha de ferramentas computacionais que possam ser utilizadas para auxiliar na gestão de uma atividade aquícola, tendo em vista que a maioria dos modelos comerciais apresenta custo elevado, o que pode dificultar a utilização dos mesmos.

1.4 A malacocultura e os impactos gerados ao ambiente por esta atividade

Apesar do incremento econômico que a malacocultura gera, esta atividade também traz consigo impactos ambientais nas regiões onde se desenvolve (D'AQUINO; SCHETTINI; CARVALHO, 2006), considerando a interação entre coluna de água e o sedimento. O cultivo de moluscos no estado de Santa Catarina provocou mudanças na paisagem geográfica, pois incorporou objetos e elementos que não existiam anteriormente no ambiente marítimo (GUZENSKI, 2014). Além destas mudanças, outros importantes aspectos devem ser levados em consideração: o enriquecimento local de nutrientes na água, a dispersão e deposição de resíduos orgânicos no ambiente, e ainda a produção de grande volume de conchas sem destino (TRISTÃO; MORALES; CARVALHO, 2011).

A alimentação da maioria dos moluscos aquáticos, principalmente os bivalves, grupo mais explotado, cultivado e consumido no Brasil, se dá através de filtração da água, pela ação das células branquiais (MAGALHÃES; FERREIRA, 2004). Estes animais podem filtrar partículas orgânicas e inorgânicas presentes no meio, selecionando somente aquelas que serão utilizadas em sua alimentação. Neste processo, as partículas que são ingeridas passam posteriormente pelo trato digestivo, sendo eliminadas na forma de fezes, enquanto que as partículas rejeitadas são associadas ao muco proteico e eliminadas na forma de pseudofezes (MAGALHÃES; FERREIRA, 2004).

O cultivo suspenso de moluscos altera os fluxos de energia e matéria orgânica onde está inserido, através da alimentação dos organismos filtradores, e também pela dispersão e deposição de fezes e pseudofezes dos animais ao fundo, também conhecidos como biodepósitos, que influenciam a dinâmica do ambiente (WEISE et al., 2009). De acordo com o Secretariado Canadense de Consultoria Científica – CSAS (CANADÁ, 2006), quantidades significativas de

fezes e pseudofezes podem ser produzidas em locais onde há grande volume de moluscos sendo cultivados na coluna de água, e este material pode acumular abaixo das fazendas de cultivo, ocasionando alterações nas características do sedimento e da comunidade bentônica. Weise et al. (2009) afirmaram que o aumento de biodepósitos pode produzir impactos ambientais negativos, cujo grau de impacto ao ambiente pode variar entre baixo, médio ou alto.

As taxas de produção de fezes e pseudofezes de moluscos variam de acordo com a fase de vida do animal, a quantidade de alimento disponível no ambiente, a temperatura da água, a densidade de estocagem, o manejo, a velocidade das correntes marítimas, entre outros (LIN; LI; ZHANG, 2016). De acordo com Navas, Telfer e Ross (2011), condições hidrográficas e, particularmente, a velocidade das correntes têm forte influência sobre a matéria orgânica advinda dos cultivos de moluscos. Para o Secretariado Canadense de Consultoria Científica (CANADÁ, 2006), as características e a dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos cultivados foram importantes na determinação do destino final deste material e subsequente impacto sobre a fauna e flora do ambiente.

Devido aos aspectos citados anteriormente, as taxas de biodeposição encontradas nos estudos já realizados apresentam grande variação. Desta forma, estes estudos foram organizados em tabela para permitir a melhor visualização dos valores numéricos e suas respectivas variações, tanto no aspecto da magnitude como na unidade adotada pelos autores, conforme está apresentado na Tabela 2.

Dentre estes trabalhos localizados na literatura especializada, foi dada maior atenção para estudos com taxas mensuradas para as espécies *Crassostrea gigas* e *Perna perna*, e também em estudos realizados na Baía de Florianópolis. Para a ostra *Crassostrea gigas* não foram encontrados estudos na Baía de Florianópolis, e por este motivo foram utilizados dados de seu cultivo na França, pois apresentam cerca equivalência ambiental com a região foco deste trabalho, principalmente em relação às temperaturas.

Esta dissertação de mestrado pretende colaborar com o desenvolvimento sustentável da malacocultura ao testar uma ferramenta computacional de modelagem de base física – que considera os princípios fundamentais da mecânica dos fluidos para prever a liberação de fezes e pseudofezes por parte dos moluscos marinhos e identificar as áreas de biodeposição resultantes das correntes marinhas. Possui caráter inovador uma vez que não foram localizados na literatura estudos semelhantes para a Baía de Florianópolis, local onde se concentra a

produção de moluscos no Brasil. Espera-se que pesquisas futuras sejam realizadas com a utilização dos dados gerados, principalmente no que tange ao monitoramento das possíveis áreas afetadas pelos biodepósitos, refinando o modelo e melhorando a gestão da atividade aquícola.

Tabela 2: Taxas de produção de biodepósitos observadas para diferentes espécies de moluscos aquáticos e em diferentes locais do mundo.

Taxa de produção de biodepósitos	Unidade	Densidade	Grupo/espécie	Local	Fonte
0,12 - 0,22	g de peso seco.indivíduo ⁻¹ .dia ⁻¹	Individual	<i>Crassostrea gigas</i>	Colúmbia Britânica (Canadá)	BERNARD (1974, apud MITCHELL, 2006)
0,23 - 0,56	g de peso seco.indivíduo ⁻¹ .dia ⁻¹	Individual	<i>Crassostrea virginica</i>	Rio York - Virgínia (USA)	HAVEN; MORALES-ALAMO (1966)
0,066 - 0,246	g de peso seco.indivíduo ⁻¹ .dia ⁻¹	3 indivíduos	<i>Crassostrea gigas</i>	Baía de Morlaix (França)	BOUCHER; BOUCHER-RODONI (1988)
0,11	g de peso seco.indivíduo ⁻¹ .dia ⁻¹	Individual	<i>Perna perna</i>	Porto Belo - Santa Catarina (Brasil)	SCHMITT (2002)
0,0043 - 0,0409	g de peso seco.indivíduo ⁻¹ .dia ⁻¹	Individual	<i>Modiolus modiolus</i>	Terra Nova e Labrador (Canadá)	NAVARRO; THOMPSON (1997)
1,00	g de peso seco.indivíduo ⁻¹ .dia ⁻¹	Individual	<i>Perna perna</i>	Enseada de Brito - Santa Catarina (Brasil)	SCHMITT (2002)
2,98	g de peso seco.indivíduo ⁻¹ .dia ⁻¹	Individual	<i>Perna perna</i>	Porto Belo, Armação do Itapocoroy e Enseada de Brito - Santa Catarina (Brasil)	SUPLICY (2004)
0,22	g de peso seco.g ⁻¹ .dia ⁻¹		<i>Mytilus chilensis</i>	Baía de Yaldad (Chile)	NAVARRO (1983, apud SCHMITT, 2002)
1,92	g de peso seco.dia ⁻¹		<i>Perna perna</i>	Florianópolis - Santa Catarina (Brasil)	MELLO (1999, apud SCHMITT, 2002)
15800,00	g de peso seco.dia ⁻¹	720.000 indivíduos	<i>Mytilus chilensis</i>	Baía de Yaldad (Chile)	NAVARRO (1983, apud SCHMITT, 2002)
78700,00	g.dia ⁻¹		Ostras	Baía de Hiroshima (Japão)	MARIOJOLS; KUSUKI (1987, apud SCHMITT, 2002)
1,20 - 8,20	g de peso seco		<i>Crassostrea gigas</i>	Baía de Marennes-Oleron (França)	SORNIN et al.(1983)

Tabela 2: Taxas de produção de biodepósitos observadas para diferentes espécies de moluscos aquáticos e em diferentes locais do mundo (Continuação).

Taxa de produção de biodepósitos	Unidade	Densidade	Grupo/ espécie	Local	Fonte
8,50 - 44,00	g de peso seco		<i>Crassostrea gigas</i>	Baía de Marennes-Oleron (França)	SORNIN et al.(1983)
0,53	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹	Individual	<i>Crassostrea gigas</i>	Baía de Marennes-Oleron (França)	RAZET et al. (1990)
5,70	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹		<i>Crassostrea gigas</i>	Colúmbia Britânica (Canadá)	BERNARD (1974, apud MITCHELL, 2006)
39,60	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹	360 ostras.m ⁻²	<i>Crassostrea gigas</i>	Laguna Pipe Clay - Tasmânia (Austrália)	MITCHELL (2006)
180,50	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹	360 ostras.m ⁻²	<i>Crassostrea gigas</i>	Laguna Pipe Clay - Tasmânia (Austrália)	MITCHELL (2006)
234,00	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹	250-300 indivíduos.m ⁻²	<i>Mytilus chilensis</i>	Queule (Chile)	JARAMILLO; BERTRÁN; BRAVO (1992)
260,00	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹	1100 indivíduos.m ⁻²	<i>Crassostrea gigas</i>	Ofunato (Japão)	HAYAKAWA; KOBAYASHI; IZAWA (2001)
271,00	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹	250-300 indivíduos.m ⁻²	<i>Choromytilus chorus</i>	Queule (Chile)	JARAMILLO; BERTRÁN; BRAVO (1992)
0,52 - 9,76	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹	Individual (incluindo concha)	<i>Mytilus edulis</i>	Países Bálticos	KAUTSKY; EVANS (1987)
3,00 - 277,00	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹		<i>Crassostrea gigas</i>	Baía de Hiroshima (Japão)	ARAKAWA et al.(1971, apud MITCHELL, 2006)
42,20 - 81,00	g de peso seco.m ⁻² .dia ⁻¹	42,20 (4 kg ostra.m ⁻²) e 81,00 (8 kg ostra.m ⁻²)	<i>Crassostrea virginica</i>	New Brunswick (Canadá)	MALLET; CARVER; LANDRY (2006)

Fonte: Autor.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi analisar a dispersão e deposição de fezes e pseudofezes de moluscos nas Baías Norte e Sul de Florianópolis – SC, utilizando um modelo numérico hidrodinâmico de base física.

2.2 Objetivos Específicos

- Discretizar as áreas de cultivo de moluscos nas Baías Norte e Sul de Florianópolis e modelar a circulação de água no seu entorno;
- Prever a dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos através da aplicação de um modelo hidrodinâmico, e avaliar a área de influência da dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos em função dos resultados do modelo,
- Identificar áreas influenciadas pelo acúmulo de biodepósitos, em decorrência do cultivo de moluscos nas Baías Norte e Sul de Florianópolis, e comparar dados de velocidade de água em ambientes protegidos com ambientes expostos e relacionar estes dados com os resultados que indicam os locais de acúmulo de biodepósitos.

Os resultados obtidos nesse estudo serão apresentados no artigo intitulado “**Modelagem da dispersão e deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos**”, submetido de acordo com as normas do periódico internacional *Aquaculture*.

3. ARTIGO CIENTÍFICO

Modelagem hidrodinâmica da dispersão e deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos

Eliziane Silva^a, Luis Hamilton Pospissil Garbossa^b, Alex Pires de Oliveira Nuñez^a; Katt Regina Lapa^c

^aUniversidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Aquicultura, Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce, Florianópolis, SC, CEP 88062-601, Brasil

^bEmpresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, Florianópolis, SC, CEP 88034-901, Brasil

^cUniversidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Aquicultura, Laboratório de Camarões Marinhos, Florianópolis, SC, CEP 88062-601, Brasil

RESUMO

Com a expansão das áreas aquícolas destinadas ao cultivo de moluscos em áreas de baía, são necessários estudos mais amplos utilizando ferramentas computacionais de gestão ambiental. Neste contexto, os modelos hidrodinâmicos de base física podem ser utilizados para simular os locais de interesse. Sabe-se que o cultivo suspenso de moluscos pode alterar os fluxos de energia e matéria orgânica onde está inserido devido à dispersão e deposição de fezes e pseudofezes (biodepósitos) dos animais no leito. O objetivo deste estudo foi determinar a área de influência da dispersão de fezes e pseudofezes e determinar possíveis áreas de acúmulo de sólidos devido aos cultivos de moluscos nas Baías Norte e Sul de Florianópolis - SC. Para tanto, foi utilizado o MOHID, o qual é um modelo hidrodinâmico de base física. Este se mostrou eficaz para o estudo da dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos. Foi possível observar neste trabalho locais mais propícios à acumulação de partículas advindas do cultivo de moluscos, assim como locais que apresentaram maior dispersão das mesmas. As velocidades nos pontos desprotegidos foram superiores em cerca de 100% das velocidades observadas nos pontos protegidos. A carga máxima (gramas) por célula modelada (90 m x 90 m) para o período de maré de quadratura foi de 6.364 g, e a deposição do material se deu em uma área de 24,00 km², enquanto que para o período de maré de sizígia

a carga máxima (gramas) por célula modelada (90 m x 90 m) foi de 6.446 g, e a área de deposição deste material foi de 36,50 km².

Palavras-chave: Biodepósitos; deposição; malacocultura; modelagem hidrodinâmica; MOHID.

3.1 Introdução

O aumento da pressão antrópica em zonas costeiras tem sido motivo de preocupação global, por comprometer a sustentabilidade destes ambientes (Grant et al., 2012). A fim de satisfazer a demanda global por frutos do mar, a aquicultura marinha tem desempenhado papel fundamental e importante na indústria de produção de pescados, principalmente em decorrência do declínio da produção pesqueira, devido entre outros fatores, pela diminuição das populações de peixes selvagens (Dong et al., 2010).

Atualmente, a aquicultura representa cerca de 42,00% da produção pesqueira mundial. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO (2014), a previsão é que a produção em 2030 alcance 101,20 milhões de toneladas, representando em tese 52,05% da produção pesqueira mundial (produção aquícola somado a produção de captura).

Dentre a produção aquícola, no ano de 2012, o destaque é a produção de peixes (marinhos e continentais), com 44.151 milhões de toneladas produzidas, representando 66,30% da produção aquícola mundial. Em segundo lugar, a produção de moluscos com 15.171 milhões de toneladas produzidas, representando 22,80%, seguida pela produção de crustáceos com 6.447 milhões de toneladas produzidas, representando 9,70% da produção mundial. O restante, 1,30%, é composto pela produção de outras espécies aquícolas (FAO, 2014).

O desenvolvimento da malacocultura no Brasil, cultivo de moluscos, teve seu início no estado de Santa Catarina iniciou na década de 1980. Atualmente, segundo dados do Ministério da Pesca e Aquicultura (BRASIL, 2011), Santa Catarina possui a maior parte da produção de moluscos no Brasil, sendo a produção baseada em três principais espécies: *Crassostrea gigas* (ostra do Pacífico), *Perna perna* (mexilhão) e *Nodipecten nodosus* (vieira). O cultivo de moluscos em Santa Catarina, segundo dados da EPAGRI (2014), proporcionou uma movimentação financeira estimada em R\$ 70.084.887,20 em 2014, com um aumento de 26,41% em relação ao ano de 2013. Neste estado foram produzidas, no ano de 2014, 21.553,60 toneladas de moluscos, sendo

que 86,70% desta produção foi realizada na Baía de Florianópolis, subdividida em Baía Norte e Baía Sul.

O cultivo suspenso de moluscos altera os fluxos de energia e matéria orgânica onde está inserido, através da alimentação dos organismos que são filtradores e também pela dispersão e deposição de fezes e pseudofezes dos animais ao fundo, também conhecidos como biodepósitos, que influenciam a dinâmica do ambiente (Weise et al., 2009). De acordo com o Secretariado Canadense de Consultoria Científica - CSAS (Canadá, 2006), quantidades significativas de fezes e pseudofezes podem ser geradas em locais onde há grande volume de moluscos sendo cultivados na coluna de água, e este material pode acumular embaixo das fazendas de cultivo, ocasionando alterações nas características do sedimento e da comunidade bentônica.

As taxas de produção de fezes e pseudofezes de moluscos variam de acordo com: fase de vida do animal, quantidade de alimento disponível no ambiente, temperatura da água, densidade de estocagem, manejo, velocidade das correntes marítimas, e outros fatores (Lin et al., 2016). As taxas de produção de biodepósitos reportadas pela literatura apresentam grande variação, portanto, neste estudo foi dado enfoque aos trabalhos desenvolvidos na Baía de Florianópolis.

Segundo CSAS (Canadá, 2006), as características e a dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos cultivados foram importantes na determinação do destino final deste material e subsequente impacto sobre a fauna e flora do ambiente. Condições hidrodinâmicas apresentam grande influência nos processos físicos e biológicos em ambientes marinhos, incluindo o transporte e assentamento de larvas de moluscos, o transporte de parasitos de peixes, a concentração de partículas em suspensão, o suprimento de oxigênio e o transporte e acúmulo de resíduos solúveis e partículas liberadas pelos organismos cultivados (Navas et al., 2011).

De acordo com Navas et al. (2011), a gestão eficaz da atividade aquícola requer ferramentas de previsão para modelar os potenciais impactos e identificar os riscos de desenvolvimento da aquicultura, a fim de minimizar os impactos da atividade e adotar melhores práticas de manejo para o desenvolvimento sustentável. De acordo com o mesmo autor, a utilização de modelos hidrodinâmicos na regulação e planejamento da aquicultura foi incentivado por Henderson et al. (2001).

Conforme afirmado por Henderson et al. (2001), apesar de modelos hidrodinâmicos serem bastante complexos e apresentarem limitações, eles oferecem recursos importantes para a previsão de potenciais impactos ambientais. Os principais impactos aquícolas

modelados atualmente são: o enriquecimento de nutrientes, a deposição de resíduos orgânicos e a dispersão e deposição de medicamentos e produtos químicos (Huggins et al., 2004).

Trabalhos relacionados à modelagem dos possíveis impactos causados por outras atividades aquícolas ainda são poucos em comparação à modelagem do efeito do cultivo de peixes em ambientes marinhos. Contudo, nos últimos anos, além da utilização de modelos para avaliar os impactos gerados pelas atividades relacionadas ao cultivo de peixes em ambientes marinhos, têm sido observados cuidados também com a dispersão de resíduos advindos do cultivo de moluscos, principalmente ostras e mexilhões (Ferreira et al. 2007; Sequeira et al., 2008; Borja et al., 2009; Giles et al., 2009; Weise et al., 2009; Filgueira et al., 2013; O'Donncha et al., 2013; Robert et al., 2013; Comeau et al., 2014; Ferreira et al., 2014; Walker et al., 2014).

Uma das ferramentas utilizadas atualmente para simular os efeitos da atividade aquícola no ambiente é um modelo denominado MOHID. Este é um sistema integrado de modelos numéricos de base física e permite modelar os principais processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no meio aquático. Esta ferramenta foi desenvolvida pela MARETEC (do inglês Marine and Environmental Technology Research Center), situado no Instituto Superior Técnico, vinculado à Universidade de Lisboa, em Portugal. É um modelo livre e pode ser obtido gratuitamente em seu site da internet.

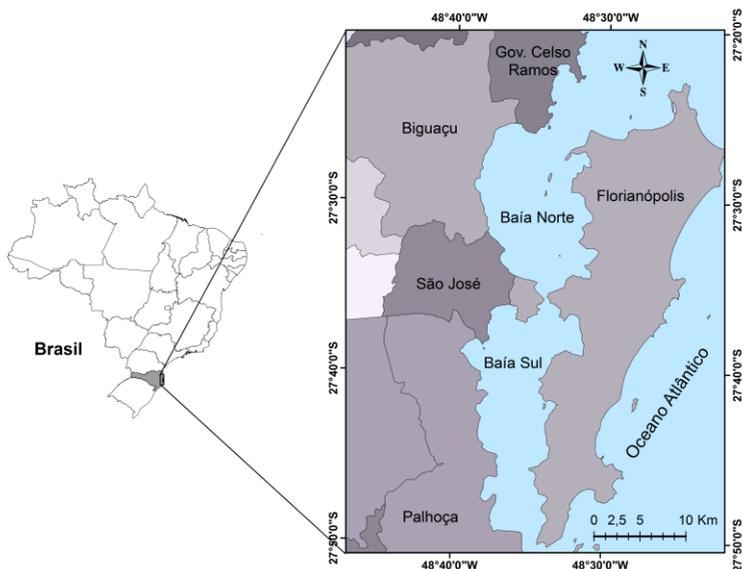
O objetivo deste estudo foi avaliar a dispersão e deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos cultivados na Baía de Florianópolis, em Santa Catarina, sul do Brasil, através da utilização de um modelo hidrodinâmico de base física para simulação de possíveis cenários.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende as Baías Norte e Sul da Ilha de Santa Catarina (lat. 27°36'S; long. 48°34'O – Datum SAD 69) com total de 428 km², Estado de Santa Catarina, localizado no sul do Brasil (Figura 3).

Figura 3: Localização da área de estudo.



Fonte: Autor.

De acordo com o Estudo Complementar para Implantação do Plano de Ordenamento Náutico do Município de Florianópolis (Florianópolis, 2012), a Baía de Florianópolis é um complexo estuarino dividido em dois compartimentos principais: Baía Norte e Baía Sul. Possui extensão superficial de 428 km^2 , e profundidade média de 3,30 m e máxima de 28,00 m.

A Baía Norte apresenta média de profundidade de 3,6 m, com profundidades de maior ocorrência na faixa entre 1 e 3 m. Já a Baía Sul apresenta média de profundidade de 2,6 m, menor que na Baía Norte. No entanto, possui maior frequência de ocorrência de intervalos de profundidade entre 6 e 10 m em decorrência da presença de feições de canais e sua configuração espacial, quando comparado à Baía Norte. De acordo com aspectos da circulação hidrodinâmica, a Baía de Florianópolis caracteriza-se por ser um sistema semiaberto de natureza estuarino. O regime de marés nesta região caracteriza-se como sendo do tipo micromarés, no qual são encontradas amplitudes inferiores a 2,00 m (Bonetti et al., 2007).

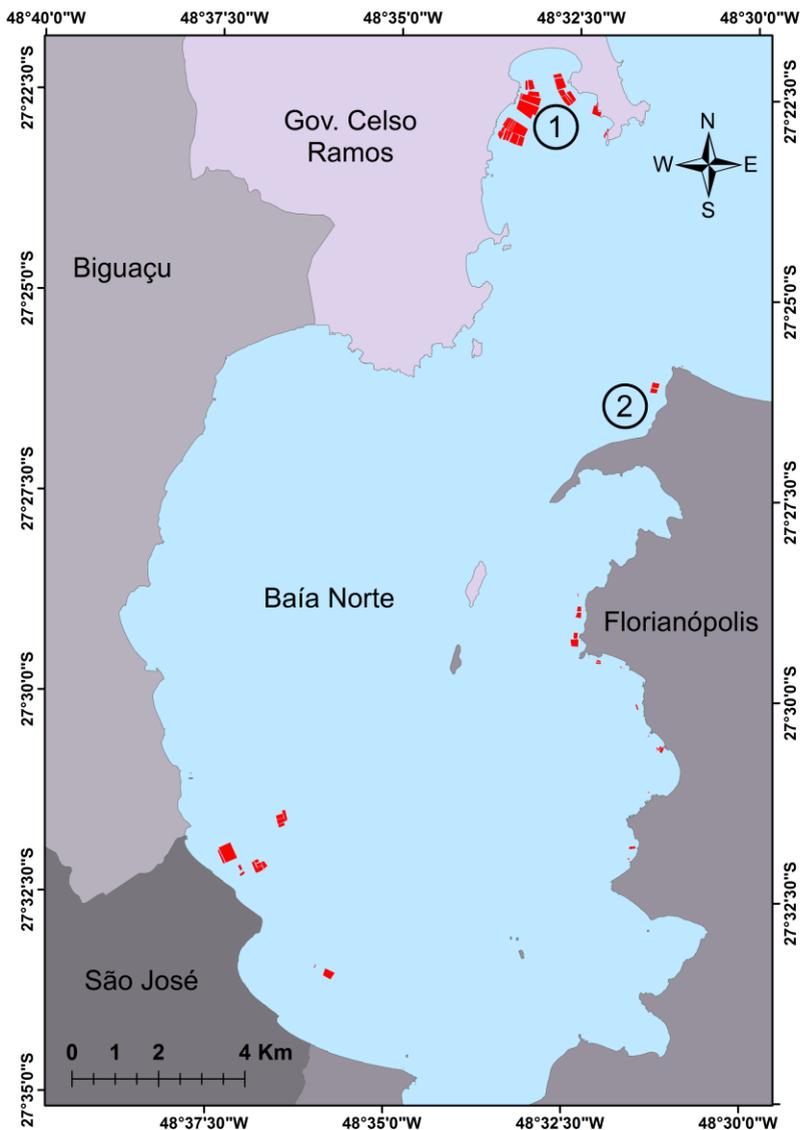
A ligação da Baía de Florianópolis com o Oceano Atlântico se dá por duas desembocaduras situadas uma na Baía Sul e uma na Baía Norte. A Baía Norte conecta-se ao mar por uma seção transversal larga,

com cerca de 5.500,00 m, e raso, com profundidade de aproximadamente 9,00 m. Enquanto que a Baía Sul possui uma seção transversal de seção estreita, com cerca de 800,00 m, e profundidade acentuada, aproximadamente 30,00 m (Florianópolis, 2012).

Para realização deste estudo, foram consideradas 38 áreas de cultivo de moluscos, determinadas por discretização através da seleção em função do local e distância entre os cultivos, as quais podem ser observadas na Figura 4 e Figura 5. As 38 áreas de cultivo totalizam 4,24 km² instalados nas Baías Norte e Sul de Florianópolis, representando cerca de 9,00% da área total das baías. Os cultivos foram representados neste estudo por caixas para fins de simulação, as quais apresentaram diferentes dimensões em função da área de cultivo.

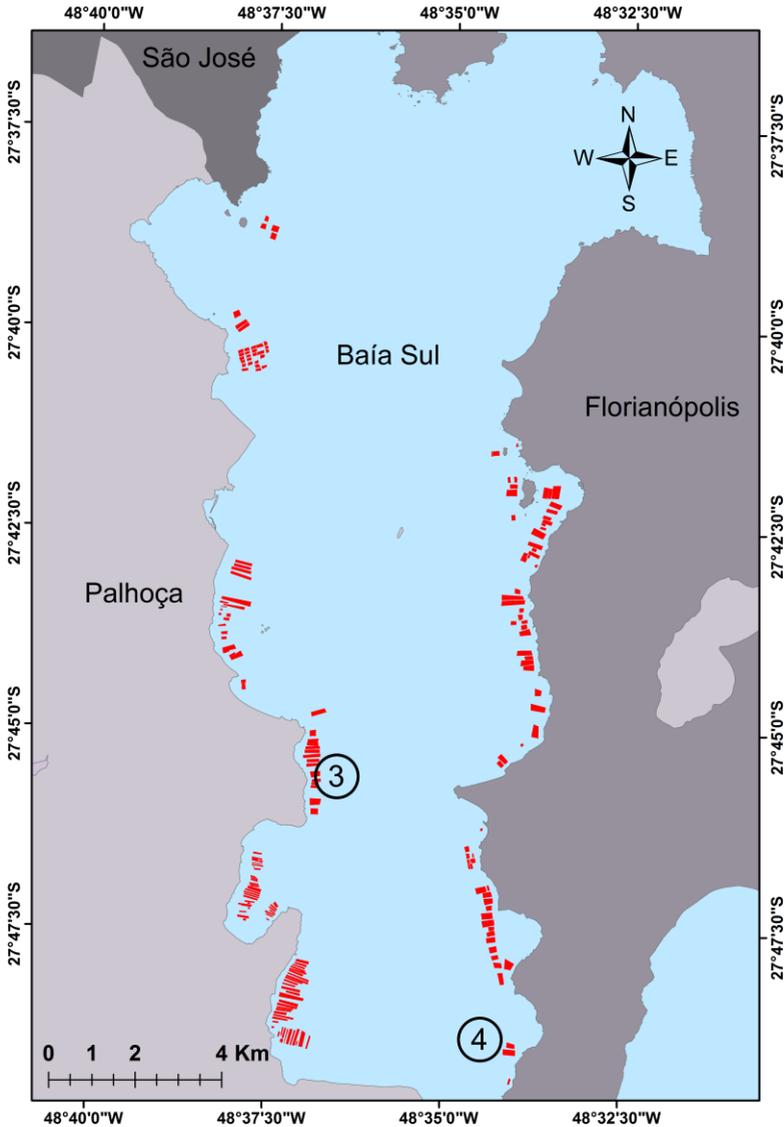
A partir dos resultados obtidos com as simulações, levando em consideração a biodeposição de fezes e pseudofezes, foram definidos quatro pontos onde há cultivo de moluscos (1, 2, 3 e 4) para analisar as velocidades de correntes marinhas no local, Figura 4 e Figura 5. Foram escolhidos dois pontos na Baía Norte (1 e 2) e dois na Baía Sul (3 e 4). Os pontos 1 e 3 foram escolhidos por serem locais mais protegidos nas Baías, com menor influência das correntes marítimas. Já os pontos 2 e 4 foram escolhidos por serem locais menos protegidos, em que a influência das correntes marítimas podem influenciar diretamente no carreamento do material liberado pelos cultivos.

Figura 4: Áreas de cultivo de moluscos na Baía Norte de Florianópolis. Legenda: em vermelho observa-se os cultivos existentes na Baía de Florianópolis. Os círculos pretos numerados representam os pontos de análise das velocidades das correntes marinhas.



Fonte: Autor.

Figura 5: Áreas de cultivo de moluscos na Baía Sul de Florianópolis. Legenda: em vermelho observa-se os cultivos de moluscos existentes na Baía de Florianópolis. Os círculos pretos numerados representam os pontos de análise das velocidades das correntes marinhas.



Fonte: Autor.

3.2.2 Modelagem hidrodinâmica

O modelo hidrodinâmico MOHID (Modelagem Hidrodinâmica) utilizado neste trabalho foi desenvolvido pela MARETEC (do inglês Marine and Environmental Technology Research Center), no Instituto Superior Técnico, vinculado à Universidade de Lisboa, em Portugal. Foi também utilizada a interface denominada MOHID Studio, a qual é um *software* comercial. Esta interface contém grande quantidade de recursos e permite realizar tarefas relacionadas à implementação do modelo, validação dos dados, execução das simulações e visualização dos resultados de forma facilitada.

O MOHID baseia-se nas equações de Navier-Stokes, incluindo as aproximações de Boussinesq e aproximações hidrostáticas. As equações básicas são numericamente integradas utilizando o método de volumes finitos. Neste estudo foi utilizado o módulo bidimensional. As equações utilizadas pelo modelo para gerar os resultados são derivadas das equações de conservação de massa, [1] e de momento [2], as quais podem ser observadas a seguir:

$$\underbrace{\frac{\partial u_1}{\partial t}}_{\text{Tempo derivativo}} + \underbrace{\frac{\partial(u_j \cdot u_1)}{\partial x_j}}_{\text{advectivo}} = \underbrace{f \cdot u_2}_{\text{coriolis}} - g \underbrace{\left(\underbrace{\frac{\rho(\eta)}{\rho} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x_1} dz}_{\text{baroclinia}} + \underbrace{\frac{\partial \eta}{\partial x_1}}_{\text{barotrópia}} \right)}_{\text{Pressão}} - \underbrace{\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x_1}}_{\text{atmosférica}} +$$

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_j \frac{\partial u_1}{\partial x_j} \right)}_{\text{difusão turbulenta}} - \underbrace{\frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{11}(z)}{\partial x_1}}_{\text{estresse de radiação (ondas)}} - \underbrace{\frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{12}(z)}{\partial x_2}}_{\text{estresse de radiação (ondas)}} \quad [1]$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} = 0 \quad [2]$$

Onde t representa o tempo, u são as componentes da velocidade x , η altura da superfície livre, f a força de Coriolis, p_a é a pressão atmosférica, g a aceleração gravitacional, ρ é a densidade, K uma constante e S a tensão.

3.2.3 Dados ambientais de introdução no modelo para geração das simulações da hidrodinâmica local

Para a geração das simulações, o modelo requer uma série de dados que servem de base para a parametrização do mesmo. Dentre os dados necessários para realização deste estudo cita-se principalmente: maré e batimetria. Os dados de entrada do modelo foram medidos em campo através de estações maregráficas e meteorológicas, cedidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI.

Dois séries temporais com dados de maré medidos em campo, através de marégrafos, foram utilizadas para forçar o modelo nas fronteiras abertas. Os dados foram coletados de forma contínua, contudo, utilizaram-se os dados coletados no ano de 2012 por disporem de séries temporais representativas para a região.

Os dados de batimetria da área de estudo foram obtidos a partir de cartas náuticas número 1902 e 1904 da Marinha do Brasil (disponível no site <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-nauticas/cartas.html>). A partir dos dados batimétricos foi construída uma malha retangular com células de 90 m x 90 m de comprimento para representar o domínio a ser modelado. Para modelar o comportamento hidrodinâmico, o modelo foi parametrizado no módulo bidimensional.

Um resumo dos dados de entrada do módulo hidrodinâmico pode ser observado na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3: Resumo dos dados de entrada do módulo hidrodinâmico.

Parâmetros Físicos	Valores utilizados
Passo de tempo	10 segundos
Grade	90 m x 90 m
Coordenada vertical	Sigma - 1 camada
Rugosidade de fundo	$2,5 E^{-3}$

Fonte: Autor.

3.2.4 Validação do modelo

Para validação do modelo, dados medidos em campo em estudo anterior realizado pela EPAGRI, foram comparados à dados gerados

pelo modelo. Os dados foram analisados em um ponto na Baía de Florianópolis (lat. 27°36'S; long. 48°34'O – Datum SAD 69).

Comparação das velocidades das correntes nas direções U (leste-oeste) e V (norte-sul) e nível de água foram realizadas. Os resultados dos dados mensurados e modelados foram testados a partir de alguns índices: coeficiente de determinação (R²), erro absoluto médio relativo (RMAE) [3] e o índice de concordância (IA) [4], de acordo com Navas et al (2011). Estes índices foram calculados da seguinte forma:

$$RMAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{(C_i - M_i)}{M_i} \right| \quad [3]$$

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - C_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|C_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)^2} \quad [4]$$

Onde C_i é o valor modelado e M_i o valor medido, e M o valor médio mensurado. Os melhores resultados são quando IA é igual a 1. Os resultados da simulação para RMAE podem ser classificados em: Excelente (< 0,20), Bom (0,20 – 0,40), Razoável (0,40 – 0,70), Ruim (0,70 – 1,00), Péssimo (> 1,00).

3.2.5 Previsão da dispersão de fezes e pseudofezes e determinação de possíveis áreas de biodeposição

A partir dos dados organizados foi possível gerar simulações das condições hidrodinâmicas, a fim de prever a dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos. Para essas simulações foi utilizado o módulo Lagrangiano do modelo hidrodinâmico utilizado, o qual possibilitou acompanhar o movimento das partículas de fezes e pseudofezes. O módulo Lagrangiano utiliza o conceito de traçadores, os quais são caracterizados por apresentarem coordenadas espaciais, volume e uma lista de propriedades, como a concentração. A velocidade em qualquer ponto do espaço pode ser calculada usando uma interpolação linear entre os pontos da grade do modelo hidrodinâmico. A equação que define a movimentação dos traçadores é [5]:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = u_i(x_i, t) \quad [5]$$

Onde u representa a velocidade média, x a posição da partícula, e t o tempo. Para este estudo, os traçadores representaram as partículas de fezes e pseudofezes dos moluscos marinhos, as quais foram liberadas em caixas que representavam os cultivos no modelo. Não foram considerados neste estudo os processos de consumo das partículas de fezes e pseudofezes por parte dos animais, dissolução e degradação das mesmas. A quantidade de partículas liberadas por emissão nos cultivos variou em função da dimensão dos mesmos, quanto maior o cultivo, maior a quantidade de partículas liberadas, o que pode ser observado na Tabela 4. As partículas foram liberadas a cada hora durante um dia apenas, e foi observada a dispersão desta emissão.

Os processos de erosão e posterior deposição do material no sedimento foram acionados. Para o processo de erosão foi utilizado valor de 0,20 Pa, e de deposição foi utilizado 0,10 Pa. Estes dois itens citados anteriormente representam a tensão de cisalhamento crítica de erosão e de deposição. Optou-se por utilizar os dados padrões indicados pelo manual do MOHID uma vez que dados específicos para a erosão e posterior deposição de partículas de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos não foram observados na literatura.

Foram realizadas duas simulações com relação à previsão da dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos a fim de avaliar a área de influência ambiental deste material. O período de simulação foi definido de acordo com as fases da lua que influenciaram diretamente as marés (sizígia e quadratura), e foram realizados para o mês de junho de 2012.

A primeira simulação foi realizada considerando-se uma maré de quadratura, sendo que as partículas foram liberadas no dia 12 de junho de 2012. O modelo foi parametrizado para simular quinze dias, iniciando três dias antes da liberação das partículas (9 de junho de 2012), a fim de estabilizar o modelo com relação à parte hidrodinâmica, e finalizando quinze dias após (22 de junho de 2012). A segunda simulação foi realizada entre os dias 16 de junho e 1 de julho de 2012, com liberação das partículas no dia 19 de junho de 2012, com maré de sizígia. Para ambas as simulações, as partículas foram liberadas somente em um dia, data central da quadratura e sizígia respectivamente.

A fim de determinar a concentração de biodepósitos liberadas pelos cultivos em função da área estudada, foi levado em consideração

dados obtidos da literatura para o ambiente de estudo ou ambientes com condições semelhantes à área de estudo.

Tabela 4: Número de partículas lançadas por emissão por cultivo e suas respectivas áreas.

Número do cultivo	Área (m ²)	Número de partículas lançadas/emissão	Número do cultivo	Área (m ²)	Número de partículas lançadas/emissão
1	63.519,68	561	20	237.352,19	1.252
2	183.884,50	1.863	21	57.110,11	437
3	179.187,97	1.416	22	190.337,91	1.499
4	55.792,36	727	23	37.950,89	325
5	40.217,99	288	24	63.512,60	538
6	111.329,78	820	25	68.430,87	552
7	117.901,90	778	26	173.255,02	2.071
8	209.148,89	1.070	27	109.380,77	903
9	340.172,99	2.064	28	138.330,25	1.250
10	103.220,63	550	29	72.069,78	570
11	9.101,22	151	30	19.987,99	154
12	16.205,02	306	31	34.005,44	286
13	7.746,96	157	32	175.389,87	1.420
14	38.130,19	308	33	61.593,56	429
15	22.887,15	227	34	58.990,17	533
16	32.731,21	215	35	197.589,86	2.533
17	41.753,97	291	36	41.869,94	451
18	139.876,05	878	37	398.665,01	3.167
19	256.094,57	1.067	38	137.908,06	1.527

Fonte: Autor.

Foi considerada a produção de biodepósitos das duas espécies de moluscos mais cultivadas na Baía de Florianópolis: *Crassostrea gigas* (ostra do Pacífico) e *Perna perna* (mexilhão), as quais apresentaram dados na literatura. Tendo em vista a produção de moluscos em Santa Catarina, foi determinada a porcentagem de produção de cada espécie para as cidades, e calculada posteriormente a produção de cada espécie,

em porcentagem, para a Baía de Florianópolis, sendo assim, a produção de ostras na Baía de Florianópolis representa 53,01% da produção de moluscos, enquanto a produção de mexilhão representa 46,99%, de acordo com os dados da EPAGRI (2014).

Os dados de produção de biodepósitos foram obtidos da literatura. Para a ostra (*Crassostrea gigas*) os dados foram obtidos de Boucher e Boucher-Rodoni (1988) e o teste foi realizado na Baía de Morlaix (França), onde foi observado uma taxa de produção de biodepósitos de 0,066 – 0,246 g de peso seco.indivíduo⁻¹.dia⁻¹. Este dado foi utilizado em função das temperaturas na França serem as mais próximas ao ambiente de estudo, uma vez que dados de produção de biodepósitos para *Crassostrea gigas* não foram mensurados em Santa Catarina. Já para o mexilhão (*Perna perna*) foram encontrados dois estudos em Santa Catarina, um realizado por Schmitt (2002), que encontrou uma taxa de produção de 1,000 g de peso seco.indivíduo⁻¹.dia⁻¹, enquanto Suplicy (2004) encontrou uma taxa de 2,980 g de peso seco.indivíduo⁻¹.dia⁻¹. Para fins de estudo, optou-se por utilizar o valor máximo de produção de biodepósitos para ostra, ou seja, 0,246 g de peso seco.indivíduo⁻¹.dia⁻¹, e para o mexilhão a média das taxas encontradas, sendo utilizado 1,990 g de peso seco.indivíduo⁻¹.dia⁻¹.

Para fins de cálculo, foi considerado cinco metros de espaçamento entre *long lines*, tendo estes, comprimento máximo de cem metros, um metro de altura de corda (mexilhão) ou lanterna (ostras) e um metro de espaçamento entre as mesmas.

Tendo em vista as considerações feitas para o cultivo de moluscos e as taxas de produção de biodepósitos, obteve-se uma taxa de 43,00 g de peso seco.m⁻².dia⁻¹, a qual foi utilizada para simular a concentração de biodepósitos no ambiente. Esta taxa representa a carga de produção de fezes e pseudofezes de moluscos total produzida por dia e por unidade de área na Baía de Florianópolis, de acordo com a porcentagem de produção de cada espécie (ostra e mexilhão) por cidade contribuinte com a produção.

As velocidades de sedimentação das partículas de fezes e pseudofezes foram utilizadas com base na literatura. Chamberlain (2002) mensurou a velocidade de sedimentação de fezes e pseudofezes para *Mytilus edulis*, para fezes encontrou uma velocidade de sedimentação igual a 0,5 cm.s⁻¹, enquanto para pseudofezes a velocidade foi de 1,0 cm.s⁻¹. Como este estudo foi focado em fezes e pseudofezes juntamente, definiu-se uma média entre as duas velocidades para introdução no modelo, portanto, utilizou-se 0,75 cm.s⁻¹ como a velocidade de sedimentação das partículas de fezes e pseudofezes.

Um resumo dos dados de entrada do módulo lagrangiano pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5: Resumo dos dados de entrada do módulo lagrangiano.

Parâmetros	Valores utilizados
Intervalo entre emissão das partículas	3600 segundos
Tipo de emissão (espacial)	Caixas
Tipo de emissão (temporal)	Contínua
Velocidade de sedimentação das partículas	0,0075 m.s ⁻¹
Concentração	43,00 mg.L ⁻¹
Tensão crítica de cisalhamento para erosão	0,20 Pa
Tensão crítica de cisalhamento para deposição	0,10 Pa

Fonte: Autor.

3.3 Resultados

3.3.1 Validação do modelo

O modelo apresentou dados consistentes quando comparados os dados mensurados com os dados modelados. No ponto analisado, para os índices testados, os resultados podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados dos índices testados para validação do modelo hidrodinâmico.

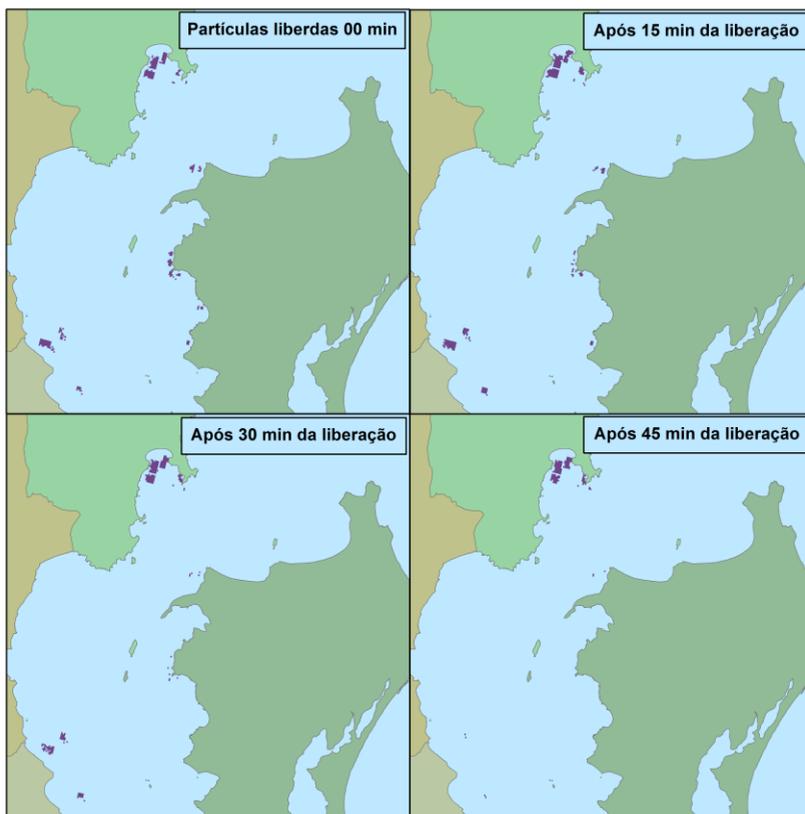
Parâmetro	RMAE	IA	R²
Velocidade em U (leste-oeste)	0,17	0,65	0,21
Velocidade em V (norte-sul)	0,57	0,78	0,40
Nível de maré	<0,01	0,98	0,95

Fonte: Autor.

3.3.2 Previsão da dispersão de fezes e pseudofezes e determinação de possíveis áreas de biodeposição

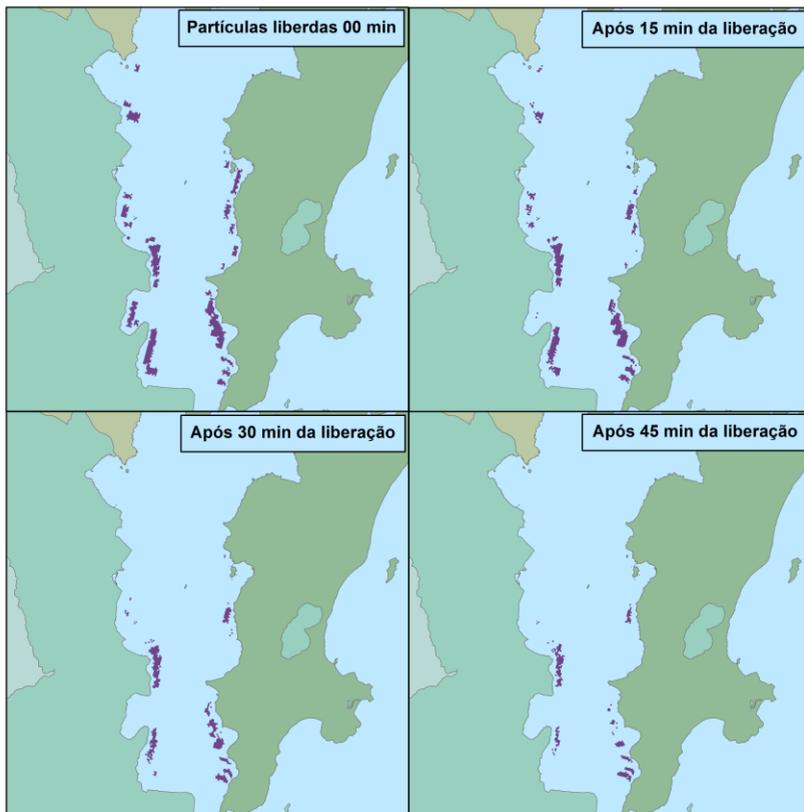
A partir das simulações geradas foi possível visualizar a movimentação das partículas de fezes e pseudofezes de moluscos na coluna d'água. As figuras 6 e 7 demonstram o comportamento do material liberado pelos cultivos na coluna d'água em diferentes instantes de tempo (00, 15, 30 e 45 min) após a liberação das partículas. As imagens que podem ser observadas a seguir foram extraídas da simulação realizada para maré de sizígia.

Figura 6: Comportamento das partículas de fezes e pseudofezes na coluna d'água na Baía Norte de Florianópolis, em diferentes instantes de tempo após a liberação no ambiente, no período de maré de sizígia. Legenda: em azul escuro observa-se a massa de partículas na coluna d'água (azul claro). Em tons de verde claro, escuro e marrom observa-se o território das cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis.



Fonte: Autor.

Figura 7: Comportamento das partículas de fezes e pseudofezes na coluna d'água na Baía Sul de Florianópolis, em diferentes instantes de tempo após a liberação no ambiente, no período de maré de sizígia. Legenda: em azul escuro observa-se a massa de partículas na coluna d'água (azul claro). Em tons de verde claro, escuro e marrom observa-se o território das cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis.



Fonte: Autor.

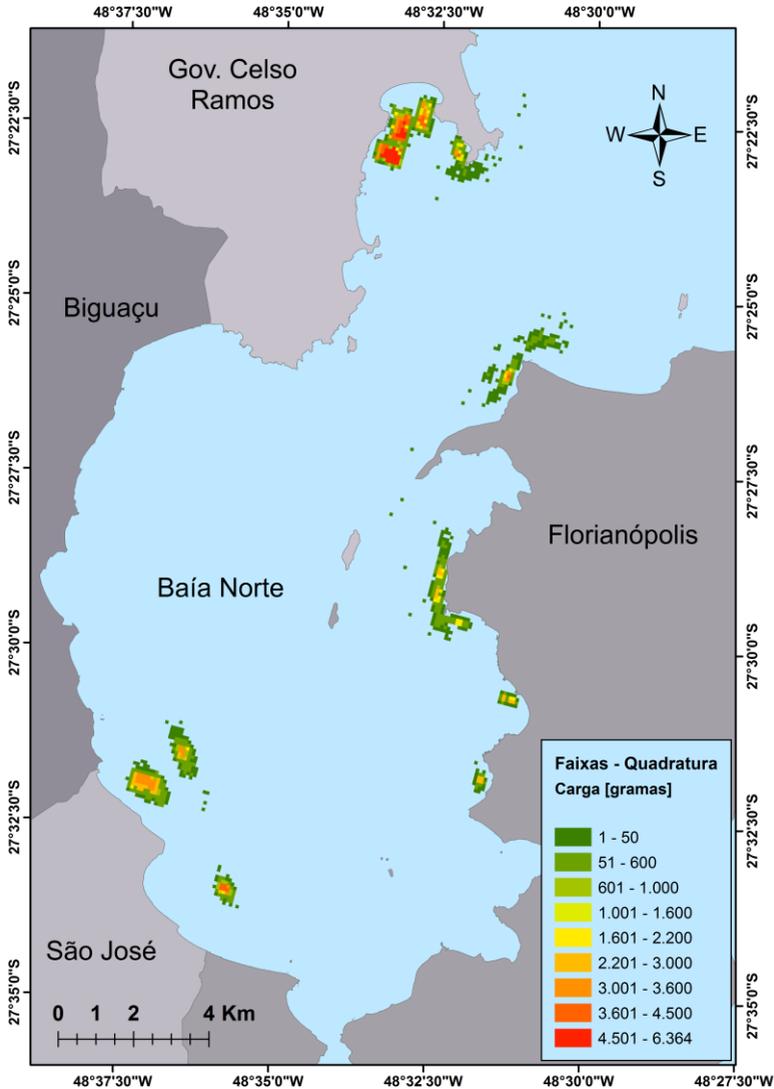
De acordo com as imagens, pode-se observar que as partículas vão desaparecendo nos mapas ao longo do tempo. No momento 00 minuto, todas as partículas liberadas pelos cultivos podem ser observadas nas imagens, no entanto, após 45 minutos a maior parte das

partículas já não pode ser observada na coluna d'água, tanto na Baía Norte quanto na Baía Sul.

As áreas de deposição de partículas foram observadas através de imagens das simulações realizadas. Para o período de maré de quadratura simulado, os resultados podem ser visualizados a seguir, Figura 8 e Figura 9. Os resultados se referem à concentração, em gramas, de fezes e pseudofezes depositados no sedimento por célula da malha utilizada (90 m x 90 m), e é possível observar a extensão da deposição desses resíduos no ambiente.

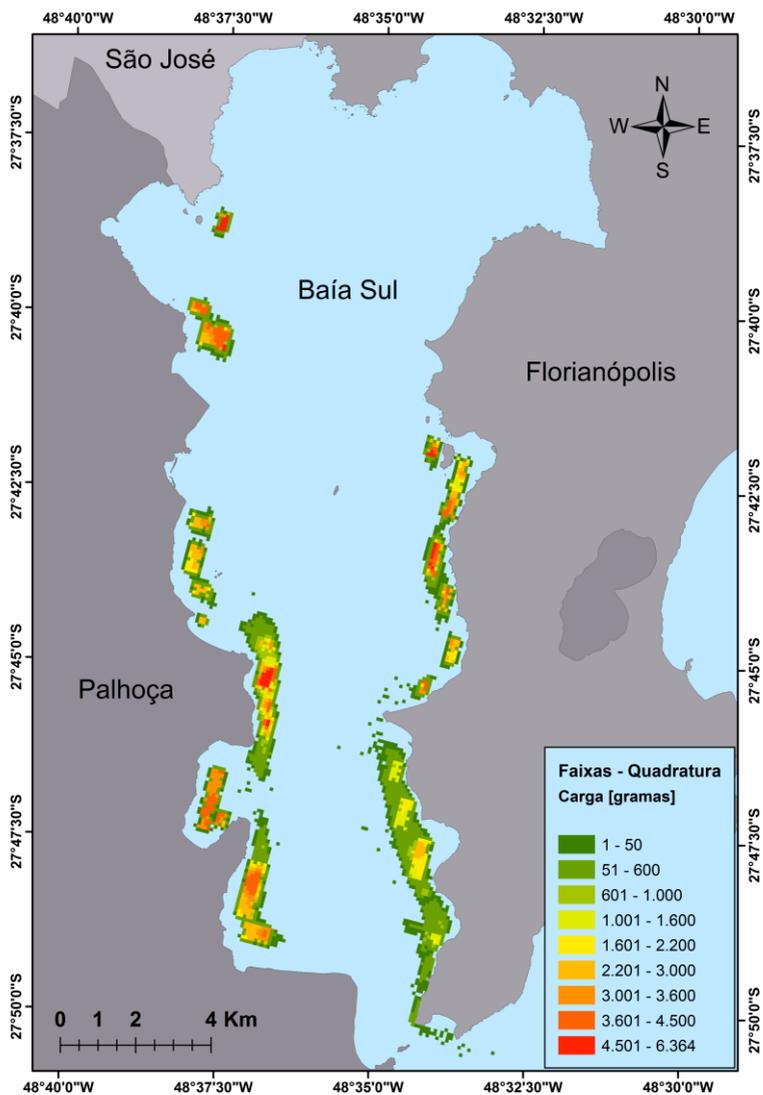
Para o período de sizígia simulado, os resultados podem ser observados nas figuras abaixo, Figura 10 e Figura 11, as quais demonstram as áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos nas Baías Norte e Sul de Florianópolis.

Figura 8: Áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos na Baía Norte de Florianópolis, no período de maré de quadratura. Legenda: em tons de cinza observa-se as cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis, e em azul claro observa-se a massa de água.



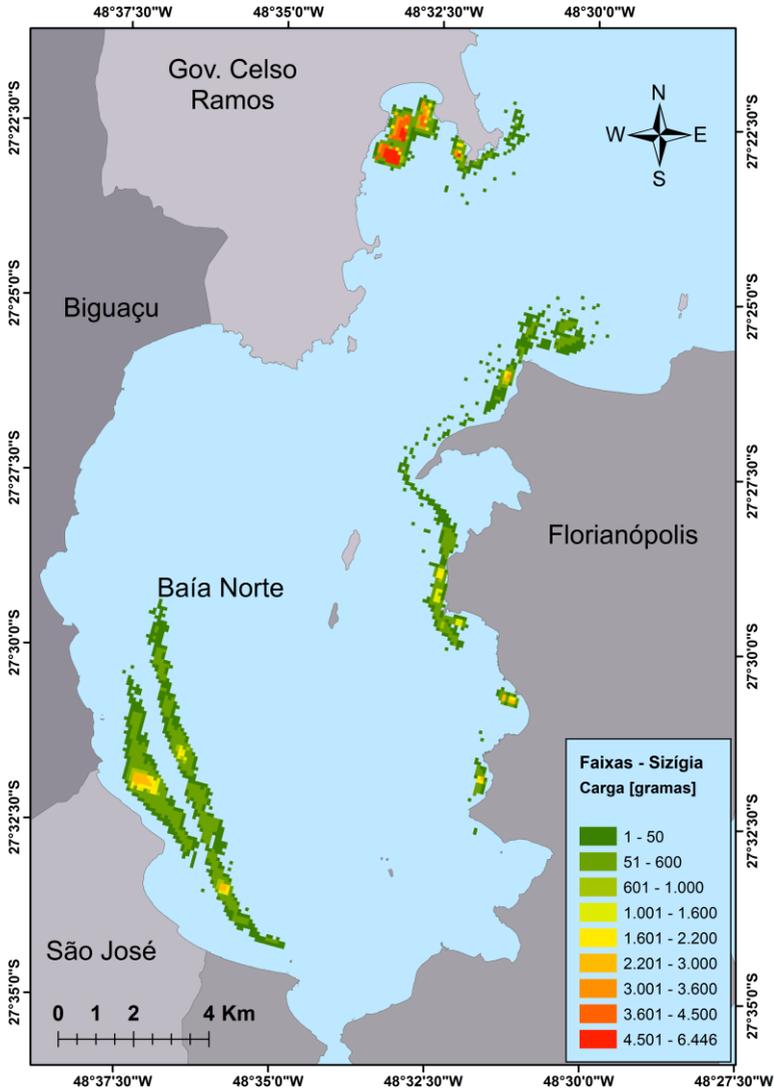
Fonte. Autor.

Figura 9: Áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos na Baía Sul de Florianópolis, no período de maré de quadratura. Legenda: em tons de cinza observa-se as cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis, e em azul claro observa-se a massa de água.



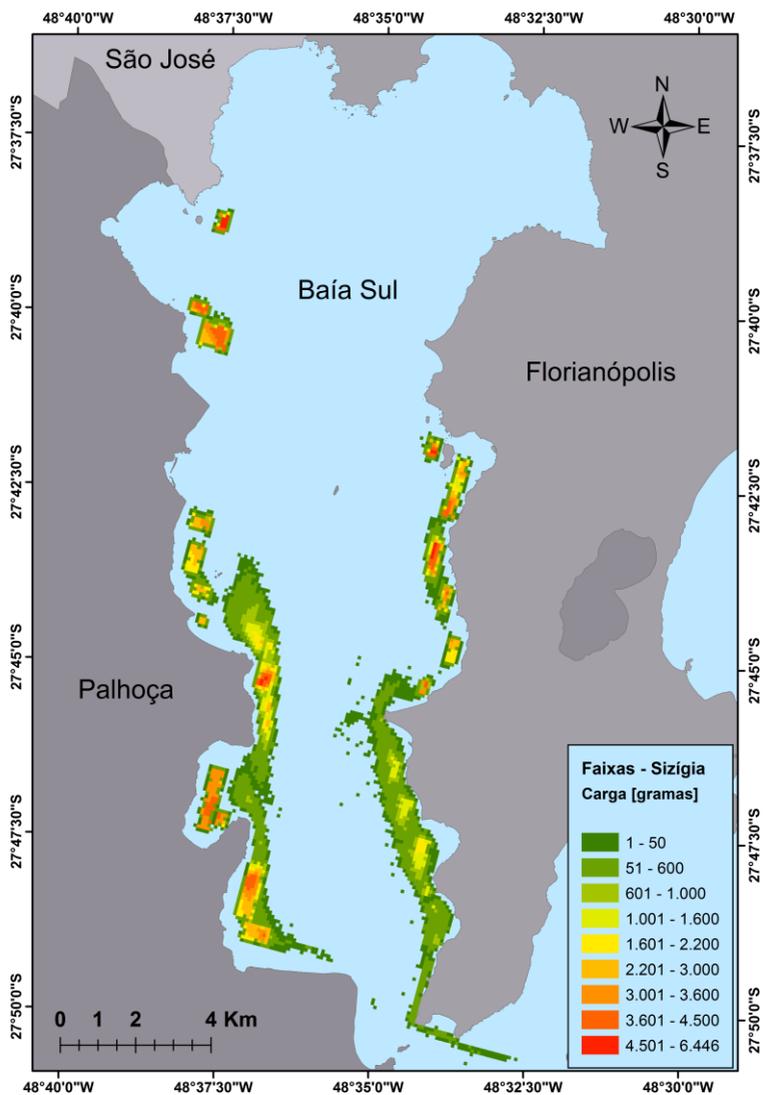
Fonte: Autor.

Figura 10: Áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos na Baía Norte de Florianópolis, no período de maré de sizígia. Legenda: em tons de cinza observa-se as cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis, e em azul claro observa-se a massa de água.



Fonte: Autor.

Figura 11: Áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos na Baía Sul de Florianópolis, no período de maré de sizígia. Legenda: em tons de cinza observa-se as cidades que contribuem com o cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis, e em azul claro observa-se a massa de água.



Fonte: Autor.

Percebe-se que nas Figuras 8, 9, 10 e 11 há uma tendência maior de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos em áreas mais protegidas, enquanto em locais mais abertos há dispersão deste material.

Tanto para a Baía Norte quanto para a Baía Sul, os resultados demonstraram que a maior quantidade de partículas de fezes e pseudofezes foi depositada abaixo ou próximo aos cultivos. A carga máxima de deposição de fezes e pseudofezes no sedimento foi de 6.364 gramas por célula por dia para o período de maré de quadratura, e 6.446 gramas por célula por dia para o período de maré de sizígia.

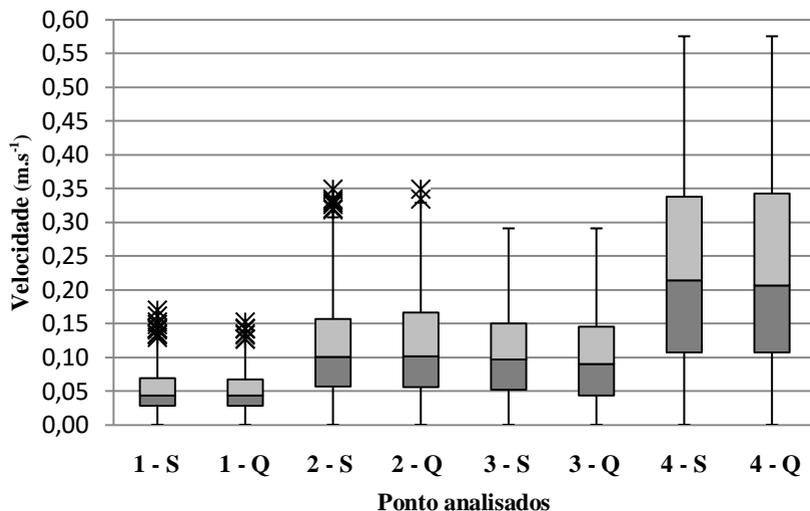
Para o período de maré de quadratura modelado, as partículas foram depositadas ao sedimento em uma área total de aproximadamente 24,00 km², o que representou cerca de 5,60% da área total da Baía de Florianópolis. Na Baía Norte as partículas foram depositadas em uma área de aproximadamente 7,00 km², enquanto na Baía Sul as partículas foram depositadas em uma área de cerca de 17,15 km². Para o período de maré de sizígia, as partículas foram depositadas na Baía de Florianópolis por uma área de aproximadamente 36,50 km², representando cerca de 8,50% da área total da Baía de Florianópolis. Neste período, na Baía Norte as partículas depositaram em uma área de aproximadamente 14,00 km², enquanto que na Baía Sul a área de deposição foi de cerca de 22,60 km².

3.3.3 Velocidades da água em ambientes expostos e ambientes protegidos

As velocidades de correntes simuladas neste estudo, nos pontos analisados (1, 2, 3 e 4), podem ser observadas na Figura 12.

As velocidades nos pontos selecionados na Baía Norte são menores que as velocidades nos pontos selecionados na Baía Sul, sendo que a primeira apresentou velocidades máximas próximas a 0,40 m.s⁻¹, enquanto a segunda, velocidades máximas próximas a 0,60 m.s⁻¹. As velocidades médias e o desvio padrão para os pontos analisados podem ser observados na Tabela 7.

Figura 12: Distribuição das velocidades das correntes simuladas nos pontos analisados para as Baías Norte e Sul. Legenda: * representa os outliers. O número seguido da letra S corresponde ao ponto analisado na maré de sizígia, e o número seguido da letra Q corresponde ao ponto analisado em maré de quadratura.



Fonte: Autor.

Tabela 7: Velocidade média das correntes marítimas e desvio padrão nos pontos analisados. O número seguido da letra S corresponde ao ponto analisado na maré de sizígia, e o número seguido da letra Q corresponde ao ponto analisado em maré de quadratura.

Pontos	Média (m.s ⁻¹)	Desvio Padrão (m.s ⁻¹)	Velocidade Máxima (m.s ⁻¹)
1 - S	0,0514	0,0315	0,1697
1 - Q	0,0500	0,0294	0,1521
2 - S	0,1160	0,0761	0,3488
2 - Q	0,1190	0,0789	0,3488
3 - S	0,1019	0,0617	0,2908
3 - Q	0,0982	0,0633	0,2908
4 - S	0,2251	0,1371	0,5751
4 - Q	0,2242	0,1397	0,5751

Fonte: Autor.

Os pontos selecionados nos ambientes desprotegidos, tanto para Baía Norte quanto para Baía Sul, apresentaram velocidades superiores em 100% quando comparadas as velocidades observadas nos pontos protegidos para ambas as baías.

3.4 Discussão

Ao analisar os resultados obtidos, cabe discutir inicialmente sobre a validação do modelo, que demonstrou representar de forma adequada o ambiente delimitado no estudo e os parâmetros analisados. Os resultados foram consistentes de acordo com os testes estatísticos realizados, o que atesta a confiança nos resultados gerados para as simulações de dispersão e deposição de fezes e pseudofezes de moluscos. Navas et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes para nível de maré e consideraram que os dados modelados e os observados em campo apresentaram boa concordância. Menendez et al. (2013) realizaram simulações na região do Rio da Prata e fizeram comparações semelhantes entre os dados modelados e os mensurados em campo para avaliar a eficiência do modelo.

A baixa profundidade da Baía Norte e Sul de Florianópolis pode justificar a rápida deposição de fezes e pseudofezes de moluscos praticamente abaixo dos cultivos ou muito próximo a eles. Em menos de uma hora após o lançamento, como observado nas figuras 6 e 7, a massa de partículas liberadas rapidamente desaparece da coluna d'água e é depositada no sedimento. Em trabalho realizado por Chang et al. (2014) com a dispersão de resíduos de peixes marinhos em gaiolas de cultivo, o material liberado pelo cultivo foi rapidamente depositado ao fundo do mar. Os autores afirmam que isto pode ser explicado pelo fato do ambiente estudado apresentar baixas profundidades, o que resulta em pequeno deslocamento horizontal das partículas, e conseqüentemente deposição das partículas logo abaixo ou muito próxima às áreas de cultivo.

Com relação às simulações, foi possível identificar zonas com condições hidrodinâmicas que apresentam maior probabilidade de acúmulo de fezes e pseudofezes de moluscos no sedimento. Estas zonas apresentam menores velocidades de corrente. Por outro lado, foram identificados ambientes que apresentam condições hidrodinâmicas favoráveis a dispersão deste material, ou seja, zonas com velocidades de correntes capazes de carrear este material. O CSAS (Canadá, 2006) afirmaram que as características e a dispersão de fezes e pseudofezes de

moluscos cultivados foram importantes na determinação do destino final deste material e subsequente impacto sobre a fauna e flora do ambiente.

De acordo com Navas et al. (2011), condições hidrográficas, particularmente, a velocidade das correntes tem forte influência sobre a matéria orgânica advinda dos cultivos de moluscos. Giles et al. (2009) também observou a deposição do material liberado pelos cultivos em áreas com menor velocidade de corrente em seu estudo relacionado à modelagem da dispersão de biodepósitos em fazendas de moluscos na Nova Zelândia. Estes autores observaram que, de acordo com o modelo, a deposição das partículas ao fundo do mar é influenciada principalmente pela densidade de fezes e pseudofezes em zonas de menor velocidade da água. Enquanto que em áreas de maior dissipação de energia, ou seja, com velocidades mais elevadas, há uma influência mais forte com relação à extensão espacial da dispersão e deposição do material.

Analisando as velocidades, a velocidade máxima no ponto 1, na maré de sizígia, representou aproximadamente 51% da velocidade observada no ponto 2, e 56% no período de maré de quadratura. Para os pontos 3 e 4, tanto em período de maré de sizígia quanto de quadratura, a velocidade máxima no ponto 3 representou aproximadamente 51% da velocidade máxima no ponto 4. Os pontos 2 e 4, em consequência das maiores velocidades, apresentaram maior dispersão de fezes e pseudofezes de moluscos. Por outro lado, os pontos 1 e 3 apresentaram maior deposição do material em função das menores velocidades modeladas na região.

Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com os resultados observados no Estudo complementar para implementação do plano de ordenamento náutico do município de Florianópolis (Florianópolis, 2012) de que as Baía Norte e Sul apresentam-se em ambientes diferentes em questão de energia, visto que o ponto selecionado na Baía Sul, ponto 4, apresentou maior dispersão das partículas de fezes e pseudofezes, e menor deposição do material advindo dos cultivos com relação aos demais pontos analisados na Baía Norte. A carga (gramas por célula) no ponto 4, representou apenas cerca de 30% da carga observada quando comparado aos pontos 1 e 3 (ambientes protegidos).

Chamberlain e Stucchi (2007) utilizaram um modelo para previsão dos impactos ambientais, denominado DEPOMOD, e sugeriram que uma proporção significativa do material advindo das fazendas de peixes marinhos em gaiola, no Canadá, realmente é depositada ao fundo do mar, causando efeitos importantes sobre a

comunidade bentônica local. A vantagem de determinar locais de acúmulo de biodepósitos está na construção de uma proposta de monitoramento mais constante para áreas que podem sofrer deposição significativa dos resíduos advindos do cultivo de moluscos. Neste trabalho, as áreas de deposição de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos na Baía de Florianópolis foram demarcadas. De acordo com os resultados preliminares, foram demarcados 7,00 km² na Baía Norte e 17,15 km² na Baía Sul. A partir da determinação destas áreas é possível construir uma proposta efetiva de monitoramento ambiental para a Baía de Florianópolis, evitando danos ambientais irreversíveis e garantindo a continuidade da malacocultura na região.

A ressuspensão é um importante fator no destino final do biodepósito de material advindo dos cultivos aquícolas. Neste estudo foi considerado o processo de ressuspensão, incluindo erosão e posterior deposição do material depositado ao fundo. Chamberlain e Stucchi (2007) sugerem que o material depositado no fundo pode ser ressuspensão e transportado para longe das fazendas de cultivo. Walker et al. (2014) ressaltam a importância da quantificação dos processos de erosão a fim de melhorar a compreensão dos mecanismos que os influenciam.

Wu et al. (2014) ao realizar estudos relacionados ao cultivo de peixes em gaiolas, no sudoeste do Canadá, ressaltaram a importância do efeito das estruturas de cultivo sobre o fluxo de água. Eles observaram aumento na variação nas distribuições das velocidades de maré na direção vertical, ou seja, ao longo da profundidade do mar no local do cultivo, isto é, avaliaram a influência da estrutura no ponto específico. O'Donncha et al. (2013) observaram os efeitos das estruturas de cultivo de mexilhões em *long lines* com relação aos fluxos de água, e verificaram que as velocidades foram alteradas em até 60% em áreas do local estudado. No presente estudo, o efeito das estruturas de cultivo foi desconsiderado em função de testes preliminares, os quais demonstraram que para a área estudada e a parametrização do modelo realizada, levando em consideração a escala estudada (428 km²) e a dimensão das células (90 m x 90 m), o efeito das estruturas de cultivo sobre as velocidades das correntes de água não foram significantes.

Lin et al. (2016) também relataram a variação na distribuição das velocidades de maré na direção vertical em decorrência da presença de estruturas de cultivo de moluscos marinhos. Sugere-se que o efeito das estruturas de cultivo sobre as velocidades das correntes marítimas tenha relevância para áreas individuais de cultivo. No entanto, em áreas extensas, como a deste trabalho e com a parametrização do modelo

utilizadas, não foi possível observar o efeito das estruturas de cultivo sobre a velocidade das correntes. Assim, os estudos citados acima e que relataram diferenças nas velocidades de correntes em decorrência de estruturas de cultivos foram estudos pontuais, realizados para pequenas áreas.

Apesar dos avanços relacionados aos modelos desenvolvidos para simular o transporte de resíduos advindos da aquicultura e suas interações, ainda há grande incerteza na parametrização destes modelos e nos processos chave que ocorrem entre estes resíduos e o ambiente (Chamberlain e Stucchi, 2007). Magill et al. (2006) sugerem que a determinação de taxas de sedimentação de material liberado pelos cultivos é um importante requisito para a aplicação correta destes modelos para fins de gestão na aquicultura. Por isso, é imprescindível ressaltar a importância de futuros estudos que levem em consideração as taxas de produção de fezes e pseudofezes de moluscos marinhos e a velocidade de sedimentação das mesmas para cada espécie estudada, a fim de refinar a modelagem e utilizar dados que representem de forma mais significativa os processos que ocorrem no ambiente.

Por ser uma atividade bastante representativa do ponto de vista econômico para Santa Catarina, deve ser dada à malacocultura especial atenção por parte das autoridades governamentais, a fim de auxiliarem no desenvolvimento sustentável da mesma. A utilização de um modelo hidrodinâmico de base física, a partir de dados mensurados em campo, proporcionou a geração de informações importantes para a gestão do cultivo de moluscos.

3.5 Conclusões

Foi possível simular a dispersão e deposição de fezes e pseudofezes do cultivo de moluscos na Baía de Florianópolis com o uso do modelo numérico de base física (MOHID).

Com a definição dos cenários de cultivos foi possível fazer a previsão das áreas de influência da dispersão dos biodepósitos, modelando a circulação de água no seu entorno. Este estudo permitiu identificar geograficamente as áreas que podem receber especial atenção para o monitoramento do lodo de fundo em estudos posteriores.

Devido ao uso dessa ferramenta, foi possível constatar e concluir também que ambientes protegidos apresentaram maior carga de biodepósitos, quando comparados à ambientes expostos, em função das baixas velocidades encontradas nestes locais, identificando e quantificando essa carga.

Apesar dos resultados promissores, serão necessários mais estudos para refinar as simulações, principalmente no que tange aos valores utilizados de velocidade de sedimentação e de taxas de produção de biodepósitos oriundos das espécies cultivadas nestes locais.

3.6 Referências

Bonetti, C., Bonetti, J., Barcellos, R.L. 2007. Caracterização sedimentar e geoquímica de sistemas costeiros com ênfase na avaliação da influência de sítios de cultivo de moluscos, in: Barroso, G.F., Poersch, L.H.da S., Cavalli, R.O (Org.). Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos. Museu Nacional – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 139-150.

Borja, A., Rodríguez, J. G., Black, K., Bodoy, A., Emblow, C., Fernandes, T. F., Forte, J., Karakassis, I., Muxika, I. Nickell, T. D., Papageorgiou, N., Pravoni, F., Sevastou, K., Tomassetti, P., Angel, D., 2009. Assessing the suitability of a range of benthic indices in the evaluation of environmental impact of fin and shellfish aquaculture located in sites across Europe. *Aquaculture* 293, 231-240.

Boucher, G., Boucher-Rodoni, R., 1988. In situ measurement of respiratory metabolism and nitrogen fluxes at the interface of oyster beds. *Marine Ecology – Progress Series* 44, 229-238.

BRASIL, 2011. Ministério da Pesca e Aquicultura - MPA. Estatística da Pesca e Aquicultura 2011. Brasília – DF.

CANADÁ – Canadian Science Advisory Secretariat (CSAS), 2006. Modelling approaches to assess the potential effects of shellfish aquaculture on the marine environment. Canadá.

Chamberlain, J., 2002. Modelling the Environmental Impacts of Suspended Mussel (*Mytilus edulis* L.) Farming. Thesis (Doctor of Philosophy), Napier University, Edinburgh.

Chamberlain, J., Stucchi, D., 2007. Simulating the effects of parameter uncertainty on waste model predictions of marine finfish aquaculture. *Aquaculture* 272, 296-311.

- Chang, B.D., Page, F.H., Losier, R.J., McCurdy, E.P., 2014. Organic enrichment at salmon farms in the Bay of Fundy, Canada: DEPOMOD predictions versus observed sediment sulfide concentrations. *Aquaculture Environment Interactions* 5, 185-208.
- Comeau, L.A., Mallet, A.L., Carver, C.E., Guyondet, T., 2014. Impact of high-density suspended oyster culture on benthic sediment characteristics. *Aquacultural Engineering* 58, 95-102.
- Cornejo, P., Sepúlveda, H.H., Gutiérrez, M.H., Olivares, G., 2014. Numerical studies on the hydrodynamic effects of a salmon farm in an idealized environment. *Aquaculture* 430, 195-206.
- Corner, R.A., Brooker, T.C., Telfer, T.C., Ross, L.G., 2006. A fully integrated GIS-based model of particle waste distribution from marine fish-cage sites. *Aquaculture* 258, 299-311.
- Dong, G.H., Xu, T.J., Zhao, Y.P., Li, Y.C., Gui, F.K., 2010. Numerical simulation of hydrodynamic behavior of gravity cage in irregular waves. *Aquacultural Engineering* 42, p. 90-101.
- Dudley, R.W., Panchang, V.G., Newell, C.R., 2000. Application of a comprehensive modeling strategy for the management of net-pen aquaculture waste transport. *Aquaculture* 187, 319-349.
- EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2014. Síntese Informativa da Maricultura 2014. Florianópolis – SC.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Roma.
- Ferreira, J.G., Hawkins, A.J.S., Bricker, S.B., 2007. Management of productivity, environmental effects and profitability of shellfish aquaculture – the Farm Aquaculture Resource Management (FARM) model. *Aquaculture* 264, 160-174.
- Ferreira, J.G., Saurel, C., Lencart e Silva, J.D., Nunes, J.P., Vazquez, F., 2014. Modelling of interactions between inshore and offshore aquaculture. *Aquaculture* 426-427, p. 154-164.

Filgueira, R., Grant, J., Stuart, R., Brown, M.S., 2013. Ecosystem modelling for ecosystem-based management of bivalve aquaculture sites in data-poor environments. *Aquaculture Environment Interactions* 4, p. 117-133.

FLORIANÓPOLIS, 2012. Prefeitura Municipal de Florianópolis. Estudo complementar para implementação do plano de ordenamento náutico do município de Florianópolis. Florianópolis - SC. Disponível em:http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/07_01_2016_13.31.30.a1fbd819567387c3663892beed023792.pdf. Acesso em: Dezembro/2016.

Grant, C., Archambault, P., Olivier, F., McKindsey, C., 2012. Influence of ‘bouchot’ mussel culture on the benthic environment in a dynamics intertidal system. *Aquaculture Environment Interactions* 2, p. 117-131.

Giles, H., Broekhuizen, Bryan, K.R., Pilditch, C.A., 2009. Modelling the dispersal of biodeposits from mussel farms: The importance of simulating biodeposit erosion and decay. *Aquaculture* 291, 168-178.

Henderson, A., Gamito, S., Karakassis, I., Pederson, P., Smaal, A., 2001. Use of hydrodynamic and benthic models for managing environmental impacts of marine aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology* 17, p. 163-172.

Huggins, D.L., Piedrahita, R.H., Rumsey, T., 2004. Analysis of sediment transport modeling using computacional fluid dynamics (CFD) for aquaculture raceways. *Aquacultural Engineering* 31, p. 277-293.

Lin, J., Li, C., Zhang, S., 2016. Hydrodynamic effect of a large offshore mussel suspended aquaculture farm. *Aquaculture* 451, p. 147-155.

Magalhães, A.R.M., Ferreira, J.F., 2004. Cultivo de Mexilhões, in: Poli, C.R., Poli, A.T.B., Andreatta, E., Beltrame, E. (Orgs.), *Aquicultura: Experiências Brasileiras*. Multitarefa Editora, Florianópolis, p. 221-250.

Magill, S.H., Thetmeyer, H., Cromey, C.J., 2006. Settling velocity of faecal pellets of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and sensitivity analysis using measured data in a deposition model. *Aquaculture* 251, 295-305.

Menendez, A.N., Badano, N.D., Lopolito, M.F., Re, M., 2013. Water quality assessment for a coastal zone through numerical modeling. *Journal of Applied Water Engineering and Research* 1, n. 1, 8-16.

Navas, J.M., Telfer, T.C., Ross, L.G., 2011. Application of 3D hydrodynamic and particle tracking models for better environmental management of finfish culture. *Continental Shelf Research* 31(6), 675-684.

O'Donncha, F., Harnett, M., Nash, S., 2013. Physical and numerical investigation of the hydrodynamic implications of aquaculture farms. *Aquacultural Engineering* 52, 14-26.

Robert, P., McKindsey, C.W., Chaillou, G., Archambault, P., 2013. Dose-dependent response of a benthic system to biodeposition from suspended blue mussel (*Mytilus edulis*) culture. *Marine Pollution Bulletin* 66, 92-104.

Schmitt, J.F., 2002. Efeito de diferentes condições ambientais em áreas de cultivo sobre alimentação e biodeposição do mexilhão *Perna perna*. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Curso de Pós Graduação em Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Sequeira, A., Ferreira, J.G., Hawkins, A.J.S., Nobre, A., Lourenço, P., Zhang, X.L., Yan, X., Nickell, T., 2008. Trade-offs between shellfish aquaculture and benthic biodiversity: A modelling approach for sustainable management. *Aquaculture* 274, p. 313-328.

Shi, J., Wei, H., Zhao, L., Yuan, Y., Fang, J., Zhang, J., 2011. A physical-biological coupled aquaculture model for a suspended aquaculture area of China. *Aquaculture* 318, 412-424.

Suplicy, F.M., 2004. Population and ecophysiological modelling of the cultured mussel *Perna perna*: towards the development of a carrying capacity model. Thesis (Doctor of Philosophy in Aquaculture), University of Tasmania, Australia.

Walker, T.R., Grant, J., Weise, A.M., McKindsey, C.W., Callier, M.D., Richard, M., 2014. Influence of suspended mussel lines on sediment erosion and resuspension in Lagune de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec, Canada. *Aquaculture* 433, 450-457.

Weise, A.M., Cromey, C.J., Callier, M.D., Archambault, P., Chamberlain, J., McKindsey, C.W., 2009. Shellfish-DEPOMOD: Modelling the biodeposition from suspended shellfish aquaculture and assessing benthic effects. *Aquaculture* 288, 239-253.

Wu, Y., Chaffey, J., Law, B., Greenberg, D.A., Drozdowski, A., Page, F., Haigh, S., 2014. A three-dimensional hydrodynamic model of aquaculture: a case study in the Bay of Fundy. *Aquaculture Environment Interactions* 5, 235-248.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante destacar que este é o primeiro estudo de modelagem hidrodinâmica de base física, que leva em consideração a modelagem de fezes e pseudofezes de moluscos de todas as áreas de cultivo que contribuem com a produção na Baía de Florianópolis.

Ressalta-se a importância do desenvolvimento de mais estudos na área, a fim de determinar as taxas de produção de biodepósitos por parte das espécies de moluscos cultivadas em Santa Catarina, e para a área de estudo em questão, a Baía de Florianópolis. Cita-se também a necessidade de estudos que determinem a velocidade de sedimentação de fezes e pseudofezes para as principais espécies de moluscos cultivados na Baía de Florianópolis. A introdução de dados como estes citados anteriormente podem auxiliar no refinamento da modelagem. Além disso, houve dificuldade na discussão dos dados, visto que estudos com modelagem de biodepósitos de moluscos ainda são poucos, e para a área estudada ainda há uma ausência de estudos deste tipo.

5. REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

BONETTI, C., BONETTI, J., BARCELLOS, R.L. Caracterização sedimentar e geoquímica de sistemas costeiros com ênfase na avaliação da influência de sítios de cultivo de moluscos, in: Barroso, G.F., Poersch, L.H.da S., Cavalli, R.O (Org.). In: **Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e sócio-econômicos**. Museu Nacional – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007 p.139-150.

BORJA, Á. et al. Assessing the suitability of a range of benthic indices in the evaluation of environmental impact of fin and shellfish aquaculture located in sites across Europe. **Aquaculture**, 293, p. 231-240, 2009.

BOUCHER, G., BOUCHER-RODONI, R.. In situ measurement of respiratory metabolism and nitrogen fluxes at the interface of oyster beds. **Marine Ecology Progress Series** 44, 229-238, 1988.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura - MPA. **Estatística da Pesca e Aquicultura 2011**. Brasília – DF, 2011.

BRIGOLIN, D. et al. Modelling the impact of aquaculture on diagenetic processes in sea loch sediments. **Marine Ecology Progress Series**, 388, p. 63-80, 2009.

CANADÁ – Canadian Science Advisory Secretariat (CSAS). **Modelling approaches to assess the potential effects of shellfish aquaculture on the marine environment**. Canadá, 2006.

CHAMBERLAIN, J.; STUCCHI, D. Simulating the effects of parameter uncertainty on waste model predictions of marine finfish aquaculture. **Aquaculture**, 272, p. 296-311, 2007.

CHANG, B.D. et al. Organic enrichment at salmon farms in the Bay of Fundy, Canada: DEPOMOD predictions versus observed sediment sulfide concentrations. **Aquaculture Environment Interactions**, 5, p. 185-208, 2014.

COMEAU, L.A. et al. Impact of high-density suspended culture on benthic sediment characteristics. **Aquacultural Engineering**, 58, p. 95-102, 2014.

CORNEJO, P. et al. Numerical studies on the hydrodynamic effects of a salmon farm in an idealized environment. **Aquaculture**, 430, p. 195-206, 2014.

CORNER, R.A. et al. A fully integrated GIS-based model of particle waste distribution from marine fish-cage sites. **Aquaculture**, 258, p. 299-311, 2006.

CROMEY, C.J. et al. Modelling the impact of cod (*Gadus morhua* L.) farming in the marine environment – CODMOD. **Aquaculture**, 289, p. 42-53, 2009.

CROMEY, C.J. et al. MERAMOD: predicting the deposition and benthic impact of aquaculture in the eastern Mediterranean Sea. **Aquaculture Environment Interactions**, 2, p. 157-176, 2012.

D'AQUINO, C.A.; SCHETTINI, C.A.F.; CARVALHO, C.E.V. Dinâmica de sedimentos finos em zonas de cultivo de moluscos marinhos. **Atlântica**, 28(2), p. 103-116, 2006.

DOGLIOLI, A.M. et al. Development of a numerical model to study the dispersion of wastes coming from a marine fish farm in the Ligurian Sea (Western Mediterranean). **Aquaculture**, 231, p. 215-235, 2004.

DONG, G.H. et al. Numerical simulation of hydrodynamic behavior of gravity cage in irregular waves. **Aquacultural Engineering**, 42, p. 90-101, 2010.

DUDLEY, R.W.; PANCHANG V.G.; NEWELL, C.R. Application of a comprehensive modeling strategy for the management of net-pen aquaculture waste transport. **Aquaculture**, 187, p. 319-349, 2000.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Síntese Informativa da Maricultura 2014**. Florianópolis – SC, 2014.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Roma, 2014.

FERREIRA, J.G. et al. Modelling of interactions between inshore and offshore aquaculture. **Aquaculture**, 426-427, p. 154-164, 2014.

FERREIRA, J.G.; HAWKINS, A.J.S.; BRICKER S.B. Management of productivity, environmental effects and profitability of shellfish aquaculture – the Farm Aquaculture Resource Management (FARM) model. **Aquaculture**, 264, p. 160-174, 2007.

FILGUEIRA, R. et al. Ecosystem modelling for ecosystem-based management of bivalve aquaculture sites in data-poor environments. **Aquaculture Environment Interactions**, v. 4, p. 117-133, 2013.

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal de Florianópolis. Estudo complementar para implementação do plano de ordenamento náutico do município de Florianópolis, 2012. Florianópolis - SC. Disponível em: http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/07_01_2016_13.31.30.a1fbd819567387c3663892beed023792.pdf. Acesso em: Dezembro/2016.

GILES, H. et al. Modelling the dispersal of biodeposits from mussel farms: The importance of simulating biodeposit erosion and decay. **Aquaculture**, 291, p. 168-178, 2009.

GRANT, C. et al. Influence of ‘bouchot’ mussel culture on the benthic environment in a dynamics intertidal system. **Aquaculture Environment Interactions**, v. 2, p. 117-131, 2012.

GUZENSKI, J. **Avaliação integrada das condições ambientais e do desempenho produtivo do cultivo de mexilhões e ostras no Estado de Santa Catarina, Brasil**. 2014. 189 páginas. Tese de Doutorado em Geografia – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

HAVEN, D.S.; MORALES-ALAMO, R. Aspects of biodeposition by oysters and other invertebrate filter feeders. **Limnology and Oceanography**, v. 11, ed. 11, p. 487-498, 1966.

HAYAKAWA, Y.; KOBAYASHI, M.; IZAWA, M. Sedimentation flux from mariculture of oyster (*Crassostrea gigas*) in Ofunato estuary, Japan. **Journal of Marine Science**, 58, p. 435-444, 2001.

HENDERSON, A. et al. Use of hydrodynamic and benthic models for managing environmental impacts of marine aquaculture. **Journal of Applied Ichthyology**, 17, p. 163-172, 2001.

HUGGINS, D.L.; PIEDRAHITA, R.H.; RUMSEY, T. Analysis of sediment transport modeling using computational fluid dynamics (CFD) for aquaculture raceways. **Aquacultural Engineering**, 31, p. 277-293, 2004.

HUGHES, T.P. et al. New paradigms for supporting the resilience of marine ecosystems. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 7, p. 380-386, 2005.

JARAMILLO, E.; BERTRÁN, C.; BRAVO, A. Mussel biodeposition in na estuary in Southern Chile. **Marine Ecology Progress Series**, v. 82, p. 85-94, 1992.

KAUTSKY, N.; EVANS, S. Role of biodeposition by *Mytilus edulis* in the circulation of matter and nutrients in a Baltic coastal ecosystem. **Marine Ecology Progress Series**, v.38, p. 201-212, 1987.

KEELEY, N.B. et al. Predictive depositional modelling (DEPOMOD) of the interactive effect of current flow and resuspension on ecological impacts beneath salmon farms. **Aquaculture Environment Interactions**, 3, p. 275-291, 2013.

LIN, J.; LI, C.; ZHANG, S. Hydrodynamic effect of a large offshore mussel suspended aquaculture farm. **Aquaculture**, 451, p. 147-155, 2016.

MAGALHÃES, A.R.M.; FERREIRA, J.F. Cultivo de mexilhões. In: Poli, C.R. et al (org.). **Aquicultura: Experiências Brasileiras**. Florianópolis – SC: Multitarefa Editora, 2004. P. 221-250.

MAGILL, S.H.; THETMEYER, H.; CROMEY, C.J. Settling velocity of faecal pellets of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass

(*Dicentrarchus labrax* L.) and sensitivity analysis using measured data in a deposition model. **Aquaculture**, 251, p. 295-305, 2006.

MALLET, A.L.; CARVER, C.E.; LANDRY, T. Impact of suspended and off-bottom Eastern oyster culture on the benthic environment in eastern Canada. **Aquaculture**, 255, p. 362-373, 2006.

MITCHELL, I.M. In situ biodeposition rates of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) on a marine farm in Southern Tasmania (Australia). **Aquaculture**, 257, p. 194-203, 2006).

NAVARRO, J.M.; THOMPSON, R.J. Biodepositions by the horse mussel *Modiolus modiolus* (Dillwyn) during the spring diatom bloom. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 209, p. 1-13, 1997.

NAVAS, J.M.; TELFER, T.C.; ROSS, L.G. Application of 3D hydrodynamic and particle tracking models for better environmental management of finfish culture. **Continental Shelf Research**, 31(6), 675-684, 2011.

O'DONNCHA, F.; HARTNETT, M.; NASH, S. Physical and numerical investigation of the hydrodynamic implications of aquaculture farms. **Aquacultural Engineering**, 52, p. 14-26, 2013.

PÉREZ, Ó. et al. Food and faeces settling velocities of meagre (*Argyrosomus regius*) and its application for modelling waste dispersion from sea cage aquaculture. **Aquaculture**, 420-421, p. 171-179, 2014.

RAZET, D. et al. Variations des productions de biodeposits (feces et pseudofeces) de l'huitre *Crassostrea gigas* dans un estuaire macrotidal: Baie de Marennes-Oleron. **Haliotis (Société Française de Malacologie)**, v. 10, p. 143-161, 1990.

ROBERT, P. et al. Dose-dependent response of a benthic system to biodeposition from suspended blue mussel (*Mytilus edulis*) culture. **Marine Pollution Bulletin**, 66, p. 92-104, 2013.

SCHMITT, J.F. Efeito de diferentes condições ambientais em áreas de cultivo sobre alimentação e biodeposição do mexilhão *Perna perna*. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Curso de Pós Graduação em

Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SEQUEIRA, A. et al. Trade-offs between shellfish aquaculture and benthic biodiversity: A modelling approach for sustainable management. **Aquaculture**, 274, p. 313-328, 2008.

SORNIN, J.M.; DESLOUS-PAOLI, J.M.; HESSE, O. Experimental study of the filtration of clays by oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg): adjustment of particle size for best retention. **Aquaculture**, 69, p. 355-366, 1988.

SUPLICY, F.M. Population and ecophysiological modelling of the cultured mussel *Perna perna*: towards the development of a carrying capacity model. Thesis (Doctor of Philosophy in Aquaculture), University of Tasmania, 2004.

TRISTÃO, F.A.; MORALES, B.R.S.C.; REMBISKI, F.D. Levantamento das potencialidades dos resíduos de conchas de ostra e de mexilhão para fabricação de materiais de construção no Espírito Santo. In: 3º SEMINÁRIO DA REGIÃO SUDESTE SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS e IX SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 2011, Espírito Santo.

TSIHRINTSIZ, V.A. et al. Hydrodynamic modeling and management alternatives in a Mediterranean, fishery exploited, coastal lagoon. **Aquacultural Engineering**, 36, p. 310-324, 2007.

WALKER, T.R. et al. Influence of suspended mussel lines on sediment erosion and resuspension in Lagune de la Grande Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec, Canada. **Aquaculture**, 433, p. 450-457, 2014.

WEISE, A.M. et al. Shellfish-DEPOMOD: Modelling the biodeposition from suspended shellfish aquaculture and assessing benthic effects. **Aquaculture**, 288, p. 239-253, 2009.

WU, Y. et al. A three-dimensional hydrodynamic model for aquaculture: a case study in the Bay of Fundy. **Aquaculture Environment Interactions**, 5, p. 235-248, 2014.