

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL

Luis Felipe Rissetti Odreski

**INFLUÊNCIA HIDROLÓGICA NOS PROCESSOS
HIDRODINÂMICOS DA LAGOA DA CONCEIÇÃO –
FLORIANÓPOLIS - SC**

Florianópolis
2012

Luis Felipe Rissetti Odreski

**INFLUÊNCIA HIDROLÓGICA NOS PROCESSOS
HIDRODINÂMICOS DA LAGOA DA CONCEIÇÃO –
FLORIANÓPOLIS - SC**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do Grau
de Mestre em Engenharia Ambiental
Orientador: Prof. Dr. Davide Franco

Florianópolis
2012

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

Odreski, Luis Felipe Rissetti

Influência hidrológica nos processos hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição [dissertação] / Luis Felipe Rissetti Odreski ; orientador, Davide Franco - Florianópolis, SC, 2012.

120 p. ; 21cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. hidrodinâmica. 3. modelagem numérica. 4. laguna. 5. Lagoa da Conceição. I. Franco, Davide. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

Luis Felipe Rissetti Odreski

**INFLUÊNCIA HIDROLÓGICA NOS PROCESSOS
HIDRODINÂMICOS DA LAGOA DA CONCEIÇÃO –
FLORIANÓPOLIS - SC**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA).

Florianópolis, 01 de outubro de 2012.

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Davide Franco, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Nadia Bernardi Bonumá, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Henrique de Melo Lisboa, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Masato Kobiyama, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luiz Hamilton Pospissil Garbossa, Dr.
Epagri/SC

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio incondicional na busca do meu caminho.

Aos meus irmãos que são sangue do meu sangue e que também deram essa alegria aos meus pais.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Davide Franco, pela atenção, dedicação, orientação, amizade e por transmitir um pouco do seu conhecimento. Sou grande admirador desse carinho.

Ao LaHiMaR e seus “filhos”, lugar onde sempre me senti acolhido e seguro e fiz grandes amizades com parceiros que dividiram e ainda participam do dia-a-dia e batalhas.

Aos grandes amigos Julia Costa Neves e Alejandro Muniz, que assumem papéis muito mais importantes que simples parceiros de trabalho e grandes contribuidores desta tarefa.

Ao José Pereira, praticamente um irmão sempre presente que “lutou” do começo ao fim ao meu lado nessa batalha.

Ao Prof. Masato Kobiyama que sempre se fez disposto a ajudar cedendo equipamentos e atenção técnica sem esperar nada em troca. Sem seu apoio este trabalho não teria chego onde conseguiu.

A Profa. Cláudia Weber que sacrificou seu pouco tempo disponível para contribuir com os projetos que participei.

A todo LabHidro, liderado por Kobiyama, que participou de maneira cooperativa e ativa das mais diversas etapas da minha dissertação, ressaltando nomes como o de Patrícia, Nadine, Roberto, Hermínio, Grizon, Aline, Albert, Leonardo e Joana.

Ao Prof. Ricardo Camargo que se mostrou prestativo e disposto em ajudar e fornecer informações para execução deste projeto.

A todos os amigos que participam da minha vida ativamente e que me fornecem apoio emocional e espiritual.

E a todos que tentam fazer da sua vida um exercício diário em favor da cidadania, ética e bem estar humano e do meio ambiente.

RESUMO

Este estudo visa analisar a influência hidrológica da bacia hidrográfica no comportamento de circulação hidrodinâmica da Lagoa da Conceição, em Florianópolis – SC. Os parâmetros hidrodinâmicos de circulação e dispersão são sensíveis a alterações podendo sofrer mudanças em seu comportamento devido a eventos pluviométricos, regime hidrológico, fontes antrópicas, ventos e a forçantes maregráficas. As lagoas costeiras representam sistemas complexos e sensíveis que envolvem processos de mistura entre águas oceânicas e continentais, fazendo-se necessário identificar e analisar os fenômenos e alterações do ambiente. Os objetivos específicos deste trabalho são: a) Delimitar a área de atuação hidrológica do rio João Gualberto (JG); b) Obter uma série temporal de vazão do principal afluente de água doce da bacia hidrográfica, o rio João Gualberto; c) Modelar as características hidrodinâmicas da Lagoa da Conceição. As metodologias utilizadas são: a) Análise espacial das características físicas da Bacia; b) Campanhas experimentais para coleta de dados hidrológicos, meteorológicos, e de nível de água no interior da laguna; c) Simulação numérica das características hidrodinâmicas do estuário inserindo a componente hidrológica através do Sistema de Modelagem de Água *MOHID*. Os resultados apresentaram que a componente hidrológica é de indissociável avaliação na análise da circulação da laguna da Lagoa da Conceição, atuando em todas suas regiões, com destaque na Lagoa de Cima e de Baixo. Com esta dissertação pode-se construir um banco de dados geográfico local, obter uma série temporal de dados de vazão do rio JG e do nível interno da laguna e produzir gráficos de velocidade, direção e fluxo hidrodinâmico do estuário para diferentes Cenários. O intuito do trabalho é disponibilizar informações que sirvam como subsídios para uma análise ambiental integrada da bacia da Lagoa, visando propor futuras soluções para problemática de eutrofização das águas da laguna.

Palavras-Chave: Processos Hidrodinâmicos; Influência Hidrológica, rio João Gualberto, Lagoa da Conceição; Modelagem Hidrodinâmica; Sistema de Modelagem de Água *MOHID*.

ABSTRACT

This study aims to analyze the influence of hydrological catchment behavior of hydrodynamic circulation of Lagoa da Conceição, Florianópolis - SC. The hydrodynamic parameters of movement and dispersal are sensitive to changes may undergo changes in their behavior due to rainfall events, hydrological regime, anthropogenic sources, wind and tide gauge forcings. The coastal lagoons represent complex systems and sensitive processes involving mixing between oceanic and continental waters, making it necessary to identify and analyze the phenomena and environmental changes. The specific objectives of this work are: a) Mark the field of hydrological João Gualberto river (JG); b) Get a series of flow from the main freshwater tributary basin, the river João Gualberto; c) Modeling the hydrodynamic characteristics of Lagoa da Conceição. The methods used are: a) Spatial analysis of the physical characteristics of the basin; b) experimental campaigns to collect hydrological data, meteorological and water level inside the lagoon; c) Numerical simulation of hydrodynamic characteristics of the estuary entering the hydrological component through the Water Modeling System *MOHID*. The results showed that the hydrological component is inseparable evaluation in the analysis of the Lagoa da Conceição circulation, acting in all regions, especially in the Lagoa de Cima and Lagoa de Baixo. With this dissertation can build a database geographic location, to obtain a time series of data on river flow and JG internal lagoon and produce graphs of speed, direction and hydrodynamic flow of the estuary for different scenarios. The aim of the work is to provide information that serve as input for an environmental analysis of integrated basin of the lagoon, to propose future solutions to problems of eutrophication of the lagoon.

Key-Words: Hydrodynamic processes; Hydrologic Influence, River João Gualberto, Lagoa da Conceição; Hydrodynamic Modeling; Water Modeling System *MOHID*.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Campo de velocidades médias sem descarga hídrica.	12
Figura 2: Campo de velocidades médias com descarga do João Gualberto.....	12
Figura 3: Batimetria da Lagoa da Conceição e seus Sub-sistemas.	15
Figura 4: Elemento de volume finito do modelo <i>MOHID</i> Water.....	22
Figura 5: Fluxograma do trabalho.....	25
Figura 6: Localização da área de estudo.	26
Figura 7: Bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com destaque para a bacia do rio João Gualberto.	30
Figura 8: Mapa de ocupação do solo da Lagoa da Conceição de 2004.....	32
Figura 9: Bairros da Lagoa da Conceição.	33
Figura 10: Local da Instalação dos equipamentos.	34
Figura 11: Estação meteorológica <i>Davis</i> Vantage Pro 2.....	36
Figura 12: Datalogger, caixa com a bateria e painel solar.	37
Figura 13: Instalação do sensor de pressão.	37
Figura 14: Micromolinete marca OTT, modelo C2.	39
Figura 15: Dimensões da seção monitorada.....	40
Figura 16: Medição realizada com micromolinete.....	40
Figura 17: Ponto de instalação do Digilevel.	41
Figura 18: Estrutura do Digilevel.....	41
Figura 19: Série histórica de nível do segundo período do mar simulado pelo modelo GMOC.....	42
Figura 20: Comparação dos níveis medidos de Imbituba e da previsão do modelo GMOC.....	43
Figura 21: Domínio de Simulação do HEC-RAS.	45

Figura 22: Vazão simulada para a seção de monitoramento do rio João Gualberto.	46
Figura 23: Bacia da Lagoa da Conceição identificando as bacias perenes.	47
Figura 24: Discretização da bacia do João Gualberto.	48
Figura 25: Carta Batimétrica do estuário da Conceição.	52
Figura 26: Sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição.	54
Figura 27: Nível inicial das simulações.	55
Figura 28: Campos de salinidade impostos como condição inicial das simulações hidrodinâmicas.	57
Figura 29: Numeração das bacias perenes da Lagoa da Conceição.	60
Figura 30: Chuva acumulada diária registrada na bacia hidrográfica da Lagoa.	63
Figura 31: Nível do rio João Gualberto na seção de monitoramento.	64
Figura 32: Nível interno do estuário da Lagoa da Conceição.	66
Figura 33: Precipitação do Período 2.	67
Figura 34: Nível de água amostrado na seção de monitoramento do rio João Gualberto.	68
Figura 35: Vazão na exutória da bacia do João Gualberto.	69
Figura 36: Histograma de Vazões do rio João Gualberto.	70
Figura 37: Curva de Permanência do rio João Gualberto.	71
Figura 38: Nível interno amostrado da Lagoa da Conceição no segundo período.	72
Figura 39: Nível maregráfico simulado pelo modelo GMOC.	73
Figura 40: Plot dos níveis e vazão da laguna e do rio João Gualberto.	74
Figura 41: Dados de Precipitação, Vazão do João Gualberto e Nível da laguna.	75

Figura 42: Comparação entre o nível do mar medido e simulado na fronteira externa.....	76
Figura 43: Comparação entre dados medido e simulados do nível interno da laguna para forçante com o nível interno.....	77
Figura 44: Comparação entre dados medido e simulados do nível interno da laguna para forçante maregráfica simulada com o GMOC.....	77
Figura 45: Localização dos pontos de níveis avaliados.	78
Figura 46: Níveis máximos, médios e mínimos da laguna para os Cenários forçados com nível interno.....	79
Figura 47: Níveis máximos, médios e mínimos da laguna para os Cenários forçados com a série GMOC.....	80
Figura 48: Comparação dos resultados de velocidade no canal, vazão do JG e nível interno da laguna.	81
Figura 49: Pontos de análise da Lagoa da Conceição.	82
Figura 50: Velocidade média apenas com rio JG e forçante interna em m/s. ..	84
Figura 51: Velocidade média com descarga na bacia e forçante interna em m/s.	84
Figura 52: Velocidade média apenas com rio João Gualberto em m/s.	85
Figura 53: Velocidade média com descarga na bacia em m/s.....	85
Figura 54: Velocidades máximas apenas com rio JG e forçante interna em m/s.	87
Figura 55: Velocidades máximas com descarga na bacia e forçante interna em m/s.....	87
Figura 56: Velocidades máximas apenas com rio JG em m/s.....	88
Figura 57: Velocidades máximas com descarga na bacia em m/s.	88
Figura 58: Dispersão média da velocidade no Cenário base (m/s).	89

Figura 59: Fluxo médio apenas com rio JG e forçante interna em m ³ /s.....	91
Figura 60: Fluxo médio com descarga na bacia e forçante interna em m ³ /s. ...	91
Figura 61: Fluxo médio apenas com rio João Gualberto em m ³ /s.....	92
Figura 62: Fluxo médio com descarga hidrológica na bacia em m ³ /s.....	92
Figura 63: Cortes das seções de análise da laguna.....	93
Figura 64: Fluxo na desembocadura lagunar.	95
Figura 65: Fluxo nas seções 2 e 3.	96
Figura 66: Fluxo nas seções 4 e 5.	97
Figura 67: Comparações de fluxos na desembocadura lagunar.	98
Figura 68: Comparações de fluxos na seção 2.....	98
Figura 69: Comparações de fluxos na seção 3.....	99
Figura 70: Comparações de fluxos na seção 4.....	100
Figura 71: Comparações de fluxos na seção 5.....	101
Figura 72: Fluxo nas células da seção 1.....	102
Figura 73: Fluxo na célula da seção 2.....	102
Figura 74: Fluxo nas células da seção 3.....	103
Figura 75: Fluxo nas células da seção 4.....	103
Figura 76: Fluxo na célula da seção 5.....	104
Figura 77: Salinidade média apenas com rio JG e forçante interna (PSU). ...	106
Figura 78: Salinidade média com descarga na bacia e forçante interna (PSU).	106
Figura 79: Salinidade média apenas com rio JG (PSU).	107
Figura 80: Salinidade média com descarga na bacia (PSU).....	107
Figura 81: Salinidade mínima apenas com rio JG e forçante interna (PSU)..	108
Figura 82: Salinidade mínima com descarga na bacia e forçante interna (PSU).	108

Figura 83: Salinidade mínima apenas com rio JG (PSU)..... 109

Figura 84: Salinidade mínima com descarga na bacia (PSU). 109

Figura 85: Salinidade máxima apenas com rio JG e forçante interna (PSU). 110

Figura 86: Salinidade máxima com descarga na bacia e forçante interna (PSU).
..... 110

Figura 87: Salinidade máxima apenas com rio JG (PSU)..... 111

Figura 88: Salinidade máxima com descarga na bacia (PSU)..... 111

Figura 89: Desvio Padrão da salinidade apenas com rio JG e forçante interna
(PSU). 112

Figura 90: Desvio padrão da salinidade com descarga na bacia e forçante
interna (PSU). 112

Figura 91: Desvio padrão da salinidade apenas com rio JG (PSU)..... 113

Figura 92: Desvio padrão da salinidade com descarga na bacia (PSU). 113

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Climatologia de Florianópolis.....	28
Tabela 2: Método detalhado para o cálculo da velocidade média na vertical. .	38
Tabela 3: Períodos de coleta de dados e simulações hidráulicas.	45
Tabela 4: Descrição dos Cenários simulados.....	50
Tabela 5: Rugosidade absoluta equivalente dos sedimentos de fundo da laguna conforme trabalho de Gré e Horn Filho (1999).	53
Tabela 6: Porcentagem de área das bacias em relação ao João Gualberto.....	61
Tabela 7: Velocidades médias das medições com micromolinete.	65
Tabela 8: Vazões características do rio João Gualberto.....	71
Tabela 9: Características das seções de corte.....	94
Tabela 10: Fluxo / metro por seção segundo Cenário base.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS

BH – Bacia Hidrográfica

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CASAN – Companhia Catarinense de Água e Saneamento

CN – Curve Number

COPPE-RJ - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação

FEMA - Federal Emergency Management Agency

GMOC – Grupo de Modelagem Oceânica

GPS – Global Positioning System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis

JG – João Gualberto

LabHidro - Laboratório de Hidrologia

LaHiMaR – Laboratório de Hidráulica Marítima

LdC – Lagoa da Conceição

LOC – Laboratório de Oceanografia Costeira

MARETEC - Marine Environment & Technology Center

MASTER – Laboratório de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempos Regionais

NRSC - Natural Resources Conservation Service

PIBIC - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica

RAAP – Rede Altimétrica Brasileira de Alta Precisão

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	5
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. OBJETIVO GERAL.....	7
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1 PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO HIDRODINÂMICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO.....	9
3.2 LEVANTAMENTOS E CARACTERÍSTICAS BATIMÉTRICAS DA LAGOA DA CONCEIÇÃO.....	13
3.3 SALINIDADE DA LAGOA DA CONCEIÇÃO.....	16
3.4 SISTEMA DE MODELAGEM HIDRODINÂMICA MOHID.....	19
3.4.1 Aplicabilidade.....	19
3.4.2 Estrutura.....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 FLUXOGRAMA DE TRABALHO.....	25
4.2 EQUIPAMENTOS.....	25
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
4.3.1 Localização.....	26
4.3.2 Clima.....	27
4.3.3. Vegetação.....	28
4.3.4. Geomorfologia.....	29
4.3.5. Hidrologia.....	29

4.3.6. Uso e Ocupação	30
4.4 DADOS	34
4.4.1 Dados Físicos	35
4.4.2 Dados Experimentais	35
4.4.2.1 Dados Meteorológicos - Precipitação	35
4.4.2.2 Dados Hidrológicos do rio João Gualberto	36
4.4.2.2.1 Nível	36
4.4.2.2.2 Velocidade de escoamento.....	38
4.4.2.2.3 Dados de Nível da Laguna	41
4.4.3 Dados Simulados	42
4.4.3.1 Dados Maregráficos	42
4.4.3.2 Vazão no ponto de medição	44
4.5 MODELAGEM ESPACIAL	46
4.6 MODELAGEM HIDROLÓGICA	47
4.7 MODELAGEM HIDRODINÂMICA	49
4.7.1 Cenários	49
4.7.2 Condições de fronteira	50
4.7.3 Batimetria	51
4.7.4 Grade de Cálculo	52
4.7.5 Rugosidade de Fundo	53
4.7.6 Condições Iniciais	54
4.7.6.1 Nível da laguna	54
4.7.6.2 Salinidade	55
4.7.6.3 Maré	57
5. RESULTADOS E CONCLUSÕES	59
5.1 DESCARGAS HIDROLÓGICAS DAS BACIAS PERENES	59

5.2 ANÁLISE PRIMÁRIA DOS DADOS	61
5.2.1 Período 1	62
5.2.1.1 Precipitação	62
5.2.1.2 Nível do João Gualberto	63
5.2.1.3 Velocidade de escoamento	64
5.2.1.4 Nível da Lagoa da Conceição	65
5.2.2 Período 2	66
5.2.2.1 Precipitação	66
5.2.2.2 Nível do rio João Gualberto	67
5.2.2.3 Vazão do Rio João Gualberto	68
5.2.2.3.1 <i>Distribuição dos Valores de Vazão</i>	69
5.2.2.3.2 <i>Curva de Permanência</i>	70
Devido à falta de dados hidrológicos durante o período do aquecimento do modelo numérico, foi estabelecida a vazão Q95, aqui calculada, como descarga fixa do rio João Gualberto para esta etapa da modelagem.	72
5.2.2.4 Nível da Lagoa da Conceição	72
5.2.2.5 Oscilação Maregráfica	73
5.2.2.6 Comportamento das variáveis	73
5.2.2.7 Comparação dos dados	74
5.3 MODELAGEM HIDRODINÂMICA	75
5.3.1 Aquecimento	75
5.3.2 Níveis de água	76
6.3.2.1 Nível Interno	76
6.3.2.2 Níveis Máximos, Médios e Mínimos	78
5.3.3 Velocidade	80
5.3.3.1 Velocidade no Canal da Barra	80
5.3.3.2 Velocidade Média	81
5.3.3.3 Velocidades Máximas	86

5.3.3.4 Dispersão Média	88
5.3.5 Fluxo	89
5.3.5.1 Fluxo Médio	89
5.3.5.2 Fluxo nas Seções de Corte.....	92
5.3.6 Salinidade.....	104
5.3.6.1 Salinidade Média	105
5.3.6.2 Salinidade Mínima	107
5.3.6.3 Salinidade Máxima.....	109
5.3.6.4 Desvio Padrão da Salinidade	111
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	118

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A componente hidrológica caracteriza-se por ser de importante conhecimento na análise dos processos de mistura que acontecem em sistemas estuarinos. As constantes mudanças naturais no regime hidrológico e as variações na descarga de água alteram o comportamento de estuários, provocando modificações diretas nos padrões de circulação hidrodinâmica, concentrações, circulação, tempo de residência e no fornecimento de materiais particulados.

A ocupação urbana dentro de bacias hidrográficas estuarinas tende a transmitir consequências antropogênicas ao meio, emitindo contaminantes aos corpos d'água e degradando a qualidade do sistema. A complexidade destas regiões faz com que as variações de suas propriedades físicas e de seu comportamento aconteçam com grande variabilidade no tempo e espaço. Lagunas costeiras são regiões com grande dinâmica de águas, envolvendo interações entre as fontes salinas oceânicas e doces do ambiente terrestre.

A Lagoa da Conceição é definida como um ambiente lagunar, tendo sua ligação com o mar assegurada pelo canal da Barra da Lagoa. Ao longo dos últimos anos, ela tem sido vítima da pressão urbana, que suprime matas ciliares, aumenta a ocupação marginal e altera a cobertura terrestre. As consequências do desenvolvimento desenfreado, sem a preocupação com a manutenção do meio, modificam o regime hidrológico da bacia hidrográfica, aceleram o processo de assoreamento e comprometem a qualidade da água do estuário, devido ao aporte de cargas externas de poluição (ROCHA, 2007).

O dever de incentivar o estudo e a pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais é uma obrigação pública que deve estar presente nas ações governamentais conforme princípios da Política Nacional de Gerenciamento Costeiro (BRASIL, 1988), Política Nacional dos Recursos Hídricos (BRASIL, 1977) e da Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981).

Levando todos os argumentos anteriormente citados em consideração, o Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMaR), integrante do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, iniciou no ano de 2005, uma série de pesquisas científicas no estuário da Lagoa da Conceição envolvendo ao longo do caminho parcerias com a Organização

Internacional de Pesquisa e Consultoria *DHI Water & Environment*, o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica *PIBIC* e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior *CAPES*.

O intuito do trabalho aqui apresentado é realizar uma investigação aprofundada das relações que envolvem a bacia hidrográfica, o reservatório e as forçantes oceanográficas que atuam na laguna, a fim de disponibilizar informações que sirvam como subsídios para uma análise ambiental integrada da Lagoa da Conceição, visando propor soluções futuras para problemática de eutrofização de suas águas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a influência hidrológica no comportamento hidrodinâmico da Lagoa da Conceição.

2.2. Objetivos Específicos

- Modelar os processos de circulação hidrodinâmica do estuário inserindo descargas hidrológicas da bacia do rio João Gualberto e demais bacias perenes;
- Verificar a possibilidade de operacionalização do modelo utilizando dados do modelo de previsão de nível maregráfico GMOC.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem a funcionalidade de fornecer um embasamento prévio ao leitor dentro do contexto discutido neste trabalho. A seguir, serão abordados nesta revisão Processos de Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição, Levantamentos e Características Batimétricas da Lagoa da Conceição, Salinidade da Lagoa da Conceição e o Sistema de Modelagem Hidrodinâmica *MOHID*.

3.1 Processos de Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição

A Lagoa da Conceição (LdC) é uma laguna estrangulada, ligada ao mar pelo Canal da Barra da Lagoa, formando um sistema estuarino caracterizado por ecossistemas localizados na interface oceano/terra e, por isto, complexos e altamente produtivos. Nos estuários ocorrem importantes processos de mistura da água continental e oceânica. Esses, enquanto zonas de transição entre ambientes marinhos e fluviais, terrestres e aquáticos, estão sujeitos às transformações nas mais diversas escalas de tempo e espaço e são altamente sensíveis à influência antropogênica (KRUG e NOERNBERG, 2005).

Sierra de Ledo e Soriano-Serra (1999) reuniram levantamentos técnicos e estudos científicos sobre o ecossistema da Lagoa da Conceição. Eles apresentam trabalhos referentes aos processos hidrodinâmicos, como o levantamento batimétrico realizado por Muehe e Gomes Jr (1999) referente ao ano de 1983, a caracterização textural dos sedimentos de fundo da laguna (GRÉ e HORN FILHO, 1999), o estudo preliminar das marés na Lagoa da Conceição (KLINGEBIEL e SIERRA de LEDO, 1999) e os atributos e processos condicionantes da hidrodinâmica na laguna (SIERRA de LEDO e SORIANO SIERRA, 1999).

Com o intuito de estudar a circulação hidrodinâmica da Lagoa da Conceição, através dos padrões médios de circulação e dos perfis de velocidade da água, e determinar as principais forçantes do escoamento, Andrade (2001) comparou Cenários influenciados pelo vento local e pela maré astronômica atuantes na região realizando a análise do comportamento do corpo lagunar quanto à sua oscilação natural

decorrente da incidência de ventos, determinando os períodos e amplitudes dos seiches formados em seu interior. Ficou evidente que os padrões de circulação da LdC são fortemente influenciados pela ação do vento, com destaque nos compartimentos sul e norte. Grandes velocidades de escoamento foram verificadas no canal da Barra, com brusca redução de intensidade na saída do mesmo e no interior da laguna. Segundo ele, os níveis máximos dentro do estuário acontecem com uma defasagem de 4 horas após a preamar na entrada do canal.

Estudos quantitativos dos parâmetros hidrodinâmicos de direção e intensidade de corrente e físico-químicos como salinidade, temperatura, pH e turbidez das águas do Canal da Barra da Lagoa, foram realizados por Pereira (2004). As temperaturas apresentaram variação de curto período, relacionada à intrusão de água salina e a salinidade. Elas tiveram uma variabilidade entre polihalina e euhalina, apresentando estratificação com camadas superficiais menos salinas. Além da maré astronômica, podem-se verificar correntes internas no canal relacionadas com maré meteorológica e, associando as correntes com material em suspensão e turbidez, o canal se mostrou fornecedor de sedimentos para a laguna.

Em 2004, dando início às atividades do Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMar) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) na Lagoa da Conceição, dentro de uma linha de pesquisa voltada ao estudo da circulação e dispersão da água e suas propriedades, em ambientes estuarinos e costeiros do litoral de Santa Catarina. Koefender (2005) realizou a análise numérica da influência batimétrica no padrão de circulação hidrodinâmica da laguna, comparando levantamentos topobatimétricos de dois períodos diferentes. Em seu trabalho, ele concluiu que as modificações bruscas do perfil batimétrico lagunar são os principais responsáveis nos processos hidrodinâmicos locais, causando perda de energia por atrito e aumento das velocidades de escoamento.

Lino (2005), por sua vez, estudou a influência relativa das variações do nível do mar na faixa astronômica e meteorológica sobre a hidrodinâmica da Lagoa. Suas conclusões relatam que as variações de fluxo e elevações de nível no interior da laguna possuem grande influência da maré meteorológica, da qual se sobrepõe a atuação das ações astronômicas do mar.

A implementação de um estudo hidrodinâmico com a calibração dos dados modelados foi realizada por Rocha (2007). Para esse fim, em

2006, foram realizadas várias campanhas de duração mensal de medição de nível e corrente em pontos interiores ao corpo de água onde, desde 2005, opera uma estação meteorológica automática na Barra da Lagoa. O autor concluiu que 90% da energia total da maré astronômica é atenuada ao longo do canal da Barra da Lagoa e que o tempo de residência para o nível astronômico sobe 50% em relação ao nível medido com a incidência de vento.

A partir do final de 2005 os estudos ampliaram-se para a bacia da Lagoa da Conceição, com o objetivo de caracterizar o uso e cobertura das terras na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição e verificar possíveis tendências na caracterização temática. Os trabalhos utilizaram técnicas de geoprocessamento a partir de fotografias aéreas da região referentes ao ano de 2004 (GODOY *et al*, 2006; GODOY, 2007) e de 1998 (ODRESKI, 2007). Foi concluído que o espaço urbano entre 1998 e 2004 sofreu um incremento de aproximadamente 15% de área, tomando regiões onde se verificou a supressão de vegetação que se reduziu cerca de 2% em toda a bacia hidrográfica do estuário.

Os trabalhos de Godoy (2009) e Silva (2010) visaram investigar a influência da descarga pontual do rio João Gualberto sobre a penetração do nível oceânico na laguna, com modelagem hidrológico-hidrodinâmica do corpo de água. Com base em medições meteorológicas, criou-se uma série temporal de vazões sintéticas, por meio de aplicação do modelo Curva Número (CN) do Natural Resources Conservation Service (NRSC) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Foi realizada a análise harmônica e espectral dos níveis resultantes de simulações modeladas com o modelo hidrodinâmico *MOHID* (MARETEC, 2009), com simulação de três Cenários: o primeiro com atuação única do nível maregráfico medido em mar aberto; o segundo com o nível medido em mar aberto e uma descarga de vazão permanente e igual a $1 \text{ m}^3/\text{s}$ no rio João Gualberto; e o terceiro Cenário modelado com o nível maregráfico medido e descarga variável no tempo, de acordo com o regime pluviométrico, com média no período igual a $1 \text{ m}^3/\text{s}$, no mesmo rio.

A análise harmônica dos constituintes astronômicos e a análise espectral do nível meteorológico, segundo Godoy (2009), possibilitou a comparação da atenuação da onda de maré no Canal da Barra da Lagoa nas três simulações realizadas, indicando que:

a) A componente astronômica do nível oceânico é quase totalmente dissipada no canal da Barra da Lagoa e a penetração desse

sinal na laguna não vem afetada significativamente pelo valor da descarga pontual do Rio João Gualberto;

b) A penetração da componente meteorológica do nível oceânico é profundamente afetada não só pelo valor médio da vazão pontual, mas também pela sua evolução temporal.

As simulações forçadas somente com o nível externo, descritas por Silva (2010), mostraram vórtices de circulação em regiões próximas ao canal da barra na Figura 1. Assim que as descargas do rio João Gualberto foram inseridas nas modelagens, as correntes residuais se alternaram, promovendo um sentido originado ao norte e seguindo próximo à costa oeste do estuário rumo à região central da Lagoa, conforme visto na Figura 2. Dessa forma, os vórtices previamente originados dissiparam-se, modificando a hidrodinâmica residual.

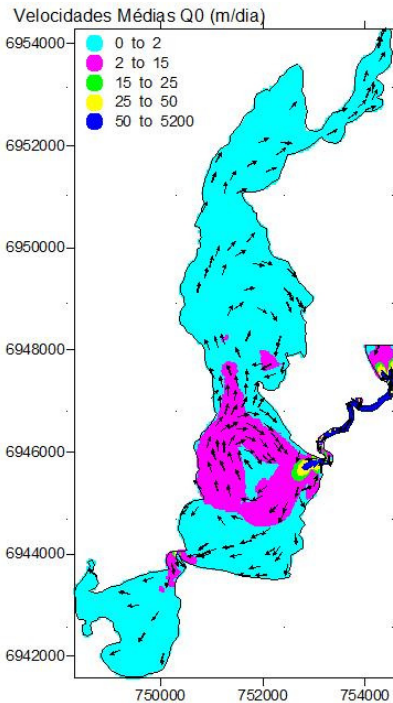


Figura 1: Campo de velocidades médias sem descarga hídrica.

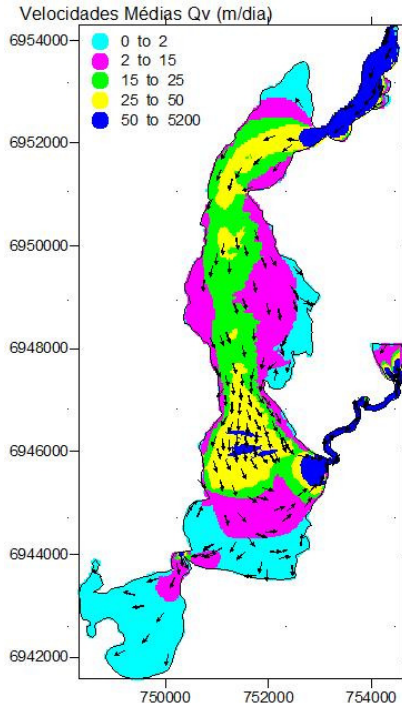


Figura 2: Campo de velocidades médias com descarga do João Gualberto.

Os trabalhos concretizados evidenciaram a importância que a componente hidrológica do rio João Gualberto tem sobre a circulação local, justificando um estudo mais aprofundado sobre sua hidrologia e a interação com a laguna, com futura promoção dos trabalhos para toda bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.

Como conclusão dos trabalhos de pesquisa realizados até o momento pode-se afirmar que processos em escala meteorológica são os que mais afetam padrões hidrodinâmicos na lagoa da Conceição.

Do lado oceânico, a passagem de um sistema frontal consegue provocar na costa superelevações do nível do mar, que tendem fortalecer o gradiente entre níveis externo e interno e favorecer o enchimento da Lagoa. Entretanto, a entrada de frentes frias é frequentemente acompanhada por precipitações intensas, provocando a subida do nível interno da lagoa e se opondo ao gradiente devido ao nível meteorológico oceânico. Ao contrário, rebaixamentos do nível médio do mar devido a perdurar de condições de vento de NE, sob a direta influência do centro de alta do Atlântico Sul, favorecem o esvaziamento da laguna.

Uma análise dos processos hidrodinâmicos de advecção e dispersão na Lagoa da Conceição deve, portanto, considerar necessariamente a evolução no tempo de descargas pontuais ao redor do corpo de água.

3.2 Levantamentos e Características Batimétricas da Lagoa da Conceição

Os primeiros estudos relacionados à hidrodinâmica da Lagoa da Conceição se pautaram em realizar uma caracterização geo-morfológica da laguna. Neste contexto, foi no ano de 1983 que Muehe e Gomes Jr (1999) realizaram o primeiro estudo batimétrico do corpo d'água. O levantamento foi feito percorrendo 32 perfis longitudinais ao eixo norte-sul da Lagoa, utilizando ecobatímetro, bússola e dois teodolitos. A metodologia usada provoca erros de georeferenciamento dos dados, não garantindo precisão no produto final.

A necessidade de dados mais atuais e precisos sobre a batimetria da Lagoa da Conceição, para novos estudos, fez com que, no ano de 2001, a empresa Aerolevantamentos e Consultoria S/A, a serviço do

Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF), realizasse um novo levantamento batimétrico (Aeroconsult, 2001).

O trabalho da Aeroconsult (2001), foi feito usando oito cartas batimétricas na escala de 1:2.000, georeferenciadas ao Datum SAD-69 e contendo a linha de costa da Lagoa da Conceição e do Canal da Barra da Lagoa. O estudo utilizou um ecobatímetro da marca ODOM, modelo SDH 13A, que mede na faixa de 0,5m a 120m.

Foi realizada a medição de 527 perfis transversais ao sentido norte-sul do corpo lagunar, coletando dados em tempo instantâneo de profundidade e localização com auxílio de um aparelho GPS.

O resultado deste levantamento apresentou duas falhas: alguns pontos no extremo norte da Lagoa ficaram deslocados devido a um erro de georeferenciamento e a linha de costa da Avenida das Rendeiras foi traçada equivocadamente sobre o limite de um baixio existente, não revelando a correta margem do espelho de água. A equipe do LaHiMaR saiu a campo com auxílio de embarcação e GPS para corrigir as incongruências apresentadas e os resultados estão apresentados no trabalho de Godoy (2009).

Os estudos anteriores apontam que a orografia local influencia diretamente o fundo lagunar. As íngremes costas do lado oeste coincidem com as maiores profundidades do extremo oeste da Lagoa, atingindo valores máximos de até 8,7 m. Já a leste, os cordões arenosos da margem contrastam com profundidades menores da laguna, alcançando valores de 0,5 m. Assim, as seções no sentido leste-oeste do estuário são assimétricas. A profundidade média encontrada é de 1,7m, sendo que 44% do fundo possui profundidade superior a 4,0m e 29%, valores menores que 1,0m.

Sierra de Ledo *et al* (1999), seguindo o formato físico da Lagoa da Conceição, dividiram a laguna em três compartimentos: Lagoa de Cima ou Subsistema Norte, Lagoa do Meio ou Subsistema Central e Lagoa de Baixo ou Subsistema Sul, conforme a Figura 3.

A lagoa de cima se caracteriza em geral como rasa e estreita e sua batimetria sofre bastante influência do rio João Gualberto, que desemboca no extremo norte do estuário.

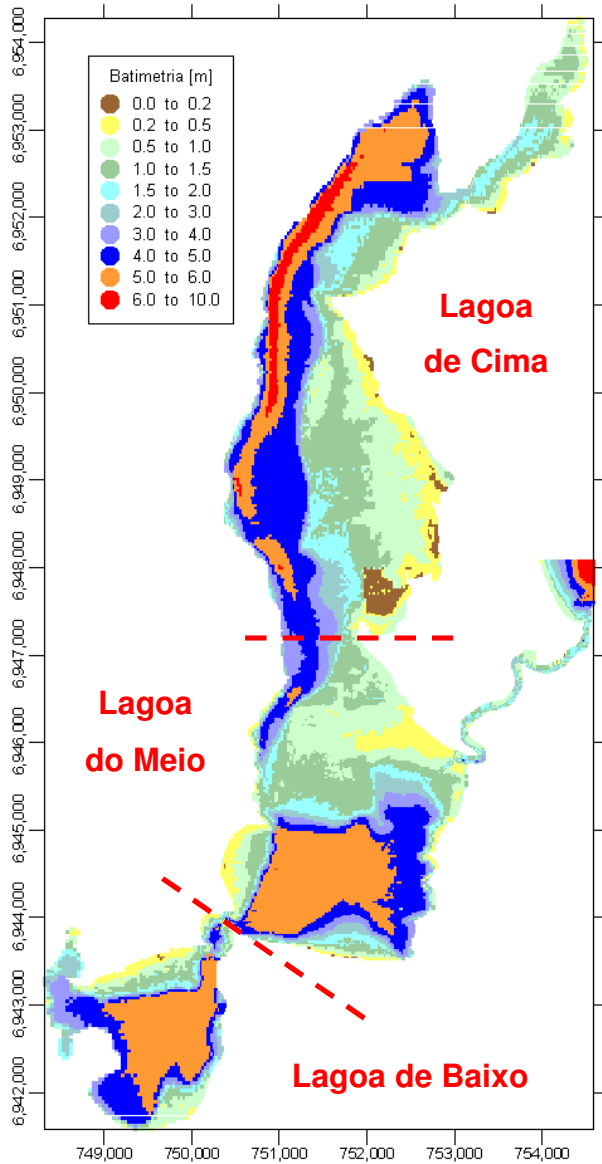


Figura 3: Batimetria da Lagoa da Conceição e seus Sub-sistemas.

Fonte: Silva, 2010.

Na Lagoa do Meio, os perfis transversais são assimétricos, com profundidade média de 5,0 m. Observa-se a existência de um banco de areia na margem sul, consequência do acúmulo de material proveniente das dunas.

A Lagoa de Baixo tem semelhanças com a lagoa do meio. O perfil transversal é simétrico, a profundidade média é de 5,0 metros e existe a formação de depósitos de sedimentos no lado noroeste.

3.3 Salinidade da Lagoa da Conceição

Devido aos vários processos que atuam em lagunas costeiras, esses ecossistemas são ambientes com grande dinâmica, apresentando ampla variação espaço-temporal de suas propriedades e comportamento.

Dentre as propriedades físicas da água oceânica, a salinidade tem grande destaque. Juntamente com a temperatura e pressão, elas são responsáveis por determinar a densidade da água, que influencia nos processos hidrodinâmicos aquáticos. “A salinidade da água oceânica é essencialmente a medida de sais dissolvidos em um quilograma de água” (POND *et al*,1995).

Assad *et al* (2009) descrevem que a salinidade da água tem uma correlação diretamente proporcional a densidade da água e sua distribuição horizontal é altamente dependente dos processos de precipitação e evaporação. Outro fator de fundamental importância na concentração salina da água, destacando os estuários e zonas costeiras, é o aporte de água doce, do qual faz decrescer seus níveis. Quanto sua variabilidade vertical, pode-se observar em ambientes estuarinos águas fluviais menos densas na superfície e águas salinas mais densas no fundo.

Segundo Prandle (2009) a intrusão salina em estuários é governada pela amplitude da maré, descargas de água doce e batimetria, podendo sofrer alterações devido a atividades de dragagem, obras costeiras e alterações no fluxo normal de rios. Essas intervenções humanas no sistema natural pode ocasionar implicações relacionadas a qualidade de água, sedimentação e dispersão de poluentes.

Laurenti (2011) elaborou em seu trabalho uma pesquisa que tinha o objetivo de compor séries históricas relativas a dados ambientais ou antrópicos da Lagoa da Conceição. No projeto, foram realizados levantamentos bibliográficos relativos a aspectos físico-químicos, químicos e biológicos e, com base neles, foi construída uma tabela

relatando dados de salinidade da laguna publicados em trabalhos e artigos desde o ano de 1979 até os dias atuais. As informações descritas abaixo foram retiradas do documento feito por Laurenti (2011).

Assumpção (1979, apud Laurenti, 2011) e Assumpção *et al* (1981, apud Laurenti, 2011) obtiveram dados de salinidade efetuando medições a partir de 43 estações espalhadas dentro do corpo da Lagoa, sendo 12 delas na parte norte da mesma, 22 no corpo central e 9 no subsistema sul. Esse número de estações inclui algumas amostras obtidas em um mesmo ponto, mas em profundidades diferentes. Os resultados publicados apresentaram uma média de salinidade de 10,29 PSU para o norte, 13,59 PSU para o corpo central e 7,08 para o subsistema sul.

No ano de 1987 e 1988, Persich (1990) apud Laurenti (2011) realizou novas medições de salinidade encontrando valores médios para o norte da Lagoa de 30,4PSU, 32,1 PSU para o centro lagunar e 28 PSU para o sistema sul.

A próxima pessoa a abordar o tema foi Panitz *et al* (1999) apud Laurenti (2011) que fizeram uma síntese das principais características físico-químicas da água e dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição. Eles realizaram campanhas de medição de dados do estuário durante os anos de 1997, 1998 e 1999 e os meses de verão e inverno. Foram encontradas médias anuais de salinidade para o ano de 1997 de 24,5 PSU no lado norte, 28,9 PSU na parte central e 19,59 PSU no lado sul da laguna.

Em 2000, Fonseca *et al* (2002) analisaram a distribuição espacial de nutrientes inorgânicos e biomassa fitoplanctônica na Lagoa da Conceição. Separando a lagoa em três setores, norte, centro e sul, eles realizaram uma campanha de amostragem no início da primavera coletando dados em três regiões rasas e três profundas de cada setor, totalizando um total de 18 estações. A salinidade foi medida utilizando TSD e os valores médios foram de 28 para o norte, 29 no centro e 24 no setor sul.

Fonseca (2004) escreveu em sua tese a variação sazonal e espacial das características hidroquímicas na interface água-sedimento da laguna da Conceição. Seguindo o campo de amostragem descrito em seu trabalho anterior, ela acrescentou nas amostragens dados coletados no verão, inverno e primavera, obtendo informações ao longo das 4 estações do ano. Foram realizadas médias de salinidade para os períodos

de primavera-verão e outono-inverno, onde o primeiro valor foi 21,8 e o segundo 26,6.

Na sua dissertação de mestrado, Fontes (2004) apud Laurenti (2011) estudou o impacto de duas datas importantes (carnaval e Corpus Christi) que faz com que a cidade de Florianópolis receba uma grande quantidade de turistas, nas variáveis ambientais das águas da Lagoa da Conceição. Ele setorizou a Lagoa em 4 regiões chamadas de Sul (S), Centro-Sul (CS), Centro-Norte (CN) e Norte (N) e efetuou campanhas de monitoramento durante os meses de fevereiro e março do verão e junho e julho do inverno, ambos do ano de 2003, e coletou amostras da superfície e fundo de cada região. Para o verão, Fontes encontrou valores médios de salinidade de 25,5 PSU para o setor S, 29,7 PSU para CS, 27,4 PSU no CN e 27,2 PSU no N. Já para o inverno, as médias foram de 25,8 PSU no S, 29,3 para o CS, 28,9 PSU no CN e 23,4 no setor N.

Dois anos depois, Fontes *et al* (2006, apud Laurenti, 2011) publicaram um artigo baseado nos mesmos dados adquiridos no verão de 2003 para a dissertação de Fontes descrita no parágrafo anterior. O trabalho relata a detecção de impactos ambientais na variação de nutrientes dissolvidos e clorofila na laguna da Conceição, regionalizando o estuário em Sul (S), Centro-Sul (CS) e Norte (N). Os resultados foram apresentados com valores de salinidade média para os dias anteriores e posteriores ao período de carnaval daquele ano, encontrando 24,7 PSU no S, 26,4 PSU na região CS e 26,1 PSU no setor N antes do feriado e 23,2 PSU na parte S, 28,4 PSU no CS e 28,2 PSU área N.

Mantendo a área e linha de pesquisa, Fontes *et al* (2008, apud Laurenti, 2011) analisaram a variação espaço-temporal do desenvolvimento bacteriano nas águas rasas subtropicais da Lagoa da Conceição. A Lagoa foi dividida em 4 áreas, Sul (S), Centro-Sul (CS), Centro-Norte (CN) e Norte (N), e em cada uma delas foram efetuadas campanhas de monitoramento no meses de julho de 2005 e janeiro de 2006. As médias para a salinidade encontradas durante o verão e inverno, respectivamente, foram de 19,2 e 24 PSU no S, 28,2 e 30,5 PSU na área CS, 25,3 e 28,2 PSU na região CN e 24,9 e 27,2 PSU no setor N.

3.4 Sistema de Modelagem Hidrodinâmica *MOHID*

As informações aqui descritas sobre o sistema de modelagem *MOHID* foram retiradas dos manuais do software (MARETEC, 2007).

O estudo aqui apresentado utilizou o Sistema de Modelagem de Água em 3 dimensões *MOHID*, elaborado pelo Centro de Pesquisas em Tecnologias Marinhas e Ambientais (MARETEC), pertencente a Universidade Federal de Lisboa (Portugal).

O modelo foi desenvolvido utilizando uma linguagem de programação orientada a objetos, permitindo a adoção de uma filosofia de modelagem integrada para processos físicos e geoquímicos, escalas distintas e sistemas estuarinos e bacias hidrográficas.

3.4.1 Aplicabilidade

O sistema *MOHID Water* vem sendo aplicado em zonas costeiras e ambientes estuarinos em várias regiões do planeta. Seus resultados mostram ser uma ferramenta confiável para estudos hidrodinâmicos, aonde uma série de artigos científicos vem ganhando espaço em importantes revistas internacionais.

O software é uma ferramenta gratuita e de código aberto, facilitando sua otimização e cooperação técnica entre seus usuários. Isto tem ajudado a disseminar o sistema, aplicando-o em novas regiões e sendo cada vez mais difundido dentro da comunidade científica global e ganhando espaço no ramo privado das consultorias ambientais.

Kenov *et al* (2012) utilizaram o modelo numérico *MOHID Water* para avaliar o tempo de residência das águas no interior do estuário Mondego, localizado em Portugal. Para isso, eles utilizaram duas metodologias diferentes para calcular o tempo de concentração, onde a primeira baseia-se em dados de campo e um modelo de fracção de água doce, e a segunda, em um modelo de transporte lagrangeano. Foram construídos vários cenários, dos quais, aplicaram-se o modelo lagrangeano a fim de investigar o histórico de renovação das águas e a influência da água doce em fluxos e fatores geomorfológicos sobre o tempo de residência. Os resultados apresentaram que o fator principal atuante nos processos de renovação das águas é o fluxo de água doce, realizado pela descarga do rio no interior do estuário.

No ano de 2012, Fossati *et al* publicaram um estudo que visou analisar os processos de circulação hidrodinâmica no ambiente estuarino

do Rio de La Plata e na zona costeira de Montevidéu, Uruguai. No trabalho, eles aplicaram o sistema *MOHID Water*, através de uma modelagem hidrodinâmica 3D, que foi calibrada e validada considerando as forçantes maregráficas meteorológicas e astronômicas, descargas de água doce e a atuação do vento. Na parte de campo, seis marégrafos foram instalados em diferentes pontos para monitoramento da coluna de água e medições de perfis verticais de velocidade foram realizadas em quatro localidades. A calibração foi feita em duas etapas, sendo que a primeira consistiu na propagação da onda de maré astronômica, comparando-a com os constituintes harmônicos observados e calculados da elevação da superfície do mar, e a segunda, calibrou-se o modelo com a propagação da onda de maré astronômica e meteorológica. Os resultados da calibração apresentaram boa eficiência, com erro quadrático médio menor que 20% dos dados coletados e a correlação superior a 0,74, e as magnitudes e direções das velocidades mostraram erros próximos á 30%. Eles observaram que a circulação das águas da zona costeira mostraram padrões complexos e comportamentos diversificados, influenciados pelas variações da linha de costa. Além disso, a hidrodinâmica residual do Rio de La Plata apresentou uma circulação de fundo dominada pela descarga fluvial e a entrada do sal no estuário é fortemente relacionada com a topografia, ocorrendo predominantemente pelo canal oriental da costa Uruguayana.

No estuário de Óbitos, Portugal, Malhadas *et al* (2009) verificaram a influência das ondas costeiras no nível de água. O ambiente se caracteriza como um ambiente lagunar, interligado com o mar por um canal estreito e raso. Para tarefa, foram feitas observações de dados ambientais coletados em campo, seguidos de modelagem numérica hidrodinâmica utilizando o sistema *MOHID Water*. Os resultados obtidos entre os dados monitorados e modelados se mostraram coerentes. A hidrodinâmica da laguna é influenciada tanto pela maré, quanto pelas ondas, onde a primeira se responsabiliza por 80% do nível interno do estuário, enquanto a segunda por 20%. Durante eventos de ondas de tempestades, o nível do estuário responde com uma super-elevação, também sensível a morfologia do canal de acesso.

Visando analisar os fenômenos hidrodinâmicos que ocorrem no canal do Espinheiro, situado na zona costeira de Portugal, que conecta as águas doces continentais e salinas oceânicas, Vaz *et al* (2009) implementaram e aplicaram a ferramenta *MOHID Water* em 3 dimensões. O intuito foi de simular numericamente 4 períodos distintos,

onde a influência da maré e as descargas de água doce apresentaram grande variabilidade, contrastando os resultados com dados medidos *in situ* para situações de níveis baixo, médio e alto do rio. As respostas do modelo mostraram-se seguir o comportamento real do canal, com coeficientes de correlação acima de 0,85 para nível e velocidade.

3.4.2 Estrutura

O *MOHID* possui 3 ferramentas de simulação: água, terra e solo, que utilizadas de maneira integrada permitem analisar o ciclo da água em uma abordagem integral.

O sistema de modelagem possui 4 grandes categorias de módulos, cada qual com um objetivo específico. Elas estão relacionadas com:

1. Malha computacional de cálculo: destaque para o módulo *Bathymetry*, que carrega os dados de batimetria e os converte em informação matricial;
2. Gerenciamento da entrada e saída de dados numéricos;
3. Condições de fronteira;
4. Variáveis de estado do modelo.

3.4.2.1 Módulo Bathymetry

É um dos módulos mais baixos do sistema *MOHID* e sua função é basicamente ler dado de batimetria de um arquivo de entrada ASCII e retransmiti-lo aos outros módulos.

3.4.2.2 Módulo Geometry

3.4.2.2.1 Generalidades

Ele calcula as áreas laterais e volumes do volume finito, baseado na superfície de elevação e no dado batimétrico. A informação é atualizada conforme necessária e retransmitida aos outros módulos.

usado para simular processos hidrodinâmicos em oceanos, zonas costeiras, estuários, lagoas e barragens de água.

O módulo hidrodinâmico do sistema *Mohid* resolve as equações primitivas do movimento no espaço tridimensional. A discretização espacial destas equações é feita utilizando volumes finitos, conforme descrito anteriormente.

As equações 1, 2, 3 e 4 descrevem o balanço da quantidade de movimento e da continuidade, descritas nas três direções e em coordenadas cartesianas, respectivamente, estão representadas a seguir:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f_c v = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f_c u = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

Onde: o tempo é t ; u, v, w são as componentes da velocidade; f é o parâmetro de Coriolis; p é a pressão; ρ é a densidade da água; g é a aceleração da gravidade; A_H e A_V são a viscosidade cinemática turbulenta na horizontal e vertical, respectivamente.

As equações são aplicadas a cada volume de controle, onde a velocidade horizontal e vertical são calculadas através da equação da quantidade de movimento e da equação da continuidade, respectivamente.

O modelo possibilita estabelecer condições de fronteira abertas, fechadas e móveis, das quais, a primeira opção pode ser forçada pela imposição de fluxo, a segunda não possui troca de massa e a terceira tem fronteiras fechadas evolutivas ao longo do tempo e possibilitam representar áreas intertidais em estuários.

O módulo Hydrodynamic possui outros módulos integrados que descrevem parâmetros que influenciam na circulação de fluidos, como propriedades da água, atmosfera, interface água e ar, interface água e sedimento e qualidade da água. A seguir, se apresenta um breve relatório sobre os principais módulos.

A) Módulo WaterProperties

Neste módulo é onde se define as propriedades da água e onde se gerencia a evolução temporal delas ao longo do perfil vertical. Ele está relacionado diretamente com as condições de fronteira, os transportes difusivo e advectivo e com a qualidade da água.

Neste trabalho foram unicamente incorporadas as simulações das variações na densidade da água relacionadas com a alteração da salinidade ao longo do corpo de água, incluindo descargas de água doce em ambiente salino e influência salina do mar no estuário da Lagoa da Conceição.

B) Módulo InterfaceSedimentWater

Calcula o fluxo entre a água e o sedimento de contato. Aqui é onde se pode estabelecer valores de rugosidade de fundo.

C) Módulo Turbulence

Este módulo computa as viscosidades horizontal e vertical, fornecendo para os outros módulos a energia cinética turbulenta e o comprimento de mistura. Para isso, o sistema possibilita a realização dos cálculos através de modelos empíricos, modelos de comprimento de mistura e modelos que resolvem as equações para a energia cinética turbulenta e comprimento de mistura.

D) Módulo Discharges

Módulo onde se impõem descargas de massa ou momento em uma célula ou domínio.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Fluxograma de Trabalho

A Figura 5 apresenta o fluxograma do projeto e descreve as fases e etapas que foram seguidas até a conclusão final.

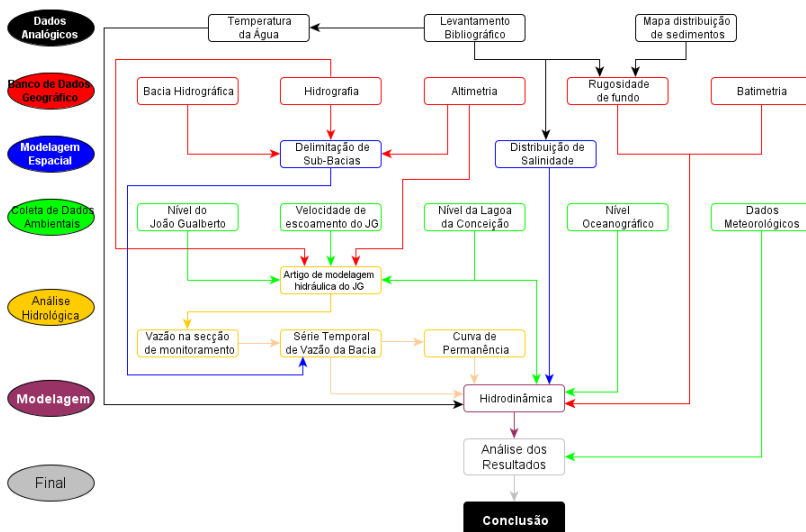


Figura 5: Fluxograma do trabalho.

4.2 Equipamentos

A seguir, estão descritos os equipamentos utilizados na execução do projeto. São eles:

- Computador com processador *Intel QuadCore*, com 4 Gb de memória Ram e HD de 500 Gb;
- Computador com processador *Intel core2duo*, com 2 Gb de memória Ram e HD de 250 Gb;
- Sensor de Pressão e Datalogger *Solar Instrumentação SL2000*;
- Marégrafo *DIGILEVEL*, desenvolvido pela COPPE-RJ, com 2,80 de altura e sensores espaçados em 1,

- Micromolinete *Hidromec*;
- Estação meteorológica *Davis*, com sensores de chuva, temperatura, pressão atmosférica, radiação, intensidade e direção do vento e umidade;
- GPS *Garmin GPSMAP 76CSx*.

4.3 Caracterização da área de estudo

4.3.1 Localização

A bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição abrange uma área total de 116,78 km², sendo 96,21 km² de área territorial. Localiza-se na região centro-leste da Ilha de Santa Catarina e se situa entre os paralelos 27° 27' 17'' e 27° 38' 36'' de latitude sul e entre os meridianos de 48° 22' 30'' e 48° 29' 54'' de longitude a oeste de Greenwich (Figura 6).

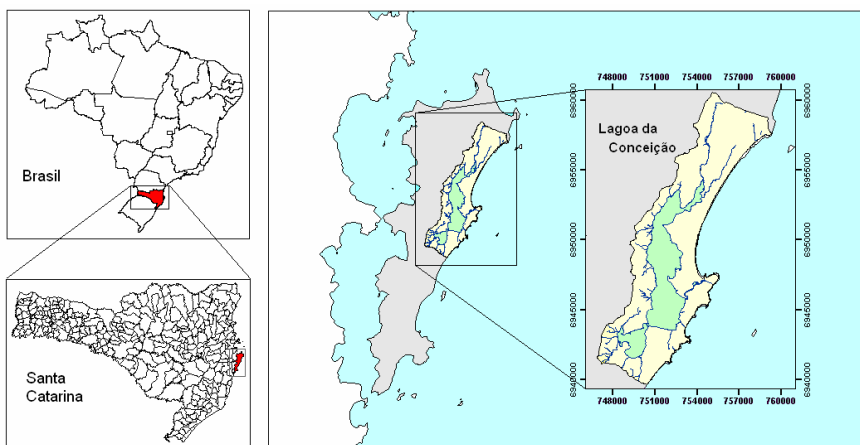


Figura 6: Localização da área de estudo.

FONTE: Silva, 2010.

A Lagoa está disposta paralelamente à linha de costa, recortada por dunas e morros. Ela é disposta no sentido Norte-Sul, com largura variando de 200 até 2500 metros e seu espelho d'água cobre uma

superfície de 19,2 km². Possui perfil assimétrico e margens sinuosas e irregulares (SILVA, 2002).

4.3.2 Clima

Florianópolis situa-se em uma região com características climáticas referentes à região costeira sulina do Brasil com predomínio do clima mesotérmico e grande umidade. A região apresenta grande uniformidade no clima e as estações do ano são bem caracterizadas, onde outono e primavera possuem comportamentos semelhantes e o verão e o inverno são bem definidos. A região caracteriza-se como tendo um clima agradável devido à maritimidade, controlada pelas Massas Polar Marítima e Massa Tropical Marítima, com amplitudes térmicas medianas ao longo do ano devido à circulação de brisas terrestres e marítimas decorrentes da proximidade com o mar (Nimer, 1979). Segundo Silva (2002), a temperatura média anual fica em torno de 20° C e a umidade relativa média do ar acima de 80%. Segundo a classificação de Köppn, o clima é do tipo Mesotérmico Úmido de zona intermediária subtropical. A região sul é uma das regiões mais regadas de chuva, com precipitações significativas e bem distribuídas ao longo do ano. A Tabela 1 dá os padrões climatológicos da capital Florianópolis observados.

Tabela 1: Climatologia de Florianópolis.

Meses	Temp. Média °C	Temp. Máx abs °C	Temp. Mín abs °C	Prec. Total (mm)	Prec. Máx em 24h (mm)	Dias de Chuva (n°)	Umidade Relat. (%)	Veloc. Vento (m/s)	Direção Ventos Pred.
Jan.	24.5	38.2	10	196.7	56.8	14.8	80.9	3.5	N
Fev.	24.6	38.8	14.8	186.7	58.8	14.6	81.5	3.6	N
Mar.	24.1	36.9	10.2	170	52.8	14.2	81.7	3.4	N
Abr.	21.8	35.4	7.7	128.8	40.2	11.2	81.6	3.1	N
Mai.	19.4	33.5	3.3	107.2	46.5	8.9	82.4	2.8	N
Jun.	17.4	32	1.7	85.2	29.5	8.4	83.3	2.9	N
Jul.	16.3	32.7	1.4	82.6	30	8.8	83.1	3.1	N
Ago.	16.8	35	1.3	94.3	32	9.1	82.5	3.6	N
Set.	17.8	32.9	4.9	117.1	37.6	11.6	82.8	3.8	N
Out.	19.4	32.5	7.8	132.4	39.6	12.8	81.4	4.1	N
Nov.	21.2	37.5	9.4	131.8	46.5	12.5	79.6	4.2	N
Dez.	23	38.2	12.5	141.9	46.3	13.1	79.5	4	N
Anos Obs.	90	72	71	90	70	62	90	78	58

Fonte: EPAGRI (2007)

Legenda: Temp = Temperatura; Máx = Máxima; Mín = Mínima; Abs = absoluta; Prec. = Precipitação; Relat. = Relativa; Veloc = Velocidade; Pred. = Predominantes.

4.3.3. Vegetação

Segundo Cecca (1997), a vegetação da Ilha de Santa Catarina possui dois tipos de formações principais:

- Vegetação Litorânea de Restinga: encontra-se em áreas mais influenciadas pelas condições do solo e abrange as vegetações das praias, dunas, manguezais, restingas e florestas de planícies.
- Mata Atlântica: também conhecida como Floresta Ombrófila Densa, distribui-se pelas encostas dos morros sendo mais influenciadas pelo clima. Ela é considerada na Constituição Brasileira como patrimônio nacional e deve ser utilizada, de acordo a lei nacional, de maneira que assegure a preservação do meio ambiente.

4.3.4. Geomorfologia

A região é formada por morros altos e fortemente dissecados, com encostas constituídas de granito que apresentam fortes declínios, onde afloram principalmente vegetações de médio e grande porte, como ocorre no morro que separa a Lagoa da Conceição do bairro Itacorubí e nas encostas do morro da Costa da Lagoa. Os afloramentos mais extensos, contudo, ocorrem nas encostas junto ao mar e nos topos de morros.

Ao lado leste, se tem a predominância de planícies formadas basicamente por dunas e com grande permeabilidade, com áreas descobertas e cobertas com vegetação de restinga.

4.3.5. Hidrologia

A existência de um canal meandriforme, que permite a ligação com o oceano adjacente, caracteriza a Lagoa da Conceição como uma laguna estrangulada. A Lagoa é disposta no sentido Norte-Sul, com largura variando de 200 até 2500 metros e área total de 19,2 km². Possui perfil assimétrico e margens sinuosas e irregulares.

O canal da Barra possui 2,8 km de extensão e teve sua morfologia modificada por sucessivas dragagens ocorridas nas últimas décadas e pela construção de um molhe em sua desembocadura na praia da Barra da Lagoa, o que garantiu o fluxo constante de água e gerou mudanças que provocaram uma alteração no comportamento do canal.

Os recursos hídricos de água doce que alimentam a Lagoa possuem três origens: contribuição das precipitações pluviométrica (águas das chuvas), dos riachos situada a oeste da Lagoa e das vazões dos rios Vermelho e João Gualberto. Os dois últimos se destacam por apresentarem juntos uma área de contribuição que representa 20% de toda zona de contribuição hidrológica não alagada da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. Além de serem bacias vizinhas, suas exutórias situam-se próximas uma da outra e localizam-se no braço a leste da Lagoa de Cima da laguna. Assim, suas descargas se somam no escoamento sentido norte-sul e dividem a predominância do escoamento intralagunar com a forçante oceanográfica.

Dutra (1991) conta que o costão íngreme situado a oeste da laguna possui 35 afluentes, 2 canais de drenagem e alguns córregos, todos com descargas pequenas, desaguardando diretamente no corpo

lagunar. O rio João Gualberto é o principal fornecedor de água doce do estuário, com uma vazão média de 1m³/s, localizado em uma bacia de aproximadamente 10 km² de área.

A Figura 7 apresenta a bacia da Lagoa da Conceição e destaca em vermelho a bacia do rio João Gualberto.

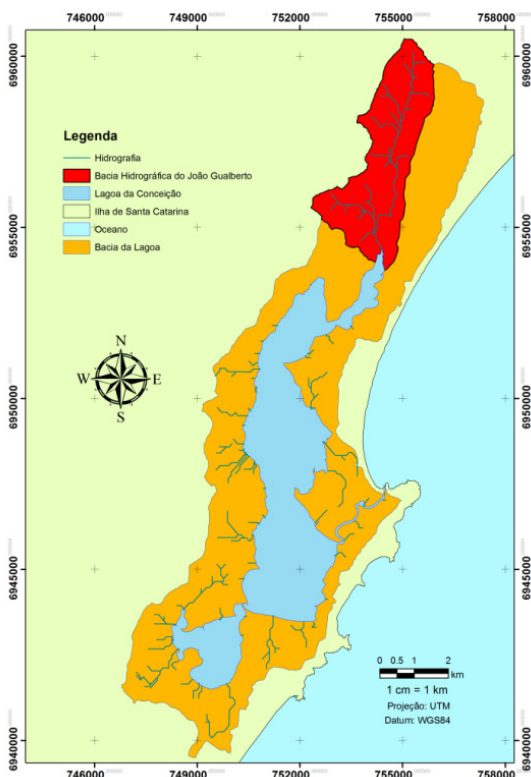


Figura 7: Bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com destaque para a bacia do rio João Gualberto.

4.3.6. Uso e Ocupação

Os primeiros povos que começaram a construir a história da Ilha, por volta de 5.000 anos atrás, foram os povos dos Sambaquis, mas foram os Carijós que ocuparam mais densamente a ilha e a Lagoa, praticando agricultura e caça (BARBOSA, 2003).

Entre 1748 e 1756 chegaram a Lagoa inúmeros imigrantes da Ilha dos Açores e da Ilha da Madeira, os quais fixaram suas comunidades em torno da Igreja Nossa Senhora da Conceição, construída em 1751, intensificando a agricultura e o comércio (BARBOSA, 2003).

O adensamento urbano na década de 1950, fez com que áreas de pastagens e cultivo agrícola desaparecessem, liberando espaço para ocupação humana (HAUFF, 1996). Em 1753 foi registrado o primeiro censo demográfico, apresentando apenas 503 habitantes. Em 2000, o censo demográfico feito pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2000), o IBGE, revelou a existência de mais de 22.000 habitantes na bacia hidrográfica da Lagoa.

A partir do século XX, a pesca em Florianópolis passou a se destacar como um produto gerador de renda. Juntamente com atividades ligadas ao turismo, fizeram com que a capital de Santa Catarina ganhasse o reconhecimento nacional (BARBOSA, 2003).

Godoy (2007) descreveu a cobertura do solo da bacia da Lagoa, no ano de 2004, com mais de 55% de sua área ocupada por vegetação arbórea, 12% de pastagens, 13.6% relativo a dunas e praias e quase 18% de áreas urbanizadas (Figura 8).

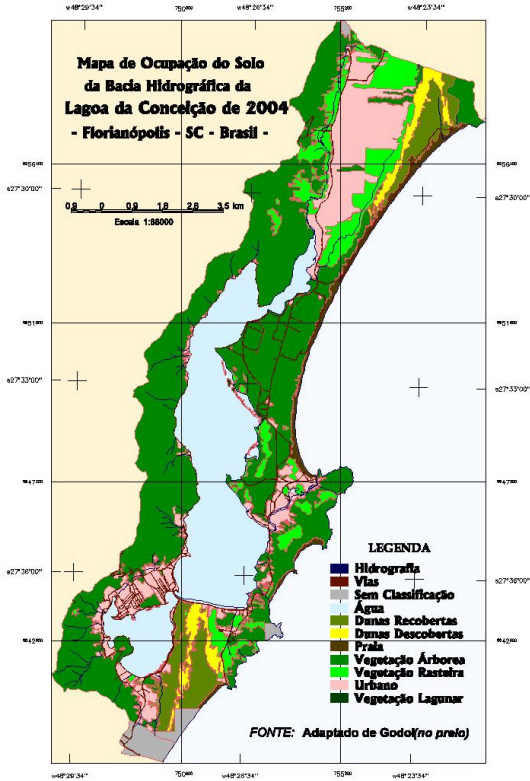


Figura 8: Mapa de ocupação do solo da Lagoa da Conceição de 2004.

FONTE: GODOY, 2007.

Odreski (2007) descreveu alterações na cobertura do solo da bacia da Lagoa entre os anos de 1998 e 2004, mostrando um incremento de 25% no espaço urbano. Esse aumento está concentrado na bacia da Lagoa, nos seguintes bairros: Lagoa da Conceição, Rio Tavares, Barra da Lagoa e Rio Vermelho. O acréscimo teve origem da supressão de áreas vegetadas, as quais sofreram desmatamento e ocupação. A vegetação arbórea foi suprimida em aproximadamente 8,5%. Os bairros estão ilustrados na Figura 9.

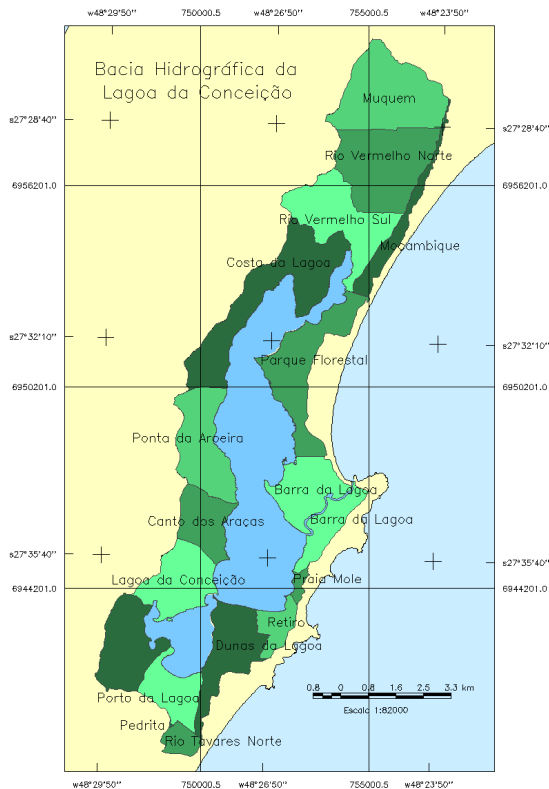


Figura 9: Bairros da Lagoa da Conceição.

O canal da barra vem sendo utilizado pelas populações ao longo do tempo. As comunidades da Fortaleza da Barra e da Barra da Lagoa abrigam suas margens, substituindo a cobertura vegetal (CARUSO E MARIO, 2000).

Com o grande incremento do espaço urbano na bacia hidrográfica da Lagoa nos últimos tempos (ODRESKI, 2007), o corpo lagunar ficou exposto às consequências causadas pelo desenvolvimento local. Assim, houve um aumento da carga orgânica recebida pela Lagoa, sendo está classificada por Odebrecht e Caruso Jr. (1987) como naturalmente em eutrofização, evidenciando sua grande sensibilidade à entrada de fontes antropogênicas.

4.4 Dados

Para execução deste projeto, fez-se necessário a realização de campanhas de monitoramento in situ para aquisição de dados ambientais. Dessa forma, foram feitas instalações de equipamentos para medição. A Figura 10 mostra a localização de cada um deles e está referenciada com coordenadas métricas ao Datum SAD69.

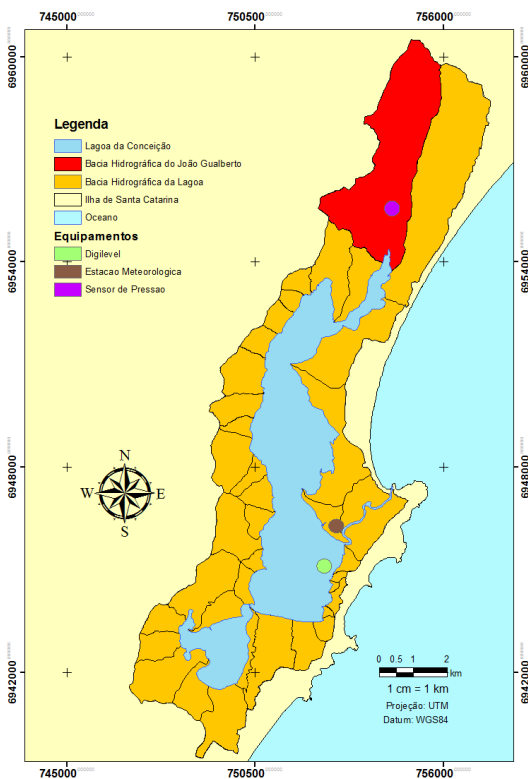


Figura 10: Local da Instalação dos equipamentos.

O tipo, a fonte e a coleta dos dados estão descritos a seguir.

4.4.1 Dados Físicos

Através do IPUF (Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis), se obteve uma altimetria da Ilha de Santa Catarina, com resolução espacial de 1 metro, juntamente com a hidrografia local de mesma resolução, ambos na escala de 1:10.000, Projeção UTM e Datum SAD69. Estas informações foram inseridas no banco de dados geográfico do LaHiMaR.

Além disso, o Laboratório de Hidráulica Marítima conta ainda com um banco de dados geográfico da bacia que fornece informações sobre espaço físico, tipo do solo, cobertura do solo, hipsometria, batimetria, bairros e plano diretor.

Com base nas informações contidas no banco de dados geográfico do LaHiMaR, a área contribuinte do rio João Gualberto é de 10,34 km² e está mostrada na Figura 10.

4.4.2 Dados Experimentais

4.4.2.1 Dados Meteorológicos - Precipitação

Para estudar a influência hidrológica na Lagoa da Conceição, se verificou a importância em adquirir dados climatológicos (precipitação) dentro da bacia hidrográfica em questão. Assim, optou-se pelo espaço cedido dentro do Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) na Estação de Maricultura da UFSC, situado às margens da Lagoa da Conceição e próximo ao canal da Barra, para instalação de uma estação meteorológica. O LOC é uma unidade física pertencente ao Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina.

A estação meteorológica utilizada é da marca Davis, modelo Vantage Pro 2. Ela possui sensores que realizam um monitoramento contínuo desde o ano de 2010 de temperatura, pressão, precipitação, radiação, evapotranspiração, intensidade e direção do vento. A Figura 11 ilustra o modelo utilizado.

Para coleta de dados de precipitação, definiu-se uma taxa amostral de 30 minutos.



Figura 11: Estação meteorológica *Davis Vantage Pro 2*.

4.4.2.2 Dados Hidrológicos do rio João Gualberto

O rio João Gualberto é o principal afluente que tem suas águas desaguando no estuário. Devido sua relevante contribuição para caracterização da Lagoa da Conceição citada nos trabalhos hidrodinâmicas previamente realizados no local, optou-se por efetuar um monitoramento do rio, capturando dados *in situ* sobre o fluxo de água corrente.

4.4.2.2.1 Nível

O primeiro passo consistiu na realização de campanhas de campo a fim de encontrar um ponto ideal para medição, com seção uniforme, bom acesso e segurança. Em seguida, instalou-se um sensor de pressão no local, apontado na Figura 10, no intuito de monitorar o nível do rio ao longo do tempo.

Para funcionamento do equipamento, fez-se necessário à instalação de um poste de ferro de aproximadamente 5 metros de altura, enterrado e concretado com uma sapata de aproximadamente 20 centímetros de diâmetro a aproximadamente 1 metro de profundidade. Nele, acoplou-se o Datalogger que gerencia o funcionamento do

equipamento e o armazenamento dos dados, juntamente com uma caixa de fibra, armazenando uma bateria convencional de veículos automotivos de 12 volts e 60 amperes para alimentar o sistema e um painel fotovoltaico capaz de recarregar a bateria em tempo hábil. O poste de ferro está aterrado, para segurança contra descargas elétricas atmosféricas, com uma barra de cobre de 2 metros de comprimento, completamente enterrada a 1 metro de sua distância, interligados por um fio de cobre espesso. O cabo ligado ao sensor sai do Datalogger e segue preso ao poste por braçadeiras de nylon até o chão, seguindo seu caminho até a seção de monitoramento enterrado no solo. O sensor de pressão fixa-se há um suporte de fibra que permite o fluxo de água com a finalidade de protegê-lo contra materiais correndo no fluxo do rio. Esse suporte é preso há uma fina barra de cobre cravada próximo a uma das margens do rio há uma distância de 10 centímetros do fundo do canal e em uma seção com 1,5 metros de largura. As Figuras Figura 12 e Figura 13 ilustram o processo de instalação e o resultado final.



Figura 12: Datalogger, caixa com a bateria e painel solar.



Figura 13: Instalação do sensor de pressão.

O Sensor de Pressão e Datalogger usados são da marca Solar Instrumentação, modelo SL2000.

O monitoramento iniciou-se no dia 20 de junho de 2011 e estendeu-se até o dia 10 de agosto no primeiro período de coleta, retomando a sua atividade para um segundo período de aquisição no dia 11 de novembro até as 00h00min do dia 23 de dezembro do mesmo ano. Sua posição exata é de 27°30'9.86" de Latitude sul e 48°25'34.714" de Longitude oeste, referenciado ao Datum WGS84.

Os dados foram armazenados com uma taxa amostral de 10 minutos.

4.4.2.2 Velocidade de escoamento

Além da medição do nível de água, fez-se necessário realizar campanhas de monitoramento para medir a velocidade do escoamento para que fosse possível obter valores de vazão na seção em questão.

O método adotado para aquisição dos dados é a medição com micromolinete hidrométrico, universalmente utilizado para se obter a velocidade média de fluxo em uma seção. Ele se baseia pela área que é determinada através da medição da largura do rio e da profundidade em um significativo número de pontos (SANTOS *et al*, 2001).

A velocidade média na vertical é determinada por fórmulas que variam de acordo com a profundidade local no momento da amostragem. A Tabela 2 descreve o método e a equação a ser utilizada para obtenção da velocidade média a partir da profundidade.

Tabela 2: Método detalhado para o cálculo da velocidade média na vertical.

Profundidade (m)	Nº de pontos	Profundida a ser medida	Cálculo da velocidade média
0,15 – 0,6	1	0,6 p	$v_m = v_{0,6}$
0,6 – 1,2	2	0,2 e 0,8 p	$v_m = (v_{0,2} + v_{0,8}) / 2$

p = profundidade; v_m = velocidade média

Fonte: DNAEE, 1977 *apud* Santos *et al*, 2001.

O equipamento utilizado nas medições é um micromolinete hidrométrico da marca OTT, modelo C2. Ele consiste em uma régua de

metal desmontável, hélice giratória, suporte da hélice regulável, suporte de fundo, contador digital e cabos de contato. O instrumento de medição foi cedido pelo Laboratório de Hidrologia (LABHIDRO) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. A principal peça do equipamento pode ser vista na Figura 14.

A equação da hélice utilizada que calcula a velocidade do escoamento é apresentada abaixo:

$$v = 0,0077011 + 0,114327878 \cdot n \quad (\text{para } n \leq 5,17) \quad (5)$$

$$v = 0,04213032 + 0,10766675 \cdot n \quad (\text{para } n > 5,17) \quad (6)$$

onde:

v velocidade do escoamento (m/s);

n número de rotações por segundo (rps).



Figura 14: Micromolinete marca OTT, modelo C2.

A seção de monitoramento tem 1,5 metros de largura e altura, onde alcança uma ponte construída para travessia do canal, mostrada na Figura 15. Conforme metodologia descrita no capítulo 5.3.1.3, as medições foram realizadas com espaçamento de 30 centímetros entre elas na horizontal, contemplando 4 pontos situados á distâncias de 30, 60, 90 e 120 centímetros das margens.

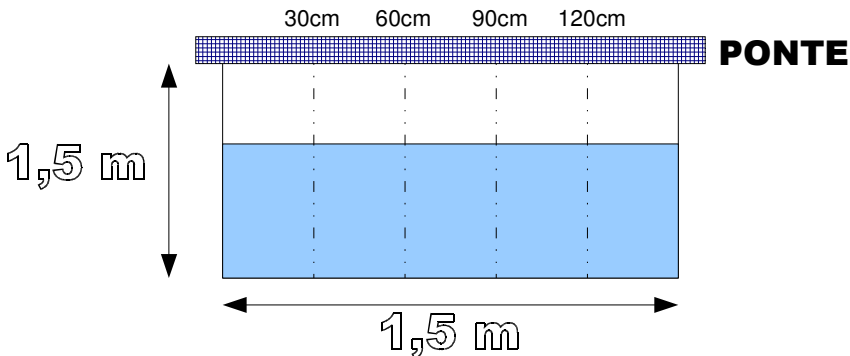


Figura 15: Dimensões da seção monitorada.

As campanhas aconteceram durante um período de 30 dias com 11 visitas concretizadas. Para cada ponto realizaram-se 3 medições consecutivas de 1 minuto cada, calculando uma média pra se obter o número de giros do molinete.

O intervalo de tempo medido foi beneficiado com uma série de eventos pluviométricos que permitiram a aquisição de dados de velocidade de fluxo em diferentes alturas de nível de água. A Figura 16 ilustra a realização de uma coleta de dados.



Figura 16: Medição realizada com micromolinete.

4.4.2.2.3 Dados de Nível da Laguna

Para medição do nível interno da laguna, foi utilizado um marégrafo desenvolvido pela COPPE-RJ. O equipamento se caracteriza por uma régua eletrônica, que possui sensores que captam a presença da água, espaçados verticalmente 1 centímetro.

O marégrafo foi instalado próximo ao canal da Barra da Lagoa, especificamente nas coordenadas $27^{\circ}35'35''$ de Latitude e $48^{\circ}26'15''$ de Longitude, referenciado ao Datum WGS84 e fixado em um píer de propriedade particular (ver Figura 10). As Figuras Figura 17 e Figura 18 mostram o equipamento e seu local de instalação.



Figura 17: Ponto de instalação do Digilevel.



Figura 18: Estrutura do Digilevel.

O nível interno da laguna é monitorado em tempo real, com uma taxa de amostragem de 20 minutos. O marégrafo entrou em operação no dia 22 de junho de 2011 e teve suas medições em dois períodos concomitantes à medição de nível do rio JG.

4.4.3 Dados Simulados

4.4.3.1 Dados Maregráficos

Para obter informações sobre as variações do nível do mar durante os períodos simulados, foi solicitado o apoio do Grupo de Modelagem Oceânica (GMOC) da Universidade de São Paulo. O modelo GMOC disponibiliza previsões oceânicas realizadas a partir das simulações de previsões operacionais do Laboratório de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempos Regionais (MASTER), utilizando um sistema de previsão e análise dos modelos meteorológicos como forçantes para modelos de circulação e agitação marítima. O GMOC simula a maré meteorológica a partir de campos de pressão e vento, adicionando os resultados a maré astronômica, construída a partir das constituintes harmônicas da região de interesse.

O sistema GMOC modelou dados de maré para a região em estudo, tomando como referência o ponto de grade do modelo mais próximo a Lagoa da Conceição, localizado nas coordenadas $27^{\circ}53'24''$ de latitude sul e $48^{\circ}36'04''$ de longitude oeste, perto da desembocadura sul da baía de Florianópolis. O período modelado começa no dia 13 de novembro e vai até 23 de dezembro do ano de 2011. As saídas do modelo foram gentilmente cedidas para este estudo, disponibilizando dados horários, conforme Figura 19.

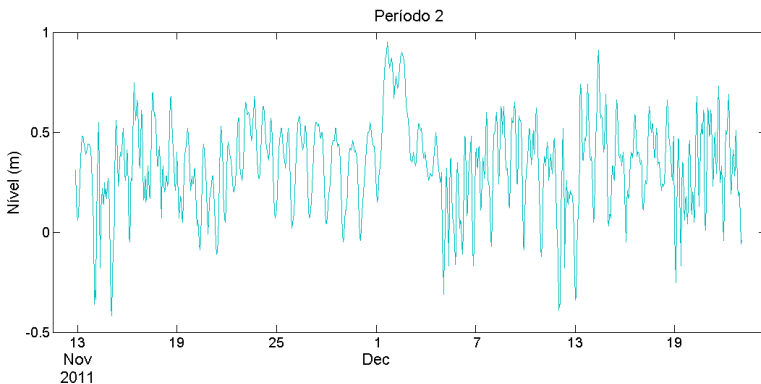


Figura 19: Série histórica de nível do segundo período do mar simulado pelo modelo GMOC.

Para fazer uma comparação com os resultados do modelo GMOC, obteve-se a medição do nível do mar gerenciada pelo Departamento de Geodésia, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e disponibilizada no site do mesmo, para o referencial zero brasileiro de elevação oceânica instituído em Imbituba, Santa Catarina, localizado 88 km ao sul da capital Florianópolis. Ele faz parte de um conjunto de marcos geodésico, com altitudes de alta precisão em todo território nacional, intitulado como Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

Apesar de ter um deslocamento sentido sul, de Imbituba, em referência a Florianópolis, o comportamento dos níveis oceânicos entre os dois locais são muito semelhantes. Em relação às duas principais componentes de maré, a meteorológica tem a mesma tendência podendo apresentar um ligeiro atraso de uma para outra, enquanto a astronômica tem poucas alterações. Desta forma, uma análise qualitativa entre os níveis do GMOC de Florianópolis e do IBGE para Imbituba é válida.

Devido falha na instrumentação dos medidores de Imbituba, o período de dados coletados iniciou-se no dia 5 de dezembro de 2011. Desta forma, os níveis de Imbituba e do GMOC estão plotados na Figura 20 para este intervalo.

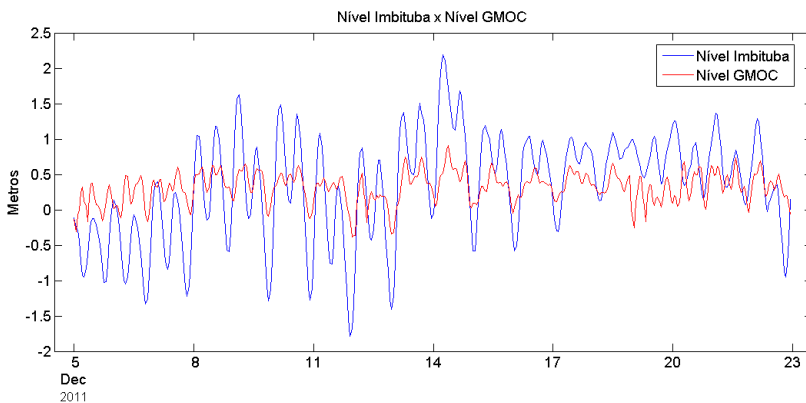


Figura 20: Comparação dos níveis medidos de Imbituba e da previsão do modelo GMOC.

A Figura mostra uma relação entre os dados quanto ao comportamento médio do nível do mar, apontando uma grande subestimação de máximas e mínimas. Essas diferenças parecem estar

relacionadas tanto quanto às componentes de maré astronômica, quanto meteorológica.

4.4.3.2 Vazão no ponto de medição

Levando em consideração que o rio João Gualberto deságua em uma laguna costeira, ou seja, um ambiente que tem ligação com o mar e sofre alterações constantes no nível de água, deve-se levar em conta que o escoamento no ponto de monitoramento no rio pode sofrer influência do estuário através de uma curva de remanso. Pensando nisso, Odreski *et al* (2013) utilizaram-se dos dados do nível do rio, do nível interno da laguna e da velocidade de fluxo, coletados neste projeto, para calibrar e validar um modelo hidráulico e verificar a interferência ou não do estuário no ponto de medição no rio João Gualberto.

O modelo usado foi o HEC-RAS (2008) que se caracteriza por ser um modelo numérico hidráulico com solução unidirecional no cálculo da distribuição do fluxo e das áreas de armazenamento sobre a planície de inundação. Este modelo é difundido mundialmente com diversas aplicações em diferentes condições e é recomendado pela FEMA (Federal Emergency Management Agency) nos EUA. Sua formulação é baseada nas equações da conservação do momento de Navier-Stokes (HEC, 2008), quando a simulação é desenvolvida de forma não permanente. Para simulações em regime gradualmente variado e permanente a formulação para aplicação é determinada pela equação de conservação de energia de Bernoulli.

No estudo, o modelo HEC-RAS serviu de ferramenta de apoio para análise e avaliação do sistema hidrodinâmico composto pelo curso d'água da bacia do João Gualberto e pelo estuário da Lagoa da Conceição. O modelo foi escolhido por ser amplamente utilizado e ter uma interface amigável com softwares de SIG. Esta facilidade permitiu a construção do domínio de simulação, proporcionando melhor avaliação dos resultados, conforme ilustrado na Figura 21. Após o pré-processamento das informações de topografia, seção, tipo de escoamento, nível do rio João Gualberto e nível na Lagoa da Conceição foi possível montar o domínio de simulação do modelo hidrodinâmico.

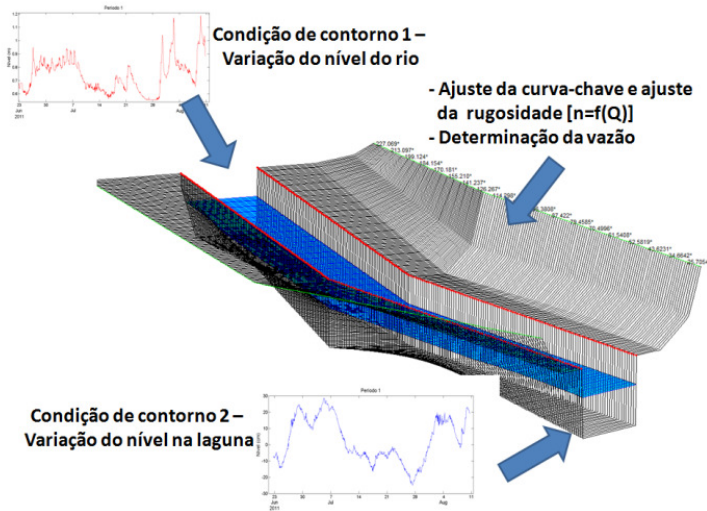


Figura 21: Domínio de Simulação do HEC-RAS.

Para as simulações hidráulicas, foram selecionados 2 períodos de coleta de dados, apresentados na Tabela 3. O primeiro período serviu para calibração do modelo e o segundo para validação e obtenção de série temporal de vazão para seção de medição, da qual serviu para retirar as séries de vazões das outras bacias perenes.

Tabela 3: Períodos de coleta de dados e simulações hidráulicas.

	Início				Fim			
	Ano	Mês	Dia	Hora	Ano	Mês	Dia	Hora
Período 1	2011	Junho	22	00:00	2011	Agosto	11	00:00
Período 2	2011	Novembro	11	00:00	2011	Dezembro	23	00:00

Os cálculos realizados pelo modelo estimaram uma série temporal de vazão no ponto de levantamento dos dados. A Figura 22 mostra a vazão estimada para o segundo período modelado da LdC neste projeto, da qual foi utilizada para aplicação do método de regionalização da vazão, no Capítulo 5.2.2.3.

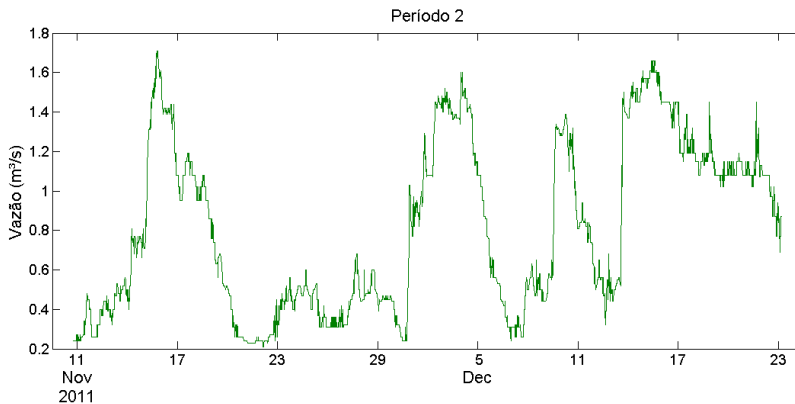


Figura 22: Vazão simulada para a seção de monitoramento do rio João Gualberto.

4.5 Modelagem Espacial

O objetivo desta etapa foi de realizar uma discretização da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. Para isso, foram utilizadas as informações contidas no banco de dados geográfico do LaHiMaR. O intuito é de definir regiões hidrológicas independentes,.

Utilizando as informações de altimetria e hidrografia inseridas no banco de dados geográfico, a discretização da área identificou 39 regiões hidrológicas. Os destaques são das bacias dos rios João Gualberto e Vermelho, vizinhas situadas ao norte, que juntas representam aproximadamente 20 % do espaço total da bacia. O lado oeste apresentou o maior número de bacias.

A priorização das bacias para posterior inserção na modelagem hidrológica foi feita definindo bacias com rios perenes ou não. A classificação foi feita caracterizando como perenes as bacias delimitadas que apresentam rios na hidrografia obtida junto ao IPUF. O resultado está apresentado na Figura 23.

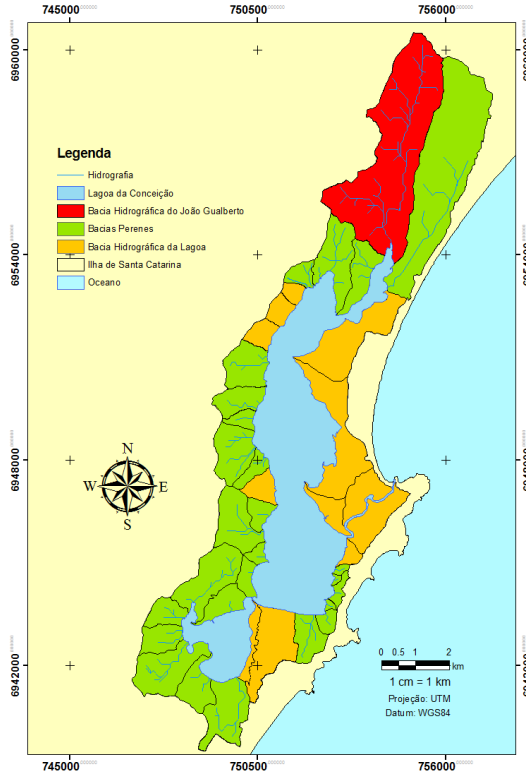


Figura 23: Bacia da Lagoa da Conceição identificando as bacias perenes.

4.6 Modelagem Hidrológica

Foram realizadas visitas a campo para reconhecimento da área de estudo. A intenção inicial era encontrar um ponto ideal para monitoramento do nível e medições de velocidade do rio João Gualberto. Assim, encontrou-se um ponto no leito do rio, aproximadamente a 1,9 km de comprimento do leito a partir da exutória, com uma seção retangular, onde havia uma ponte. Esse foi o local considerado ideal para realização das medições.

Escolhido o local de coleta de dados no rio João Gualberto, realizou-se a delimitação da bacia hidrográfica da área de monitoramento. Utilizando os mesmos dados que serviram para

delimitar a bacia como um todo, fez-se o traçado da área de abrangência que contribui com o escoamento no ponto de medição (ver Figura 24).

Conhecendo a área contribuinte e a série de vazões para a seção monitorada, fez-se uma regionalização da vazão, através da média ponderada de área entre a área contribuinte da seção monitorada e a área total da bacia do JG, obtendo uma série temporal de vazão na exutória da bacia hidrográfica do João Gualberto.

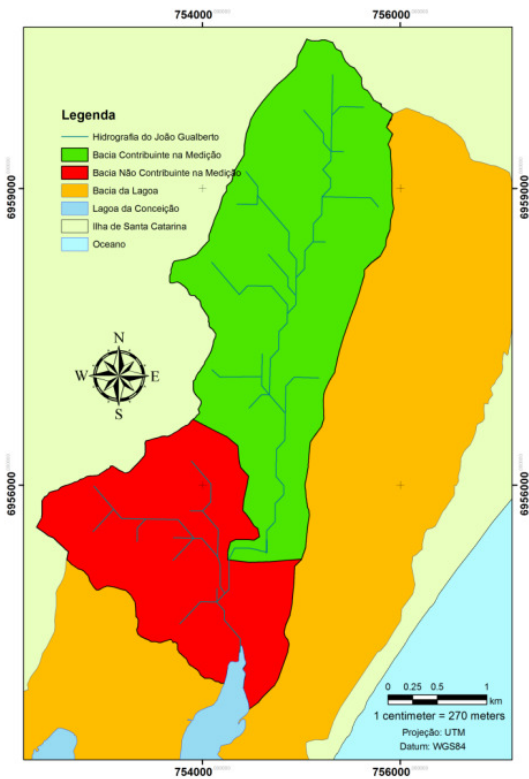


Figura 24: Discretização da bacia do João Gualberto.

4.7 Modelagem Hidrodinâmica

Para avaliar a influência hidrológica no comportamento de circulação hidrodinâmico da laguna da Conceição, realizou-se uma modelagem matemática através do sistema *Mohid Water*.

4.7.1 Cenários

Foram simulados quatro Cenários distintos, previamente modelados por um período de aquecimento. Em todos eles existe uma vazão para o rio João Gualberto com salinidade nula, caracterizados a seguir:

(1) Aquecimento: Possui vazão sanitária constante do rio calculada a partir da Q95 (relatado no capítulo 5.2.2.3.2) obtida através da curva de permanência dos dados coletados do rio João Gualberto e do nível externo do mar. Esta etapa modelou o período que se inicia no dia 01 de janeiro de 2008 e termina no dia 07 do mês seguinte do mesmo ano. A data foi escolhida porque o LaHiMaR possui dados de maré coletados pelo seu marégrafo para esse período, obtidos na praia do Jurerê, baía norte da ilha de Santa Catarina;

(2) Cenário 1: Força o modelo a partir da medição interna de nível do estuário da Lagoa da Conceição e insere uma série de vazões para a exutória da bacia do rio João Gualberto, obtida a partir da regionalização das vazões da seção monitorada das saídas do modelo hidráulico de Odreski *et al* (2013) para o período de simulação. O período modelado vai de 11 de novembro de 2011 até 22 de dezembro do mesmo ano e o Cenário retira das simulações o canal da Barra da Lagoa e o oceano aberto, aplicando a fronteira aberta diretamente na desembocadura lagunar;

(3) Cenário 2: Definido como o Cenário Base por apresentar os resultados a partir das condições e dados mais confiáveis e próximos a realidade do ambiente em estudo, repete as configurações do Cenário 1, alterando a forçante hidrológica, inserindo vazões para as bacias perenes (descrita na metodologia adiante), obtidas a partir da regionalização de vazões da série temporal da saída do modelo hidráulico do trabalho de Odreski *et al* (2013) para a seção monitorada;

(4) Cenário 3: modela o mesmo período dos Cenários 1 e 2, mas insere como forçante externa o nível maregráfico das simulações do GMOC. Adere ao Cenário o canal da Barra da Lagoa e faixa

oceanográfica, onde é imposto o nível. Na parte hidrológica, repete o Cenário 1;

(5) Cenário 4: difere do Cenário 3 apenas na parte hidrológica, utilizando os mesmos dados de vazões do Cenário 2..

O resumo dos diferentes Cenários simulados e suas diferenças estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4: Descrição dos Cenários simulados.

	Cenário 1	Cenário 2 Cenário Base	Cenário 3	Cenário 4
Fronteira Aberta	Desembocadura lagunar	Desembocadura lagunar	Oceano	Oceano
Forçante Externa	Nível interno do estuário	Nível interno do estuário	Maré simulada pelo GMOC	Maré simulada pelo GMOC
Descargas Hidrológicas	João Gualberto	Bacias Perenes	João Gualberto	Bacias perenes

4.7.2 Condições de fronteira

No projeto, estão estabelecidas 4 tipos de fronteira. São elas:

1. Fronteira aberta: Com diferença entre os Cenários.

Cenários 1 e 2: Tem início na desembocadura interna do canal da Barra e tem o nível forçado pela série histórica medida da altura de coluna de água do corpo central da laguna

Cenários 3 e 4: inicia-se na desembocadura oceanográfica do canal da Barra e se prolonga cerca de 220 metros em linha reta para leste inclinada 90° em relação ao norte adentro do oceano, e aproximadamente 4,5 quilômetros ao norte abrangendo toda linha de costa. O nível imposto é referente à modelagem resultante do Modelo GMOC para a região. Nela foi imposta uma condição de relaxamento de maré seguindo o método de Blumberg e Kantha;

2. Fronteiras laterais fechadas: segue os extremos geográficos do corpo lagunar e canal da Barra;

3. Fronteira de fundo: estabelecida uma rugosidade variada e fluxo de água nulo;

4. Fronteira de superfície livre: considerado fluxo de água nulo.

Para manter a estabilidade numérica do modelo, adotou-se um intervalo de tempo de cálculo de 2,0 segundos. Para cada 30 dias de simulação, independente do Cenário a ser rodado, foram necessárias aproximadamente 50 horas de processamento. Esta condição é forçada pela necessidade de melhores resoluções no canal da Barra da Lagoa e na ponte de ligação da Lagoa de Baixo com o corpo central de água da laguna, tendo a configuração da grade com células de espaçamento variando em até 10 vezes o tamanho.

4.7.3 Batimetria

A batimetria utilizada neste estudo partiu da construída por Rocha (2007), realizando uma integração de dados de diferentes fontes. A área interna da laguna vem dos dados publicados em 2001, pelo IPUF/CASAN, na escala de 1:20.000. Este trabalho foi feito levantando dados de 527 perfis ao longo do corpo lagunar utilizando ecobatímetro e GPS. No canal da Barra da Lagoa, aproveitou-se dos dados adquiridos pela empresa Artherpa Engenharia e Arquitetura Ltda no ano de 1997. Ainda em cima deste último, aproveitou-se das informações coletadas em 2005 pela empresa Sócioambiental Consultores Associados Ltda.

Para verificação de algumas incongruências nas informações, o LaHiMaR efetuou campanhas de campo, com auxílio de aparelho GPS, para verificação dos dados. Conforme observado, foram efetuadas correções no canal de ligação entre o corpo principal da Lagoa e o subsistema sul, nas margens da Avenida das Rendeiras e em alguns pontos da costa norte do estuário (ROCHA, 2007).

Na fronteira externa, foi utilizado o levantamento batimétrico apresentado em carta náutica e digitalizado por Silva (2008), elaborado através de campanhas realizadas pela Marinha do Brasil até o ano de 1956 e publicada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 1957). A medição realizou-se por sondagens em metros, reduzidas aproximadamente ao nível da baixa-mar média de sizígia. A Projeção utilizada foi a de Mercator, escala 1:100.928 na latitude 27° 31'.

Com base no levantamento citado anteriormente, foi realizada uma interpolação dos pontos batimétricos de 10 em 10 metros da fronteira externa utilizando o método do vizinho mais próximo. O resultado deste trabalho foi aglutinado à batimetria da Lagoa da Conceição, gerando o produto final, apresentado na Figura 25.

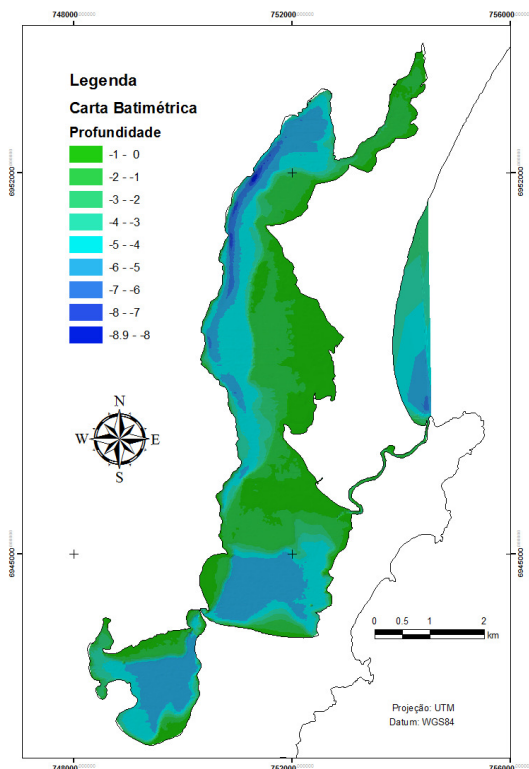


Figura 25: Carta Batimétrica do estuário da Conceição.

4.7.4 Grade de Cálculo

Usando uma ferramenta de suporte ao Sistema *MOHID*, executada como um programa autônomo, chamado *GridGenerator*, foi construída uma grade de cálculo regular de espaçamento diversificado. Procurando otimizar o processamento dos cálculos, definiu-se espaçamentos de 100 metros no interior da lagoa, que se reduzem

gradativamente, para obter uma melhor resolução, com células de 10 metros, no canal de ligação entre os sistemas sul e central da Lagoa e 15 metros no canal da Barra, voltando a crescer na fronteira externa até alcançar 50 metros. A grade construída tem formato retangular com 279 colunas verticais e 177 horizontais.

Para se obter o grid final, a grade foi interpolada juntamente com o modelo numérico da batimetria e a linha de costa para definir os pontos de terra e água utilizando o software *MOHID Studio*.

As simulações ocorreram em 2D, ou seja, não foi imposta a variação na coluna da água, admitindo-se uma coluna vertical única e uniforme.

4.7.5 Rugosidade de Fundo

Dados georeferenciados obtidos a partir do projeto de dissertação de Godoy (2009) que se baseou no trabalho desenvolvido por Gré e Horn Filho (1999) que realizaram uma caracterização da textura dos sedimentos de fundo do estuário da Conceição. O resultado das amostras coletadas, para a distribuição da amplitude da rugosidade, descrevem 6 diferentes tipos de sedimento, detalhados na Tabela 5.

Godoy (2009) escaneou e vetorizou o mapa de sedimentos, gerando polígonos para cada classe, conforme Figura 26. De posse dos polígonos, estes foram interpolados em cima da grade criada neste projeto, sendo posteriormente transportados para o modelo e valorados de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5: Rugosidade absoluta equivalente dos sedimentos de fundo da laguna conforme trabalho de Gré e Horn Filho (1999).

Tipo de Sedimento	ξ (mm)
Areia	30
Areia Canal	40
Areia Siltosa	25
Silte Arenoso	20
Silte	15
Silte Argiloso	10

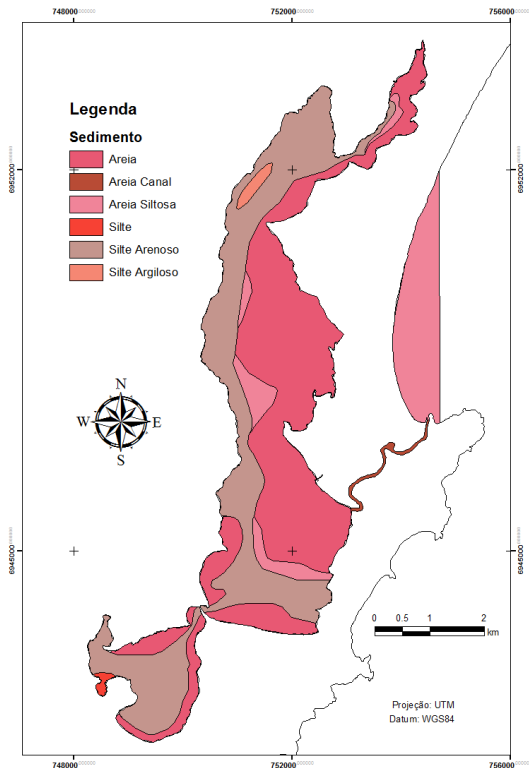


Figura 26: Sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição.

4.7.6 Condições Iniciais

A configuração do modelo *MOHID Water* foi feita estabelecendo algumas condições iniciais para o início das simulações. Nela foi inserido o nível interno da laguna, campos de salinidade e a atuação gradativa da forçante maregráfica.

4.7.6.1 Nível da laguna

Para configuração inicial do nível da área de simulação, foi utilizado o valor médio referente às simulações realizadas por Silva (2010). A autora deu continuidade à linha de pesquisa do LaHiMaR na

região e modelou Cenários com vazões hipotéticas do rio João Gualberto para avaliar a hidrodinâmica residual do estuário.

Os níveis médios foram transferidos para o *MOHID* e interpolados em cima da grade de cálculo usada neste trabalho, sendo inserida no setup inicial do modelo. A Figura 27 ilustra o resultado.

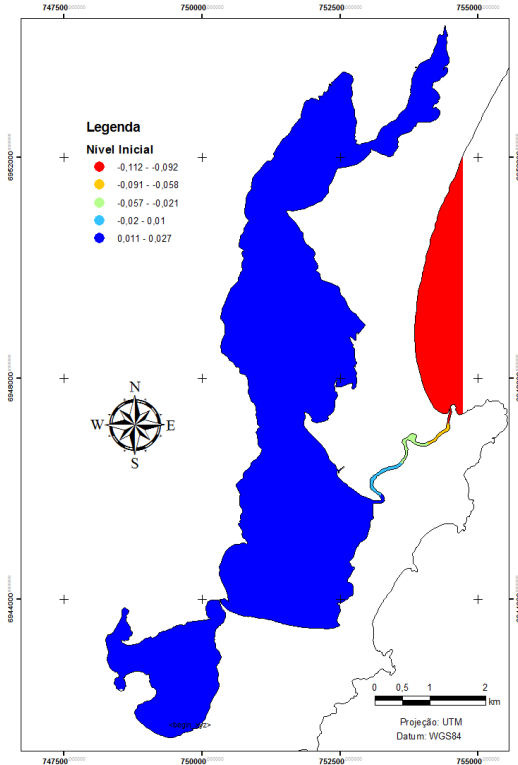


Figura 27: Nível inicial das simulações.

4.7.6.2 Salinidade

Apesar da existência de trabalhos anteriores envolvendo modelagem da circulação das águas da Lagoa da Conceição, nenhum deles simulou a variação de densidade dentro do corpo aquático, componente de grande importância para melhor conhecimento do tema

abordado. Para isso, uma das intenções inovadoras deste projeto foi de inserir a salinidade nas simulações numéricas. Juntamente com a pressão e temperatura, estas 3 propriedades permitem a determinação da densidade da água, que permite evidenciar padrões de mistura entre as águas hidrológicas e oceânicas.

Para se inserir a salinidade no modelo, foram tomadas como base as referências bibliográficas dos levantamentos sobre salinidade da laguna citados no Capítulo 4 deste trabalho. Foram elaborados campos com médias salinas no interior da Lagoa calculando uma média dos dados coletados a partir do ano de 2001 como condição inicial da modelagem.

Para isso, foi realizada uma discretização da área modelada, separando o interior da Lagoa em 4 partes, o canal da barra em 3 setores e a fronteira externa. Dessa forma, se fez uma média dos campos de salinidade amostrados, que foram publicados nos últimos 11 anos, mais a média oceanográfica de salinidade para o mar descrita por Assad *et al* (2009), imposta na fronteira externa recebendo o valor de 35 PSU. Conhecendo os valores da propriedade nas duas desembocaduras do canal, se estabeleceram valores para os 3 setores do canal da Barra, que variam em ordem crescente da desembocadura lagunar até a externa e fazem parte do intervalo entre os dois valores de referência, conforme apresentado na Figura 28.

O próximo passo consistiu na interpolação dos campos médios encontrados com a grade batimétrica no Sistema *MOHID* e a introdução dos dados no modelo.

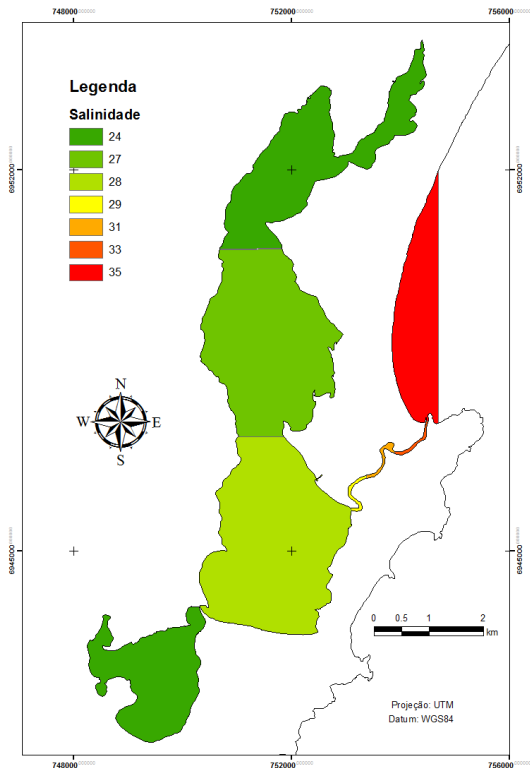


Figura 28: Campos de salinidade impostos como condição inicial das simulações hidrodinâmicas.

4.7.6.3 Maré

Com o objetivo de reduzir ruídos numéricos no processo de modelagem, a maré foi imposta de maneira lenta na fronteira externa, em forma de rampa, que eleva gradativamente sua intensidade até alcançar seu valor absoluto, que é alcançado após 1 dia de simulação. Dessa forma, a influência da maré ocorre de maneira gradativa, sendo definido um período de 86.400 segundos, equivalente a 1 dia, até que ela atue de maneira integral.

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou campanhas de monitoramento de dados ao longo do ano de 2011. O nível do rio João Gualberto foi monitorado durante o período que se inicia no mês de junho e se estendendo até o fim do ano de 2011, somando mais de 6 meses de coletas ininterruptas.

Dando continuidade as pesquisas na bacia hidrográfica do JG, campos de velocidade ao longo da seção de amostragem do rio foram obtidos possibilitando o cálculo de 11 diferentes valores que relacionam cota e vazão.

Além disso, a altura do nível de água da Lagoa da Conceição foi monitorada em primeira instância do dia 22 de junho a 10 de agosto, retomando as amostragens em 10 de novembro até o fim do ano de 2011.

A estação meteorológica da Barra da Lagoa armazenou dados de precipitação ao longo de todo ano de 2011, finalizando o período de coleta em 13 de dezembro deste ano.

Todos os dados anteriormente citados foram organizados em planilhas e armazenados no banco de dados do LaHiMaR.

5.1 Descargas Hidrológicas das Bacias Perenes

As bacias hidrográficas perenes da Lagoa da Conceição estão amostradas e foram enumeradas conforme a Figura 29.

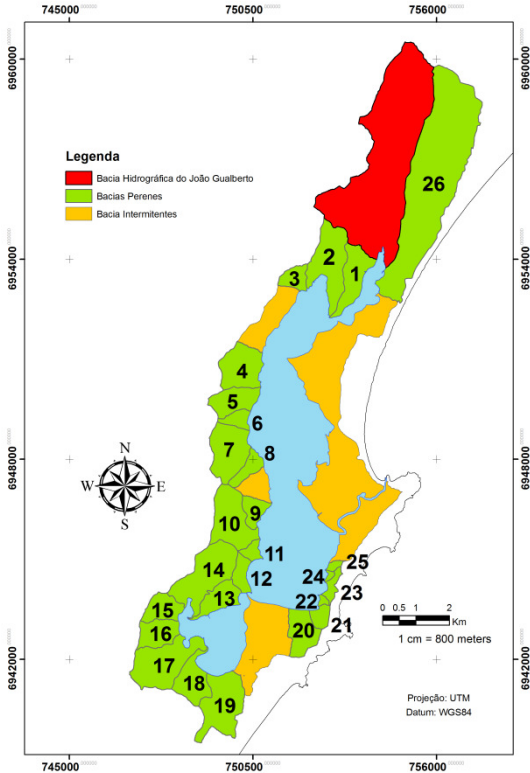


Figura 29: Numeração das bacias perenes da Lagoa da Conceição.

A partir da média ponderada de área, a série temporal de vazão do João Gualberto (bacia em destaque vermelho na Figura acima) foi recalculada para cada bacia hidrográfica perene. A Tabela 6 apresenta a relação de área de cada bacia em relação á bacia do JG.

Tabela 6: Porcentagem de área das bacias em relação ao João Gualberto.

Bacia	%	Bacia	%	Bacia	%
JG	100	9	5	18	10
1	12	10	17	19	19
2	19	11	3	20	10
3	5	12	4	21	3
4	14	13	8	22	2
5	9	14	21	23	3
6	3	15	7	24	1
7	16	16	9	25	1
8	5	17	20	26	84

5.2 Análise primária dos dados

Os dados coletados em campo foram selecionados e agrupados em dois períodos distintos. Cada grupo teve uma utilidade diferente dentro do projeto e estão descritos a seguir:

- **Período 1** – Começa no dia 23 de junho de 2011 e termina em 11 de agosto deste ano, ambos as 00:00 hs, resultando em 50 dias de campanha. Os dados deste grupo possuem amostragem de velocidade do rio João Gualberto, nível do rio, nível interno da Lagoa e precipitação. Com eles, Odreski *et al* (2013) realizaram uma modelagem hidráulica do rio e geraram uma série temporal de vazões para a seção de monitoramento.

- **Período 2** – Inicia-se no dia 11 de novembro de 2011 e perdura por 41 dias, encerrando às 00:00 horas do dia 23 de dezembro do mesmo ano. Contém informações de nível interno do estuário, maré total, vazão modelada, nível do rio e precipitação. Esse período foi utilizado para as simulações dos processos hidrodinâmicos da laguna, realizadas através do *MOHID Water*.

5.2.1 Período 1

O Período 1 tem início no dia 23 de junho de 2011 e termina em 11 de agosto do mesmo ano, contemplando 50 dias de coleta de dados. Neste tempo foram monitorados os dados de precipitação, nível interno da laguna, nível da coluna de água e velocidade de escoamento na seção de monitoramento do rio João Gualberto.

A primeira fase de amostragem teve como principal resultado a calibração de um modelo hidráulico para o canal do rio que desemboca ao norte do estuário com análise da influência da variação do nível Lagoa da Conceição no escoamento do João Gualberto, realizada por Odreski *et al* (2013).

Na sequência, estão apresentados os dados medidos ao longo desta fase, com discussões e gráficos.

5.2.1.1 Precipitação

A época foi marcada por alguns grandes eventos pluviométricos com volumes diários bem variados, contemplando também períodos sem chuva, conforme Figura 30. Ocorreram 11 dias com acumulado diário superior a 5 mm/dia e inferior a 20. Além disso, um evento de 34,4 mm/dia foi amostrado no dia 26 de junho. Os grandes destaques ficaram para os acumulados de 48,8, 61,6 e 96,8 mm/dia, situados dentro dos 10 dias finais do tempo de coleta. Entre os dias 2 e 17 de junho se evidencia o maior período seco com acumulado total de 2,2 mm. Pode-se observar ainda 2 tempos de 5 dias cada entre os dias 24 de julho e 7 de agosto onde não houveram precipitações.

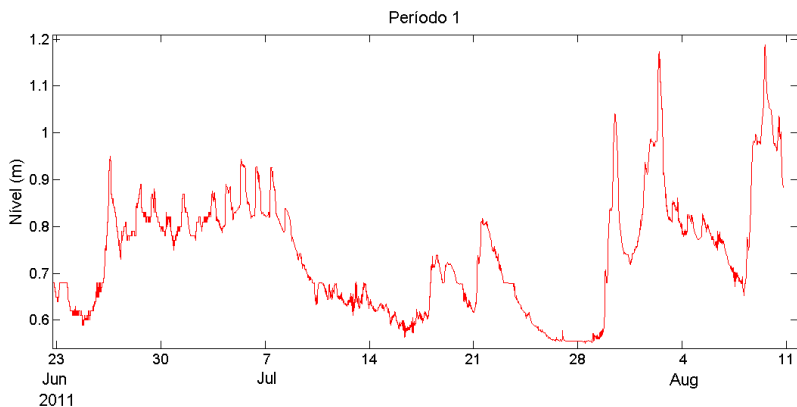


Figura 31: Nível do rio João Gualberto na seção de monitoramento.

5.2.1.3 Velocidade de escoamento

As 11 medições foram planejadas e a Tabela 7 relaciona a altura da coluna de água com o número de giros médio da hélice do micromolinete e a velocidade média calculada. Os dados aqui coletados foram utilizados por Odreski *et al* (2013) para construção e calibração de um modelo hidráulico para o rio João Gualberto.

Tabela 7: Velocidades médias das medições com micromolinete.

Nível (cm)	Nº Giros médio (rpm/min)	Vm (m/s)
54	93	0,40
55	98	0,42
63	91	0,39
72	152	0,65
84	242	1,02
84	118	0,50
87	172	0,73
91	272	1,15
96	295	1,24
101	319	1,34
116	446	1,88

5.2.1.4 Nível da Lagoa da Conceição

O nível interno da Lagoa da Conceição é apresentado na Figura 32. Nela, verifica-se uma ascensão brusca dos níveis iniciais, próxima a 10 centímetros negativos, onde uma variação superior a 35 centímetros faz a coluna de água superar os 20 centímetros positivos em torno do dia 30 de junho e, após uma queda rápida, voltar a subir alcançando valor máximo da série de aproximadamente 30 centímetros nos dias 5 e 6 de julho. Em seguida, verifica-se uma recessão do nível chegando a estabelecer novamente valores negativos em torno do dia 11 de julho. Depois de uma fase de poucas variações, a coluna de água volta a descer, chegando a níveis mínimos de toda fase de coleta próximo aos 25 centímetros negativos no dia 27 de julho. A partir daí, encontra-se a maior fase de ascensão, variando o nível da laguna em mais de 40 centímetros, chegando a próximos 20 centímetros positivo. Após alguns dias de pouca variação, observa-se uma breve recessão seguida de rápida ascensão, terminando o nível em 19 centímetros de altura.

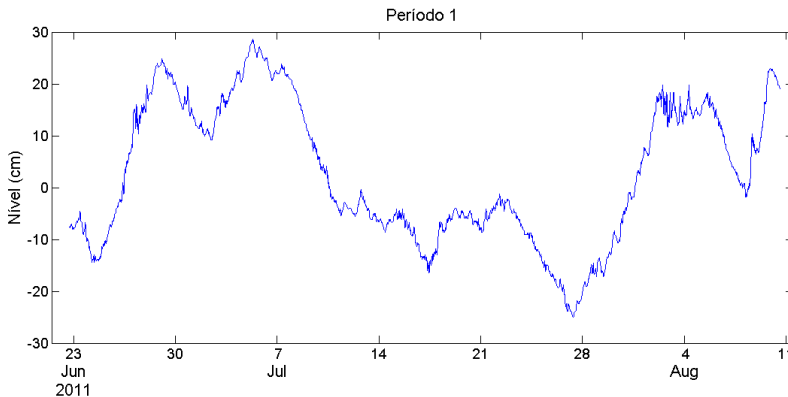


Figura 32: Nível interno do estuário da Lagoa da Conceição.

5.2.2 Período 2

O segundo período de coleta de dados engloba 44 dias, caracterizado no intervalo entre os dias 10 de novembro e 23 de dezembro. Nesta época, a campanha de monitoramento consistiu na aquisição de dados de precipitação, nível do rio, modelagem da vazão da bacia do João Gualberto, monitoramento do nível do mar e altura de água na parte interna da Lagoa da Conceição.

As informações obtidas nesta fase serviram como parâmetros para simulação matemática dos processos de circulação hidrodinâmica da laguna da Conceição utilizando o sistema de modelagem numérica *MOHID Water*.

Como etapa inicial, foi realizada uma análise prévia dos dados, apresentados na sequência.

5.2.2.1 Precipitação

A Figura 33 plota a precipitação amostrada na estação meteorológica da Barra da Lagoa entre os dias 10 de novembro e 13 de dezembro de 2011. O período 2 de análise se estende até 23 de dezembro do mesmo ano, mas contratempos fizeram com que os últimos dez dias não fossem coletados.

As primeiras precipitações consideráveis acontecem nos dias 14 e 15 de fevereiro com volumes acumulados diários de 16 e 26 milímetros. Em torno do dia 20 do mesmo mês, apenas pequenos eventos

apareceram, prolongando uma fase seca até o dia 26 de novembro. Entre os dias 27 de novembro e 3 de dezembro, boas chuvas caíram na bacia hidrográfica, com destaque para os acumulados de 13, 10 e 27 milímetros. Nos dias 7, 8 e 9, novas precipitações aparecem com dois dias de chuvas acima dos 10 mm. No último dia coletado, 13 de dezembro, ocorre uma nova precipitação de 23,4 mm.

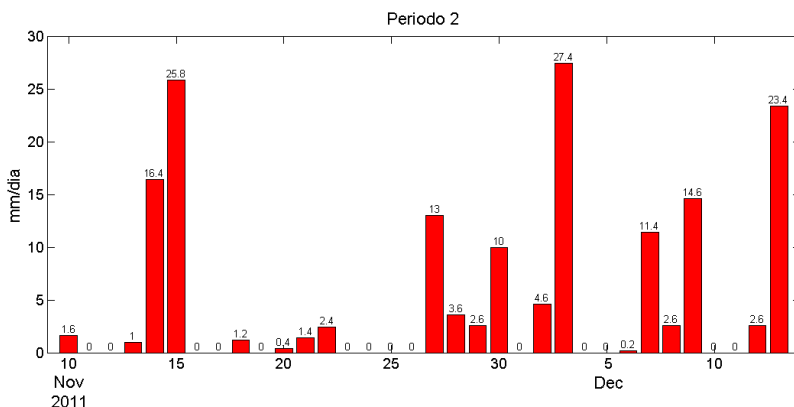


Figura 33: Precipitação do Período 2.

5.2.2.2 Nível do rio João Gualberto

O período se inicia com nível abaixo dos 0,55 metros, sofrendo uma forte subida e transcendendo os 0,75 centímetros antes do dia 17 de novembro. Logo depois de alcançar o pico, ocorre uma recessão da altura de coluna de água, chegando a se aproximar dos 0,50 metros nas proximidades do dia 23. Em seguida, percebem-se duas subidas e descidas semelhantes, curtas e com variações que não ultrapassam os 10 centímetros. Após o dia 29 de novembro nota-se uma elevação bruta e íngreme do nível chegando, que após outra nova ascensão poucos dias depois, aproximou o pico dos 75 centímetros de altura de água entre os dias 3 e 4 do mês de dezembro. Uma recessão rápida faz o nível retornar ao patamar dos 0,55 metros, elevando-se nos dias seguintes gerando dois picos bem definidos com aproximadamente 0,62 e 0,72 metros, respectivamente, antes do dia 11 de dezembro. Depois de o nível retornar a casa dos 0,55 metros, ele tem um novo pulso acentuado que eleva mais uma vez o pico aos 0,75 metros, do qual sofre lenta recessão com pequenos pulsos ao longo do caminho que perdura pelos 8 dias

finais do tempo de coleta de dados, terminando em 60 centímetros de nível de água. O gráfico está apresentado na Figura 34.

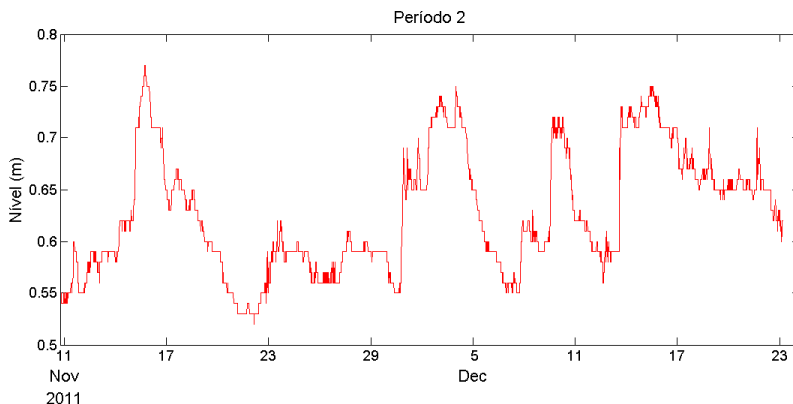


Figura 34: Nível de água amostrado na seção de monitoramento do rio João Gualberto.

5.2.2.3 Vazão do Rio João Gualberto

A bacia do rio João Gualberto foi discretizada em 2 zonas, exibida na Figura 24. A região em verde possui 6,41 km², o que corresponde a 62% da bacia total, e representa o espaço territorial que contribui para o escoamento da água no local das medições de nível e velocidade. A parte em vermelho apresenta a área restante da bacia e compreende 3,93 km², referente a 38% de toda a bacia.

Com base nas informações anteriores, foi feita uma regionalização da vazão utilizando a série temporal de vazões na seção de monitoramento obtida no trabalho de Odreski *et al* (2013), para gerar uma série histórica de vazões, para o mesmo período, na exutória da bacia do rio JG.

A Figura 35 exibe a vazão horária obtida para a bacia hidrográfica do rio João Gualberto. Logo nos primeiros dias se tem uma ascendência no volume de escoamento passando da casa dos 0,2 m³/s para 0,8 m³/s, executando um salto para próximo de 1,7 m³/s em torno do dia 16 de novembro. Em seguida, observa-se uma queda na vazão que retoma as proximidades de 0,2 m³/s e se mantém neste patamar entre os dias 20 e 23, ressaltando uma pequena ascensão durante o período de queda após o dia 17. Nos 8 dias posteriores, pode se ver duas

subidas e descidas semelhantes com picos médios de 0,5 m³/s, acontecendo duas novas elevações nas proximidades do dia 30 de novembro e 7 de dezembro, alcançando valores vizinhos a 1,6 m³/s e 1,4 m³/s, respectivamente, logo antes dos dias 5 e 11 de dezembro e retornando a números inferiores a 0,4 m³/s, aproximadamente 3 dias após seus picos máximos. Uma nova guinada acentuada se apresenta entre os dias 14 e 15 de dezembro, superando 1,6 m³/s no dia 15 do mesmo mês, seguido de um período de recessão lenta e terminando o período de amostragem em torno de 0,7 m³/s em 23 de dezembro.

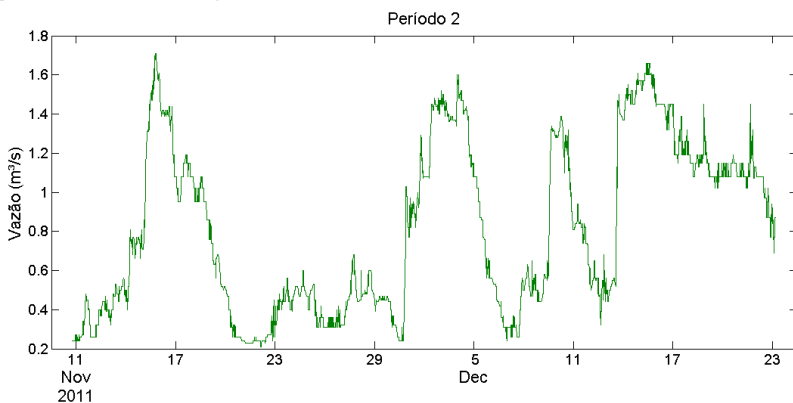


Figura 35: Vazão na exutória da bacia do João Gualberto.

5.2.2.3.1 Distribuição dos Valores de Vazão

Para analisar a distribuição dos valores de vazões acima descritos da bacia do João Gualberto, foi construído um gráfico em formato de histograma. Assim, o primeiro passo consistiu em calcular o número de classes de distribuição, seguido da amplitude e limites das mesmas.

O número de classes e sua amplitude foram obtidos usando as seguintes equações:

$$k = 1 + 3,3 * \log n \quad (7)$$

$$h = AT/k \quad (8)$$

$$AT = Q_{\max} - Q_{\min} \quad (9)$$

onde, k representa o número de classes; n o número de dados observados; h a amplitude das classes; AT a amplitude total dos dados; Q_{max} a vazão máxima encontrada; e Q_{min} a vazão mínima observada.

A Figura 36 apresenta a distribuição das vazões da exutória do JG. As duas classes mais encontradas são de valores baixos de vazões

dentro da série, situando-se entre 0,21 e 0,55 m³/s e aparecendo cada uma acima de 140 e 200 observações, respectivamente. As próximas duas grandes ocorrências aparecem na parte direita do gráfico, onde estão os valores que ultrapassam os 1 m³/s. O maior valor observado dentro destas categorias é de 1,46 m³/s e as categorias têm mais de 100 aparições cada. As demais classes estão espalhadas a esquerda e direita da parte central do histograma, variando seu número de ocorrências entre mais de 20 e 80 observações.

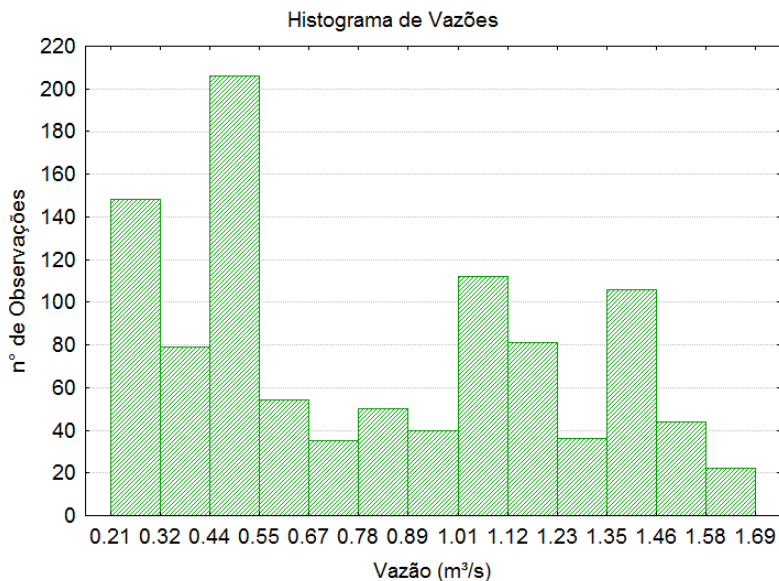


Figura 36: Histograma de Vazões do rio João Gualberto.

5.2.2.3.2 Curva de Permanência

A curva de permanência relaciona a vazão com a sua probabilidade de ocorrência, apresentando a frequência com a qual é superada ou igualada. Foi calculada a partir da série histórica de 42 dias mostrada na Figura 35 e que representa as vazões na exutória do JG. O resultado está ilustrado na Figura 37.

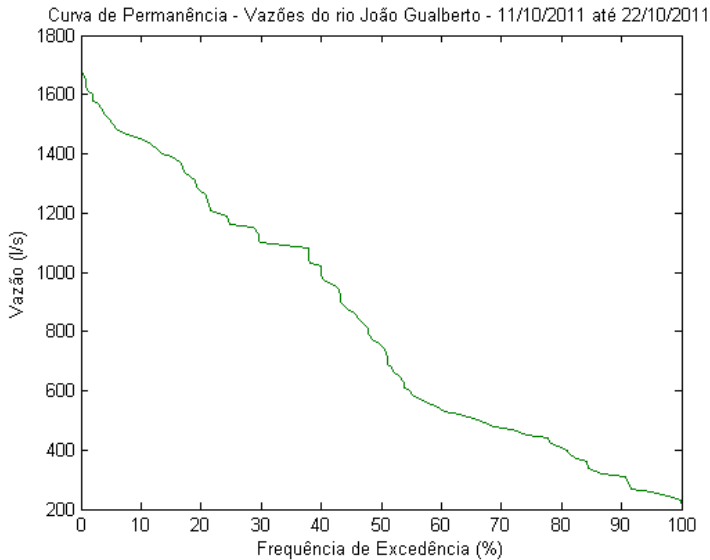


Figura 37: Curva de Permanência do rio João Gualberto.

De posse da curva de permanência, foi feita uma análise da mesma encontrando valores de vazão que superam ou se igualam a 50%, 75%, 90% e 95% do total de dados observados, chamados de Q50, Q75, Q90 e Q95. Os resultados estão expostos na Tabela 8.

Tabela 8: Vazões características do rio João Gualberto.

Vazões características	Valor (l/s)
Q ₅₀	750
Q ₇₅	446
Q ₉₀	312
Q ₉₅	260

Devido à falta de dados hidrológicos durante o período do aquecimento do modelo numérico, foi estabelecida a vazão Q95, aqui calculada, como descarga fixa do rio João Gualberto para esta etapa da modelagem.

5.2.2.4 *Nível da Lagoa da Conceição*

A Figura 38 demonstra o comportamento do nível do estuário da Lagoa da Conceição ao longo do período amostrado. Iniciando abaixo dos 20 centímetros negativos, a coluna de água tem uma subida razoavelmente constante durante 7 dias, variando aproximadamente 18 centímetros e chegando acima do nível de 5 centímetros negativos. O comportamento inverso e de maneira semelhante, descida, ocorre nos próximos dias, praticamente retomando o valor inicial antes do dia 23 de novembro, quando sofre nova elevação até a casa dos 13 cm abaixo do referencial 0. Depois de quase 9 dias de poucas mudanças significativas, verifica-se uma acentuada ascensão que varia mais de 20 centímetros e faz a coluna de água ultrapassar os 5 centímetros positivo, retornando a faixa dos 15 centímetros negativos rapidamente. Na sequência, percebem-se duas elevações seguidas menos intensas que a primeira e terceira, batendo próximas aos 10 negativos e 0 centímetros, respectivamente.

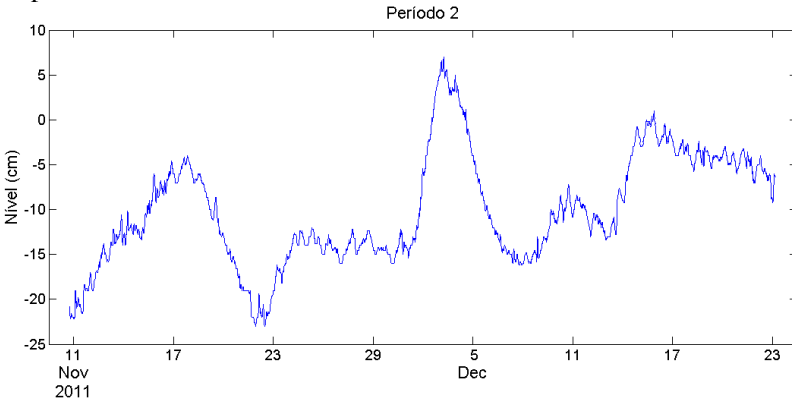


Figura 38: Nível interno amostrado da Lagoa da Conceição no segundo período.

5.2.2.5 Oscilação Maregráfica

O nível do mar do período simulado plotado na Figura 39, demonstra uma variação menor que 1,5 metros, não alcançando os limites de 1 metro positivo e 0,5 metros negativos. Ele se apresenta na maior parte do tempo alternando entre o intervalo de 0 e 0,5 metros, encontrando as maiores sobre-elevações em torno dos dias 12 e 14 de dezembro e os menores níveis próximos aos dias 13, 14 e 15 de novembro e 5, 12, 13 e 19 de dezembro.

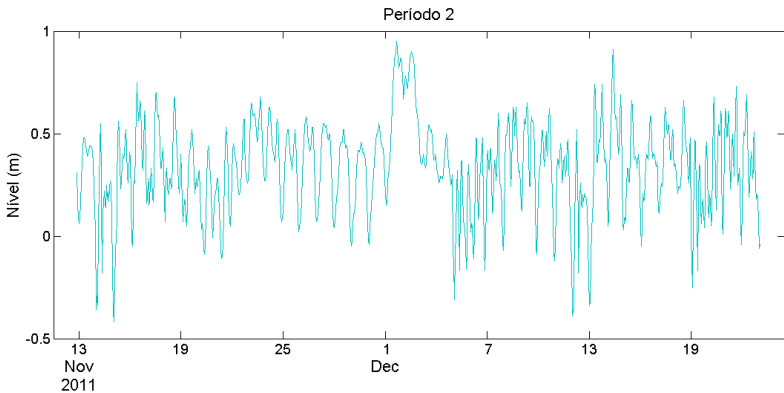


Figura 39: Nível mareográfico simulado pelo modelo GMOC.

5.2.2.6 Comportamento das variáveis

A fim de realizar uma comparação visual dos dados de nível da Lagoa e do João Gualberto e da vazão modelada do rio, estes foram plotados em um único gráfico, apresentado na Figura 40. Cada variável possui sua própria escala porque não se tem a intenção de analisar valores, apenas verificar comportamento.

Fica evidente que as subidas e descidas acontecem de maneira praticamente concomitante entre as três componentes, verificando um pequeno atraso de resposta do nível interno do estuário em relação ao nível e vazão do João Gualberto.

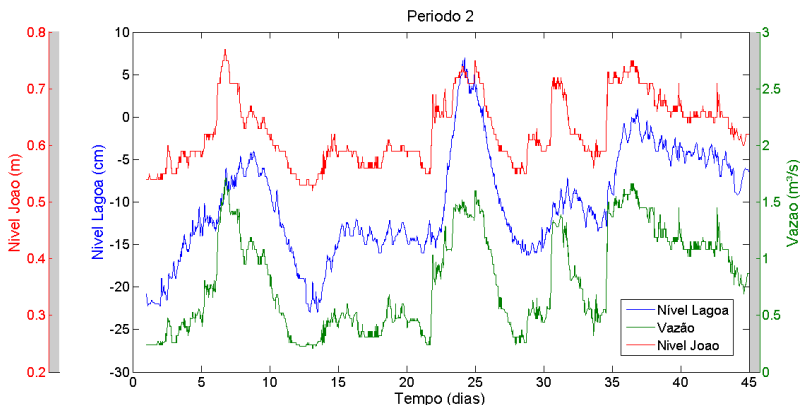


Figura 40: Plot dos níveis e vazão da lagoa e do rio João Gualberto.

5.2.2.7 Comparação dos dados

Para realizar uma análise no intuito de relacionar os dados de precipitação, vazão do rio e nível interno do estuário, os 3 parâmetros foram plotados na Figura 41. Deve-se ressaltar que os dados de precipitação não englobam todo o período analisado, compreendendo-se entre os dias de 10 de novembro e 13 de dezembro do ano de 2011.

Percebe-se que as primeiras subidas de nível e vazão coincidem com o período das precipitações que ocorreram nos dias 14 e 15 de novembro, equivalentes a 16 e 26 mm, respectivamente. Após intervalo de tempo seco e de poucas mudanças significativas, encontra-se uma série de eventos pluviométricos, onde as precipitações de 10 e 27 mm entre os dias 30 de novembro e 3 de dezembro acontecessem no mesmo instante em que se tem grande variação no volume do escoamento superficial da bacia do rio João Gualberto e do nível da Lagoa da Conceição, da qual tem seu pico com aproximadamente 20 centímetros acima do valor anterior ao início das chuvas. Depois de alguns dias secos e de retrocesso da altura de coluna de água da Lagoa e da vazão da bacia ao norte do estuário, temos novas elevações de nível e fluxo de água escoado e 3 dias de chuva com acumulado total de 29 mm nos dias 7, 8 e 9 de dezembro. Quatro dias depois, um evento de 23 mm coincide com um salto da vazão que ultrapassa 1,5 m³/s do rio e uma crescente no nível da lagoa da Conceição. Em seguida, observa-se uma lenta queda no nível e vazão, que se estende até o final do período analisado.

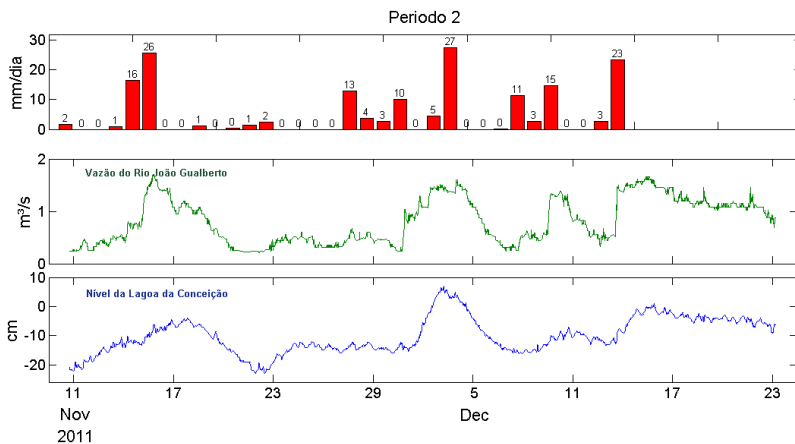


Figura 41: Dados de Precipitação, Vazão do João Gualberto e Nível da laguna.

5.3 Modelagem Hidrodinâmica

Este capítulo irá abordar os resultados das simulações geradas com o modelo numérico *Mohid WATER*.

5.3.1 Aquecimento

O nível maregráfico medido pelo LaHiMaR e usado para aquecer o modelo foi comparado com o nível modelado na fronteira externa. A comparação está ilustrada na Figura 42, que evidencia um acompanhamento do comportamento.

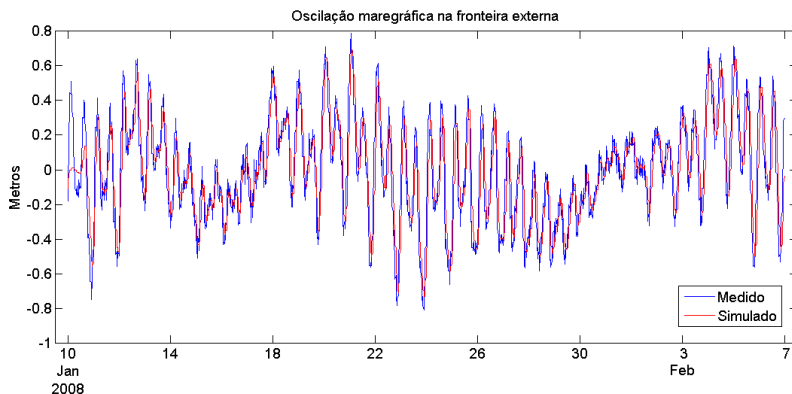


Figura 42: Comparação entre o nível do mar medido e simulado na fronteira externa.

5.3.2 Níveis de água

A análise dos resultados de nível foi feita avaliando a série temporal do mesmo dentro do estuário e os campos médios, mínimos e máximos ao longo do período simulado. Os resultados estão integrados ao longo do tempo e estão expressos em metros.

6.3.2.1 *Nível Interno*

Os dados obtidos do nível interno da laguna foram contrastados com resultados das simulações. A Figura 43 ilustra o dado medido do nível intralagunar e o resultado das simulações para mesma região forçando o modelo diretamente com a medição interior aplicada na desembocadura interna do canal da Barra. Verifica-se um acompanhamento constante entre os resultados medidos e modelados com atraso mínimo de aproximadamente 1 dia para estabilização das diferenças dos níveis.

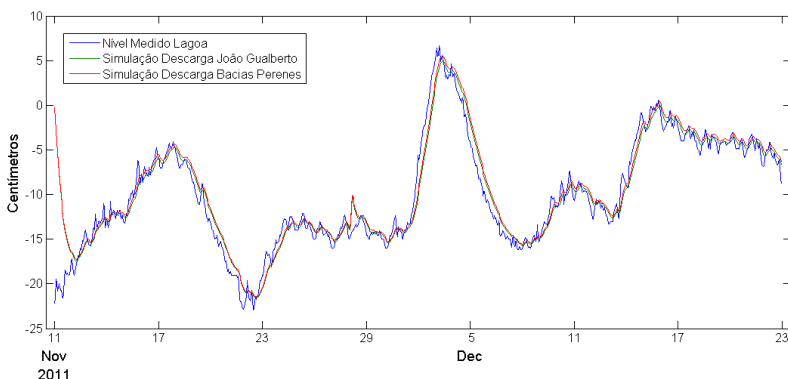


Figura 43: Comparação entre dados medido e simulados do nível interno da laguna para forçante com o nível interno.

A Figura 44 exibe os níveis internos medidos e modelados dos Cenários 3 e 4. Os dados foram plotados retirando a média de cada série temporal e observa-se uma diferença entre os picos das diferentes séries, lembrando que as componentes de maré do modelo GMOC aplicadas na fronteira aberta do modelo estão visivelmente subestimados. Apesar disso, existe um comportamento similar de subidas e descidas.

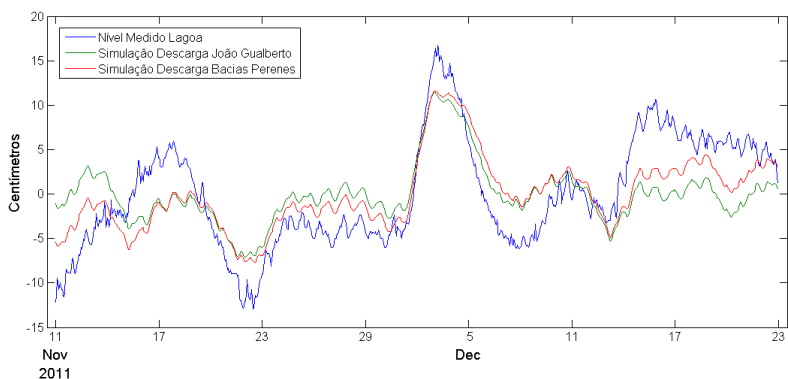


Figura 44: Comparação entre dados medido e simulados do nível interno da laguna para forçante maregráfica simulada com o GMOC.

6.3.2.2 Níveis Máximos, Médios e Mínimos

Foram selecionados pontos em zonas distintas dentro da laguna para analisar os campos residuais de nível. A Figura 45 ilustra os locais onde os níveis foram avaliados.

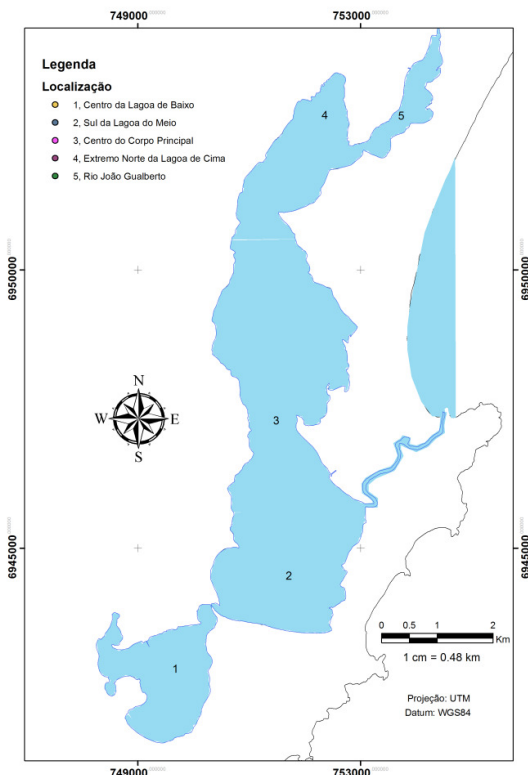


Figura 45: Localização dos pontos de níveis avaliados.

Conforme apresentado na Figura 46 para as modelagens realizadas com a forçante interna, os níveis máximos, médios e mínimos apresentam-se uniformes tanto nos diferentes pontos da laguna, como nos Cenários distintos simulados. É possível perceber uma leve diferença na Lagoa de Baixo para os três casos, havendo pequena elevação da altura quando se insere o aporte de água das outras fontes hidrológicas. Nessa região, as amplitudes entre mínimas e máximas com

descarga única do rio JG e das Bacias Perenes são de 24,68 e 26,11 centímetros, respectivamente. Isso caracteriza um acréscimo de 6% nas diferenças das amplitudes entre mínimas e máximas com a inserção da componente hidrológica das Bacias Perenes frente ao cenário 1 na Lagoa Sul.

As médias para o período simulado encontram-se abaixo do referencial zero, próximo a 10 centímetros negativos. As mínimas situam-se 11 centímetros de distância das médias, estando 21 centímetros inferior ao zero, e as máximas estacionaram em 5 centímetros positivos, 15 acima dos valores médios.

A amplitude total da variação de nível ao longo do período considerado foi de 26 centímetros, com maiores diferenças das médias em relação às máximas, tendo está 15 centímetros de distância contra apenas 11 se comparado às mínimas.

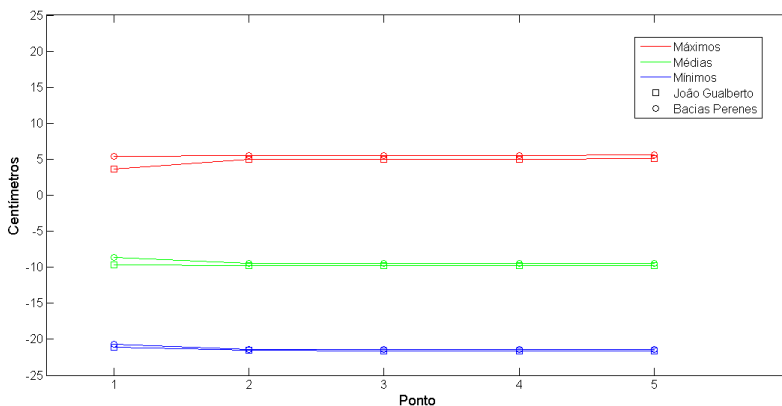


Figura 46: Níveis máximos, médios e mínimos da laguna para os Cenários forçados com nível interno.

Nas modelagens feitas a partir das séries de maré simuladas pelo GMOC e mostradas na Figura 47, o nível intralagunar também se comporta uniforme em toda sua extensão, apresentando pequenos desvios na Lagoa sul. As amplitudes entre as médias e máximas superam as amplitudes entre médias e mínimas e seu valor total nos dois Cenários fica em torno de 20 centímetros, defasado 6 centímetros se comparado com os Cenários forçados com vazão interna.

Fica evidente que a componente de maré tem sua magnitude de atuação enfraquecida nos processos hidrodinâmicos no interior da Lagoa nos níveis simulados nestes dois Cenários, devido a provável

subestimação do nível oceanográfico aplicado na fronteira externa do modelo.

As diferenças encontradas nos cenários 3 e 4 indicam inconfiabilidade nos dados de entrada, devido a grande discrepância dos resultados.

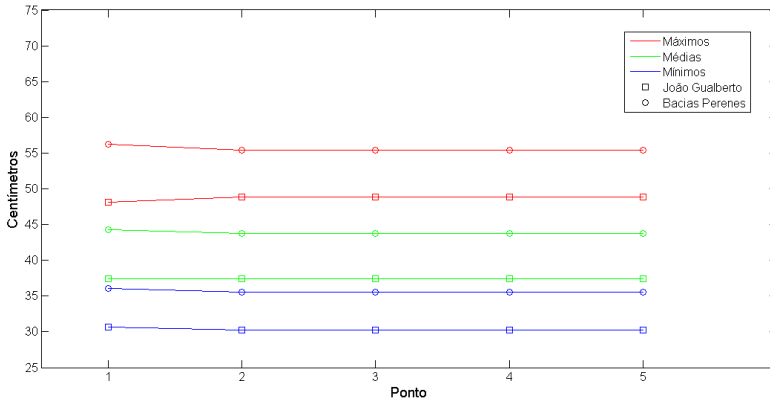


Figura 47: Níveis máximos, médios e mínimos da laguna para os Cenários forçados com a série GMOC.

5.3.3 Velocidade

A seguir, estão retratados os resultados da modelagem para velocidades residuais da laguna. Os Cenários foram analisados em termos de velocidades médias, máximas e dispersão média.

5.3.3.1 Velocidade no Canal da Barra

Selecionado a desembocadura lagunar do canal da Barra para avaliação das velocidades, a Figura 48 demonstra também o comportamento da vazão do JG e do nível interno da laguna ao longo do tempo para o Cenário 2. Valores positivos de velocidade significam que a água toma o sentido do oceano, enquanto valores negativos indicam a entrada de massa líquida no estuário.

Observa-se que o aumento do aporte de água doce no estuário reflete em um acréscimo no nível de água no interior da Lagoa, mas as grandes elevações acontecem nos instantes em que se têm

simultaneamente entrada de água na laguna, tanto pelo canal, quanto pelas descargas hidrológicas. O maior nível interno é visto no início do mês de dezembro, onde se vê uma vazão de água doce consistente e as maiores velocidades negativas na seção avaliada, o que indica nível maregráfico alto e atuante no sistema, lançando água para dentro do estuário.

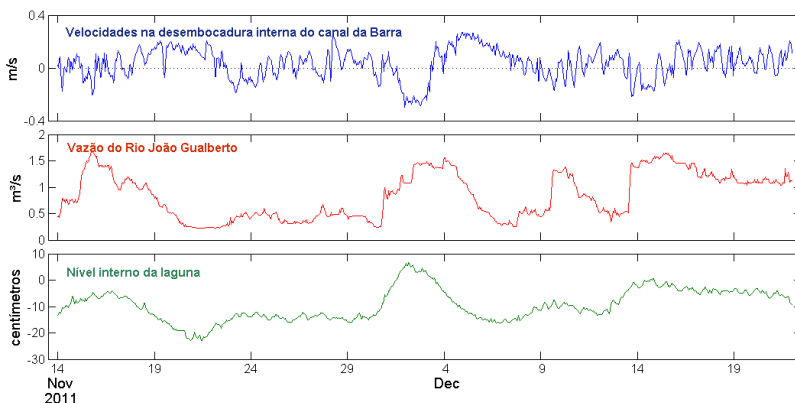


Figura 48: Comparação dos resultados de velocidade no canal, vazão do JG e nível interno da laguna.

5.3.3.2 *Velocidade Média*

Para análises de velocidade, fluxo e salinidade, foram escolhidos três pontos no interior da laguna, cada um representando as regiões norte, centro e sul do estuário. A Figura 49 apresenta os pontos e suas localizações.

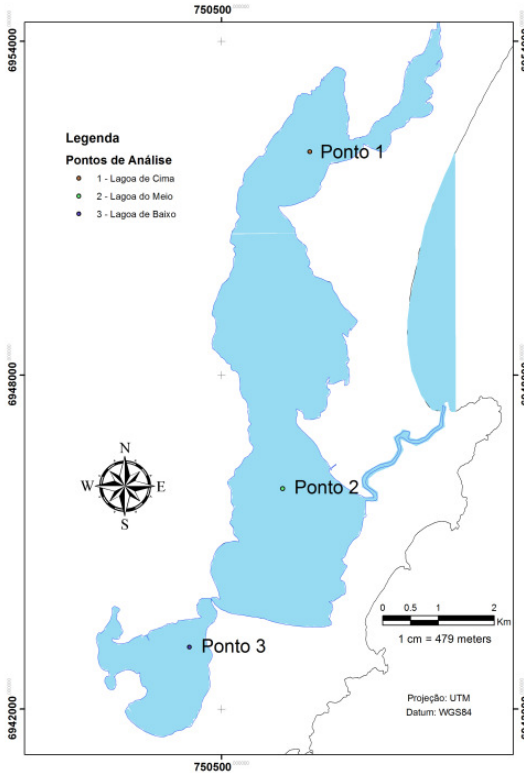


Figura 49: Pontos de análise da Lagoa da Conceição.

Os gráficos a seguir apresentam intensidades das velocidades residuais na Lagoa da Conceição representadas pelas cores e as direções dos vetores de velocidade.

Os Cenários 1 e 2, para velocidades residuais médias do estuário, estão exibidos nas Figuras Figura 50 e Figura 51. Na imagem da esquerda, o rio João Gualberto já predomina na hidrodinâmica local, garantindo o sentido norte-sul do escoamento até o canal de ligação com o oceano. Sua intensidade é máxima na exutória do JG e perde intensidade após sair do braço que o liga a Lagoa, retomando magnitude assim que se aproxima ao canal da Barra. Na parte sul do corpo central e na Lagoa de Baixo as intensidades são mínimas e o sentido do escoamento residual se dá rumo ao interior do corpo sul.

No gráfico da direita, as descargas de água ao longo da bacia intensificam o escoamento do João Gualberto substancialmente, elevando as magnitudes das velocidades no corpo principal da laguna. A Lagoa de Baixo e o sul do corpo central têm intensidades bastante diversificadas e o sentido de fluxo do primeiro se inverte com a inserção de descargas hidrológicas do Cenário 2.

Analisando a região norte, por meio do ponto 1, a inserção das descargas hidrológicas das bacias perenes fizeram com que as velocidades médias sofressem acréscimo próximo a 200%, triplicando os valores encontrados no Cenário 1.

Partindo para o ponto localizado na Lagoa do Meio, as velocidades médias do Cenário Base mostraram superioridade de 350% frente ao primeiro caso, mostrando a importância da componente hidrológica nos processos de circulação da Lagoa da Conceição.

Descendo para a Lagoa de Baixo, as alterações não se restringem as magnitudes, que passam de 1,5m/dia no Cenário 1 para 16 m/dia no ponto 3, mas também invertem totalmente a direção do escoamento das águas. Os resultados das simulações dessa região mostram grande dissimilaridade.

Fica evidente a importância do rio João Gualberto na hidrodinâmica das águas da laguna e como a componente hidrológica da bacia hidrográfica do estuário fortalece ainda mais seu predomínio no corpo central. A hidrologia do corpo sul tem o controle na hidrodinâmica do seu corpo e da zona sul do corpo principal da Lagoa da Conceição.

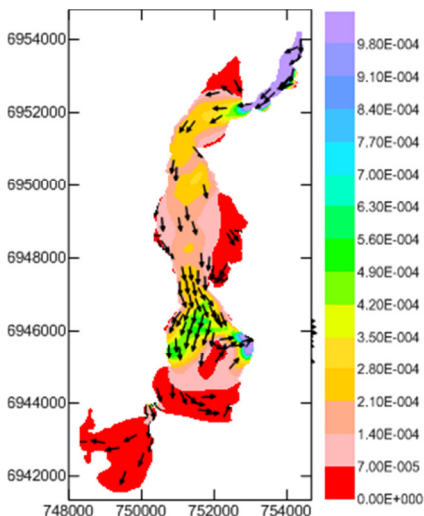


Figura 50: Velocidade média apenas com rio JG e forçante interna em m/s.

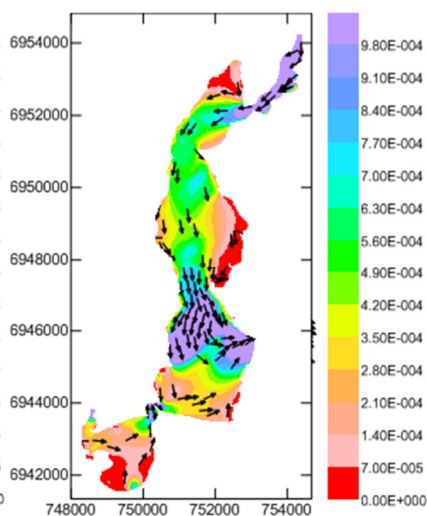


Figura 51: Velocidade média com descarga na bacia e forçante interna em m/s.

A Figura 52, representando o Cenário 3, mostra as maiores velocidades partindo da desembocadura lagunar rumo à parte norte da Lagoa. No sentido inverso da direção, as águas do rio João Gualberto imprimem uma direção norte-sul e as velocidades opostas se encontram próximo ao afunilamento ao norte do corpo principal. Sem descargas na Lagoa sul, as velocidades indicam fluxo de água enchendo o corpo sul do estuário que, juntamente com a ponta norte da laguna, apresenta baixa magnitude de velocidade.

A inserção da componente hidrológica na bacia da Lagoa da Conceição mostrada na Figura 53, revela que o aporte de água doce da costa oeste da laguna da Conceição e o rio Vermelho intensificam a atuação do rio João Gualberto na hidrodinâmica local, dando supremacia ao JG no escoamento das águas. Assim, as maiores magnitudes de velocidade se encontram exatamente no braço da laguna que encontra o rio João Gualberto e na entrada da desembocadura interna do canal da Barra, do qual assume neste momento fluxo reverso ao Cenário 1 com as águas seguindo em direção ao oceano. Com aporte de água na Lagoa de Baixo, a direção de escoamento se altera partindo do sul para o corpo central e a intensidade aumenta expressivamente no seu lado oeste.

Examinando o ponto norte dos casos 3 e 4, a velocidade média triplicou no Cenário 4, com acréscimo próximo a 200%.

No ponto da Lagoa do Meio, as modificações foram bastante contundentes. Além de apresentar alterações nas magnitudes das velocidades, o sentido do escoamento, que seguia ao norte no terceiro Cenário, passa a tomar o rumo do canal da Barra da Lagoa no Cenário 4.

Seguindo as características acima descritas na Lagoa do Meio, a Lagoa de Baixo exhibe o mesmo comportamento, descrevendo grandes diferenças entre os Cenários.

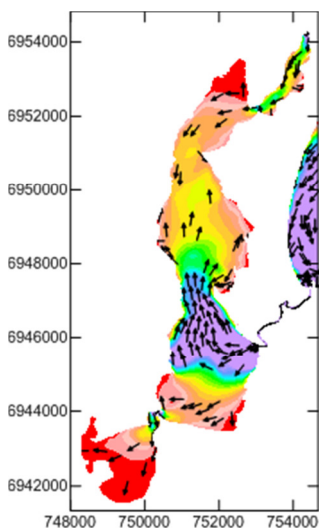


Figura 52: Velocidade média apenas com rio João Gualberto em m/s.

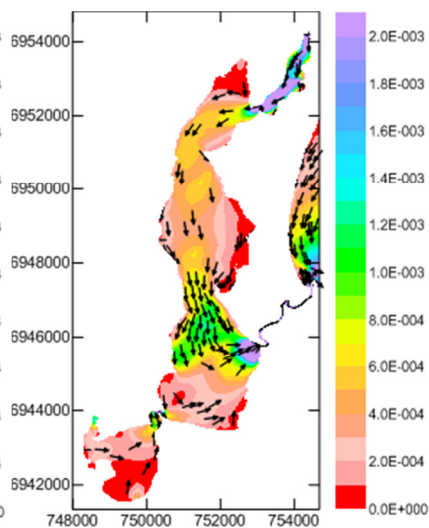


Figura 53: Velocidade média com descarga na bacia em m/s.

Além de modificar as direções e velocidades principais do escoamento no estuário, o Cenário 2 mostra ainda uma redução relevante da intensidade do lado leste da Lagoa do Meio, acima do canal da Barra, próximo ao ponto de encontro das velocidades inversas do Cenário 1.

Fazendo uma comparação entre o Cenário base (Cenário 2) e o Cenário 4, fica visível a subestimação do nível maregráfico. No segundo caso, o escoamento na laguna acontece a partir da forçante hidrológica e no sentido predominante da descarga do rio JG, que não encontra forças contrárias equivalentes a sua magnitude. Assim, no Cenário 4 as

velocidades médias residuais no sentido norte-sul que seguem rumo ao canal da Barra ganham intensidade, aumentando mais de 2 vezes em relação as máximas encontradas no Cenário base e as velocidades que adentravam ao estuário no Cenário base invertem sentido, esvaziando a laguna.

5.3.3.3 Velocidades Máximas

As Figuras Figura 54 e Figura 55 trazem as velocidades residuais máximas ao longo do período simulado para os Cenários 1 e 2. Pode-se ver que nos dois Cenários as magnitudes e direções são bastante semelhantes, com valores que superam a marca máxima da escala de 0,05 m/s. No período simulado, os maiores valores de velocidade máxima residual se caracterizam pela atuação oceanográfica dentro do estuário. Nas duas imagens o auge das intensidades se apresenta próxima à desembocadura lagunar e a direção rege o escoamento sentido norte adentrando no braço que chega a exutória do João Gualberto. A única disparidade vista nas ilustrações está na direção das velocidades na Lagoa de Baixo que se inverte com a entrada de água doce.

Avaliando numericamente as regiões, os pontos ao norte e central do estuário não evidenciaram alterações significativas entre as simulações, com diferenças que não ultrapassam 2,5% nas velocidades máximas.

O ponto da Lagoa Sul foi o único que relata variação, alterando o sentido do escoamento ao inserir a hidrologia do Cenário Base.

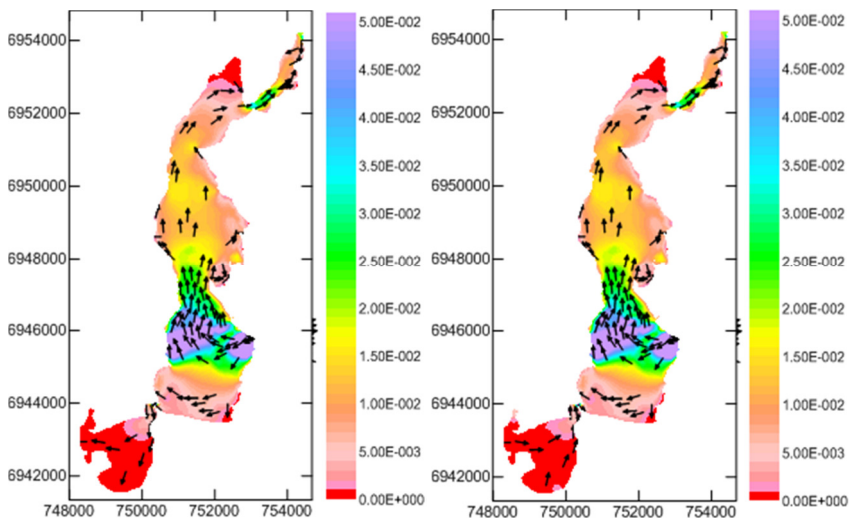


Figura 54: Velocidades máximas apenas com rio JG e forçante interna em m/s.

Figura 55: Velocidades máximas com descarga na bacia e forçante interna em m/s.

Forçando o modelo com o nível simulado pelo GMOC e o canal da Barra, as Figuras Figura 56 e Figura 57 trazem as velocidades residuais máximas ao longo do período simulado para os Cenários 3 e 4. Do lado esquerdo, as direções inversas impostas pelo nível externo e o rio JG encontram-se próxima à coordenada métrica horizontal 6950000. As maiores intensidades possuem sentidos inversos e estão localizadas no braço norte do rio João Gualberto e na zona da desembocadura interna do canal, da qual está última tem magnitudes superiores que vão perdendo força indo ao encontro do rio João Gualberto. A componente oceanográfica consegue ainda atuar sobre a Lagoa sul com direção de escoamento que adentra em seu corpo.

No Cenário 4, o aumento das descargas hidrológicas intensificam a magnitude do rio João Gualberto deslocando o ponto de encontro entre as velocidades máximas provinda do canal e da parte norte do estuário um pouco para baixo. Na Lagoa de Baixo, os sentidos se invertem e evidencia-se o aumento da intensidade do escoamento partindo leste rumo ao corpo central.

No ponto norte, as velocidades aumentam em 150% no Cenário 4. No ponto central, as magnitudes caem para 95%, e na Lagoa de Baixo, as velocidades mudam de direção.

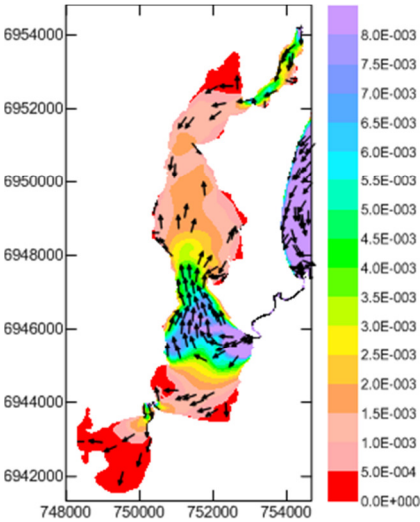


Figura 56: Velocidades máximas apenas com rio JG em m/s.

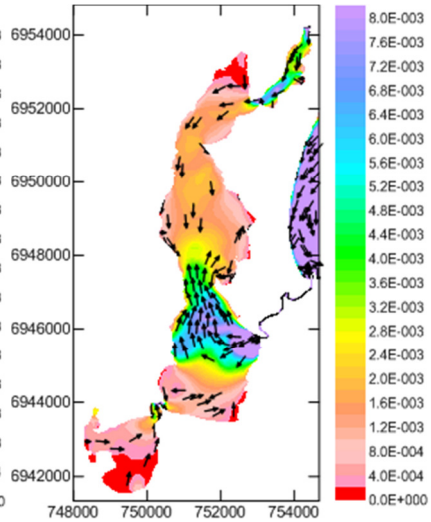


Figura 57: Velocidades máximas com descarga na bacia em m/s.

Analisando os Cenários base e o 4, o primeiro encontra suas velocidades máximas forçadas pela atuação da maré com as maiores velocidades na saída do canal, perdendo magnitude conforme segue ao norte e adentrando no braço do JG. No Cenário 4, a forçante oceanográfica perde intensidade e suas máximas ficam em torno de 85% menores. A parte hidrológica ganha magnitude e o escoamento partindo do rio João Gualberto é predominante até a metade do corpo central, local onde as forças contrárias se anulam.

5.3.3.4 Dispersão Média

O gráfico da Figura 58 destaca a dispersão média da velocidade no estuário para o Cenário Base. Ela foi calculada através do desvio padrão dos dados e indica o grau de variação das velocidades encontradas na modelagem dentro da laguna.

Enxerga-se que as maiores dispersões situam-se próximas ao canal da Barra e que elas diminuem adentrando Lagoa acima e ganham nova magnitude no braço de ligação com o João Gualberto.

A baixa variabilidade na dispersão média é vista na Lagoa de Baixo, estendendo-se até a parte sul da Lagoa do Meio e reaparecendo ao norte da Lagoa de Cima.

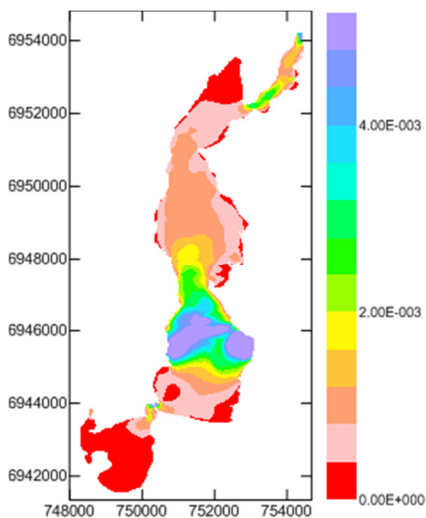


Figura 58: Dispersão média da velocidade no Cenário base (m/s).

5.3.5 Fluxo

Esta sessão tem a finalidade de avaliar o fluxo de água dentro do estuário nas simulações. Foram avaliados os fluxos médios residuais nos 4 Cenários apresentando sua intensidade e direção.

5.3.5.1 Fluxo Médio

Forçando o modelo com a medição interna da laguna e sem o canal, a Figura 59 aponta supremacia do rio João Gualberto no fluxo médio residual, com maiores magnitudes partindo da exutória da bacia do JG e valores em torno de 0,7 m³/s e decrescendo à medida que segue

até o canal da Barra. Grandes áreas do estuário apresentam residuais baixos coloridos com vermelho, incluindo a Lagoa de Baixo que, no geral, ganha pouca massa d'água originária do corpo principal da lagoa.

No Cenário 2 exibido na Figura 60, as magnitudes máximas da direção norte-sul do escoamento ultrapassam $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$, com ganhos de intensidade superiores a 85% no canal principal do fluxo comparado com o Cenário anterior. A descarga a oeste da Lagoa de Baixo assume o controle da hidrodinâmica deste corpo, elevando as intensidades de fluxo até $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ e alterando a direção do escoamento rumo ao corpo central, ajudando na elevação das magnitudes ao sul da Lagoa principal e contribuindo com a vazão que toma o caminho do canal da Barra da Lagoa.

No ponto de análise 1, situado na região norte, o fluxo médio sobe de $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ para $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$, mostrando a forte influência hidrológica.

Na região central, o ponto 2 tem fluxo médio de $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ no primeiro caso, alcançando $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$ no Cenário Base.

A Lagoa de Baixo não apresenta comportamentos semelhantes nas simulações. O sentido do fluxo se inverte e a magnitude média no ponto 3 chega a $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

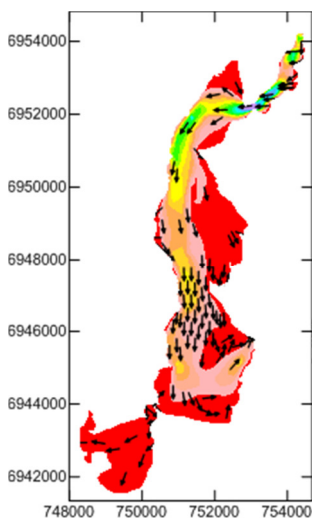


Figura 59: Fluxo médio apenas com rio JG e forçante interna em m^3/s .

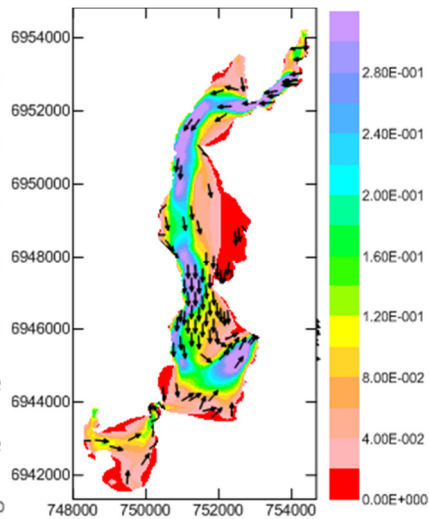


Figura 60: Fluxo médio com descarga na bacia e forçante interna em m^3/s .

As Figuras Figura 61 e Figura 62 expõe o fluxo médio residual do estuário para os Cenários 3 e 4.

À esquerda, o gráfico traz o predomínio do João Gualberto no escoamento, que desce a partir dele rumo ao canal de ligação com o oceano. É visível que os maiores valores se concentram a oeste do estuário, passando pelas grandes profundidades da laguna. O corpo sul não apresenta fluxo residual relevante.

Com o aporte de água das bacias perenes, os fluxos médios residuais originados no rio JG ganham bastante intensidade lançando massa de água para fora do estuário. Além disso, fica evidente que a Lagoa sul passa a ter seu fluxo controlado pela descarga a oeste com grande aumento de magnitude, descarregando água para o corpo central e aumentando as intensidades ao sul do corpo central, contribuindo ainda mais com a vazão na desembocadura lagunar no sentido de dentro para fora da Lagoa da Conceição, exatamente como no Cenário base.

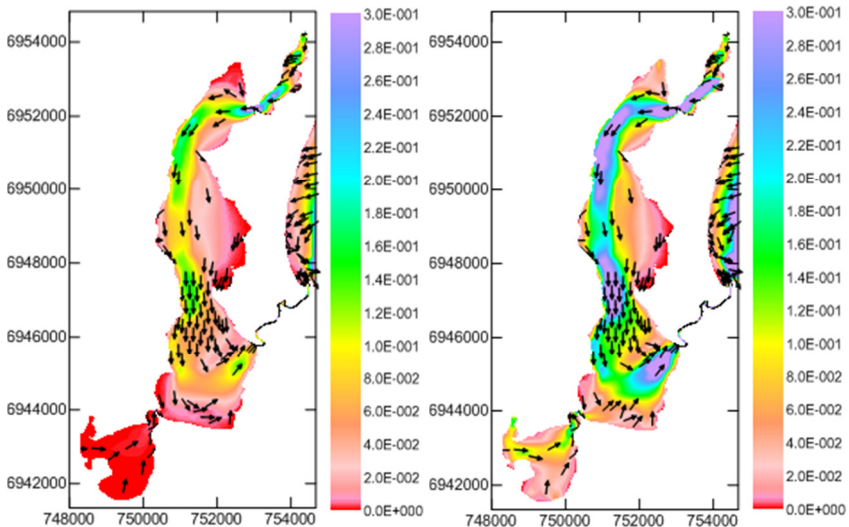


Figura 61: Fluxo médio apenas com rio João Gualberto em m³/s.

Figura 62: Fluxo médio com descarga hidrológica na bacia em m³/s.

Condizendo com os resultados de velocidade média residual e referente ao Cenário base, o Cenário 4 tem seu fluxo amplificado, partindo do João Gualberto em direção ao oceano aberto causado pela diminuição das forçante oceanográficas impostas na fronteira aberta.

5.3.5.2 Fluxo nas Seções de Corte

Visando melhorar a compreensão dos fluxos médios residuais intralagunar, fez-se uma verificação de seus campos em importantes seções do estuário. Foram realizados 5 cortes na laguna, obtendo seções para análise, apresentadas na Figura 63.

O primeiro corte é de grande importância para análise comparativa dos resultados é a desembocadura interna do canal da Barra da Lagoa, seguido pelo corte 2 que se localiza na ponte que liga a Lagoa de Baixo com o corpo principal e se caracteriza com um pequeno canal de aproximadamente 10 metros de comprimento e 2 metros de profundidade. Os cortes 3 e 4 foram selecionados por representarem 2 leves estrangulamentos da Lagoa do Meio e de Cima. Finalizando, foi escolhido o estreitamento que liga o braço do rio João Gualberto ao corpo principal da laguna como o corte 5.

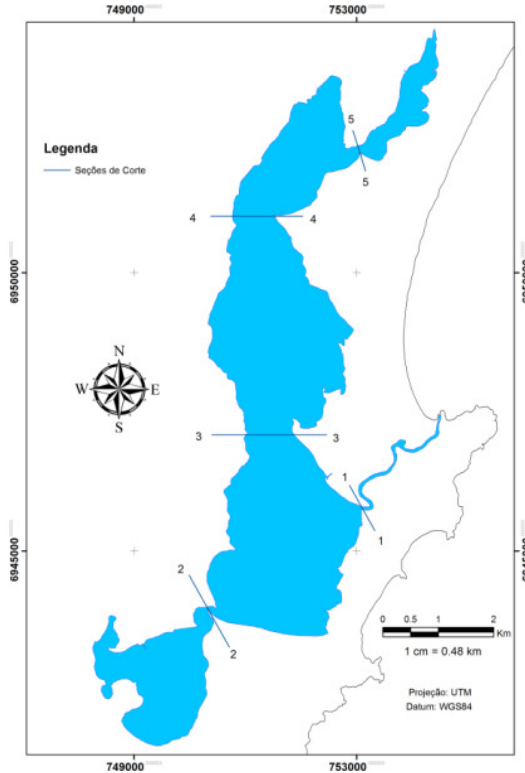


Figura 63: Cortes das seções de análise da laguna.

A Tabela 9 apresenta as características das seções de corte escolhidas para análise. Todas as células de uma mesma seção possuem larguras e comprimentos iguais. Os dois maiores cortes situam-se no interior do corpo central e foram numerados como 3 e 4.

Tabela 9: Características das seções de corte.

Seção	Área(m ²)	Largura da Seção (m)	n ^o células da grade
1	225	45	3
2	100	10	1
3	80000	800	8
4	70000	700	7
5	1500	100	1

A1) Corte 1 x Cenários 1 e de Base (2)

Aqui, os valores positivos indicam que a água toma o rumo do oceano, enquanto os valores negativos definem entrada de fluxo na laguna.

Para efeito de comparação, calculou-se o que se chamou de Diferença Quadrática Média (DQM), calculada pela equação a seguir:

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (10)$$

A DQM dos Fluxos na seção 1, apresentados na Figura 64, foi de 2,5 m³/s. No primeiro Cenário, a água segue para o Oceano em 54% do tempo, aumentando para 65% no Cenário Base. Isso reflete a importância da hidrologia na seção analisada e identifica uma diferença considerável entre os Cenários simulados.

A proximidade com o oceano é demonstrada pela variabilidade na série, com picos de máximos e mínimos diários bem definidos. Sendo está à seção com maior fluxo dentro da laguna, os maiores valores de fluxo observados ultrapassam os 20 m³/s positivo e negativo.

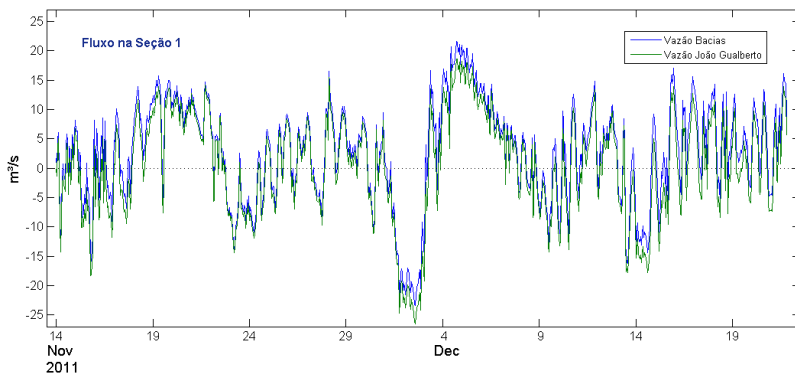


Figura 64: Fluxo na desembocadura lagunar.

B1) Cortes 2 e 3 x Cenários 1 e de Base (2)

A Figura 65 ilustra os fluxos ao longo do período simulado para as seções 2 e 3.

O corte 2 é de pequena dimensão e minimiza a forçante maregráfica que atua no corpo principal do estuário. É visível um comportamento que suaviza as mudanças diárias de maré, significando pouca atuação de seus componentes astronômicos na Lagoa de Baixo.

A média do fluxo na seção 2 nos Cenários 1 e Base é de $-0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. Os sinais indicam que no primeiro caso, o fluxo residual médio se dá no sentido do corpo principal do estuário, rumo à Lagoa de Baixo, com valor próximo ao zero, enquanto que, no segundo Cenário, a água toma o sentido inverso com fluxo residual médio próximo a 20% do máximo no período.

A Diferença Média Quadrática calculada entre os Cenários foi de $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalendo a mais de 20% das máximas encontradas no período. Nesta seção, as descargas hidrológicas da bacia fazem com que exista uma diferença evidente no fluxo entre os Cenários 1 e 2, podendo intensificar a quantidade de massa transportada com maior vazão de água doce entrando, ou ainda alterar o sentido do fluxo entre os dois compartimentos.

Na seção 3, as magnitudes máximas ultrapassam $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, tanto positivamente, quanto negativamente. A DQM calculado foi de $0,031 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondendo a pouco mais de 10% dos valores extremos.

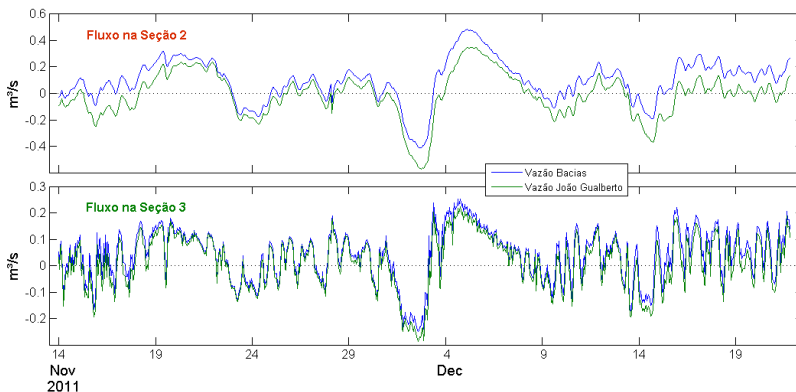


Figura 65: Fluxo nas seções 2 e 3.

C1) Cortes 4 e 5 x Cenários 1 e de Base (2)

As seções 4 e 5 estão localizadas na Lagoa de Cima e no braço de ligação com a desembocadura do JG, respectivamente. Os dois cortes seguem condutas distintas dos outros e semelhantes entre si, apresentando magnitudes diferentes (Figura 66). Os valores negativos significam fluxo no sentido sul na seção 4 e saindo do braço para o corpo principal no corte 5.

A DQM entre os Cenários na seção 4 é de 0,045 m³/s e os picos máximos de fluxo ficam em torno de 0,5 m³/s. Nela, o fluxo no sentido sul predomina com 60% do tempo no primeiro Cenário e em 70% no Cenário 2, destacando a importância hidrológica e a influência das outras descargas de água doce na região.

No braço de ligação do João Gualberto, a componente hidrológica comanda o escoamento. Os picos do Cenário Base chegam a 4 m³/s, transportando massa líquida rumo ao sul e a Diferença Quadrática Média entre os dois casos calculado foi de 0,9 m³/s, próximo a 20 % dos fluxos máximos do segundo cenário.

Os fluxos seguem sentido ao canal da Barra em 90% no Cenário 1, aumentando para quase 100% com a inserção das outras descargas do Cenário 2.

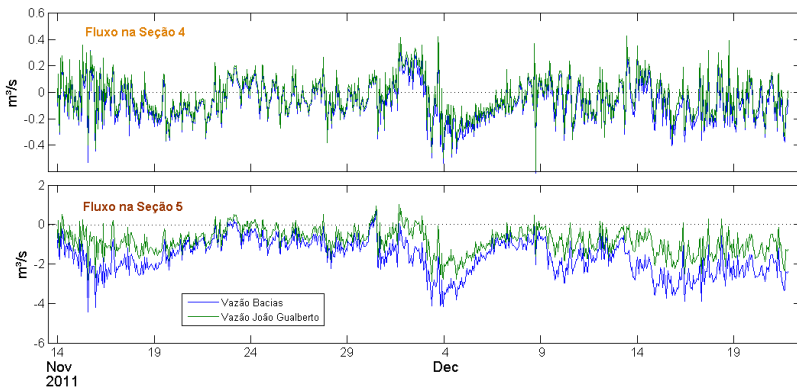


Figura 66: Fluxo nas seções 4 e 5.

A2) Corte 1 x Cenários de Base, 3 e 4

Os fluxos na desembocadura interna do canal estão ilustrados na Figura 67. O gráfico superior compara os resultados do Cenário Base com Cenário 4 e o gráfico inferior, os Cenários 3 e 4, forçados com a maré simulada pelo GMOC com o canal da Barra e fronteira do oceano.

A DQM encontrado entre os Cenários 2 e 4 foi de 7,2 m³/s, equivalente a 35% dos picos máximos observados, ressaltando diferenças bastante significativas nos resultados. Em ambos os casos, a água segue para o Oceano em 65% do tempo. Identifica-se uma descontinuidade entre as simulações. O Cenário 4 em linha vermelha mostra amplitudes positivas e negativas que se distanciam constantemente do Cenário Base.

Comparando os Cenários 3 e 4 que aparecem na parte de baixo da Figura 67, a DQM calculado foi de 2,2 m³/s e o fluxo positivo passa de 56% no terceiro Cenário para 65% no quarto.

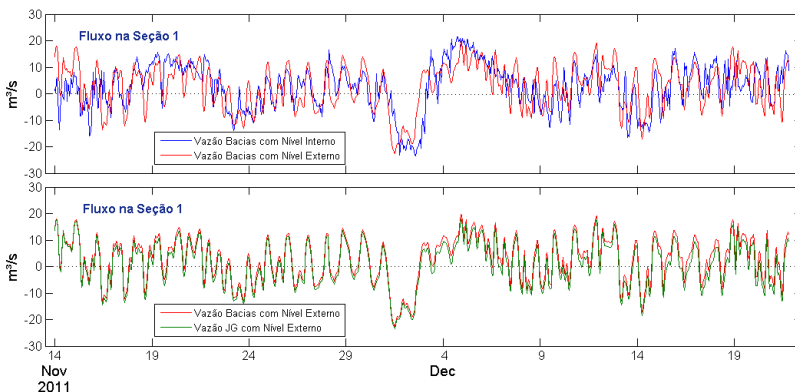


Figura 67: Comparações de fluxos na desembocadura lagunar.

B2) Corte 2 x Cenários de Base, 3 e 4

A Figura 68 relata o comportamento de fluxo na seção 2.

O gráfico superior compara os Cenários 2 e 4, onde a DQM calculado ficou em $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. A diferença é significativa e as diferenças são facilmente observadas nas duas séries apresentadas.

Nas simulações forçadas com o modelo GMOC, a DQM encontrado entre os cenários 3 e 4 foi de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, e suas médias ficaram em $0 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. O fluxo no sentido sul-norte prevalece em apenas 52% no primeiro caso, passando para 80% com a inserção das outras descargas de água doce.

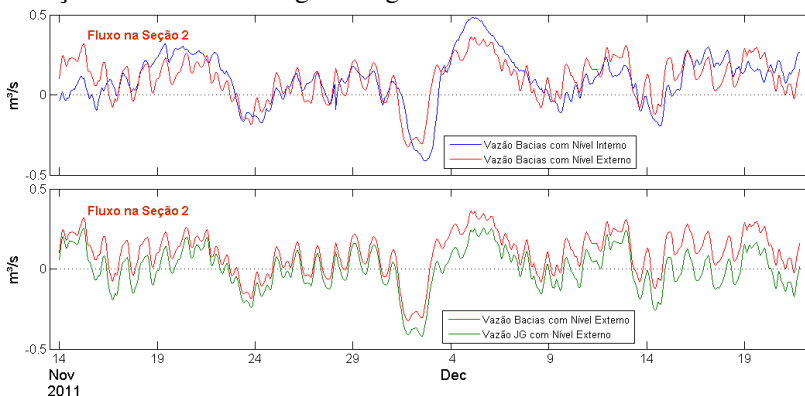


Figura 68: Comparações de fluxos na seção 2.

C2) Corte 3 x Cenários de Base, 3 e 4

O gráfico superior da Figura 69 ilustra os resultados das simulações dos Cenários Base e 4, encontrando uma Diferença Médio Quadrático de $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondente a aproximadamente 45% dos picos das séries. Suas médias se equiparam em $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$.

Destacando o gráfico inferior da Figura 69, a DQM calculado foi de $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$, e o escoamento segue de norte para sul em 57% e 65% nos cenários 3 e 4.

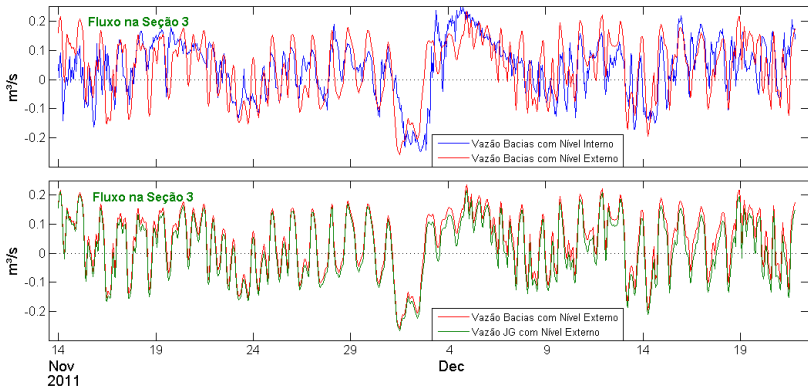


Figura 69: Comparações de fluxos na seção 3.

D2) Corte 4 x Cenários de Base, 3 e 4

As comparações de fluxo na seção 4 estão expostos na Figura 70.

No gráfico superior, a DQM entre as séries foi de $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$, o que representa quase 40% dos picos encontrados. Suas médias são iguais a $-0,07 \text{ m}^3/\text{s}$, indicando escoamento sentido norte-sul.

Analisando os Cenários 3 e 4 anexados no gráfico de baixo da Figura 70, a Diferença Média Quadrática calculado foi de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$. Suas médias passam de $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ negativos para $-0,07 \text{ m}^3/\text{s}$ com descargas das bacias perenes e permanecem no sentido norte-sul em 62% no terceiro Cenário, alterando-se para 71% no Cenário 4.

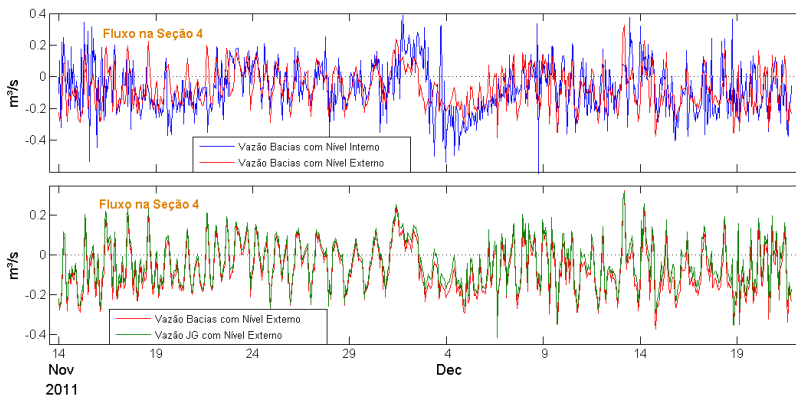


Figura 70: Comparações de fluxos na seção 4.

E2) Corte 5 x Cenários de Base, 3 e 4

Os fluxos na seção 5 para os Cenários de Base, 3 e 4 estão detalhados na Figura 71.

Sendo está região onde a componente hidrológica é dominante, os fluxos neste corte apresentam similaridades nos resultados entre o Cenário Base e o 4. A DQM observado foi de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e as médias nos dois casos ficaram em $-1,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tendo a forçante oceanográfica fraca atuação frente os aportes de água doce nessa região da laguna, as falhas na estimação do nível maregráfico não afetaram com grande magnitude os resultados das simulações.

Como discutido no parágrafo anterior, as descargas hidrológicas caracterizam a hidrodinâmica nesta região. Assim, as diferenças observadas entre os Cenários 3 e 4 ficam evidentes, ficando a DQM em $0,88 \text{ m}^3/\text{s}$.

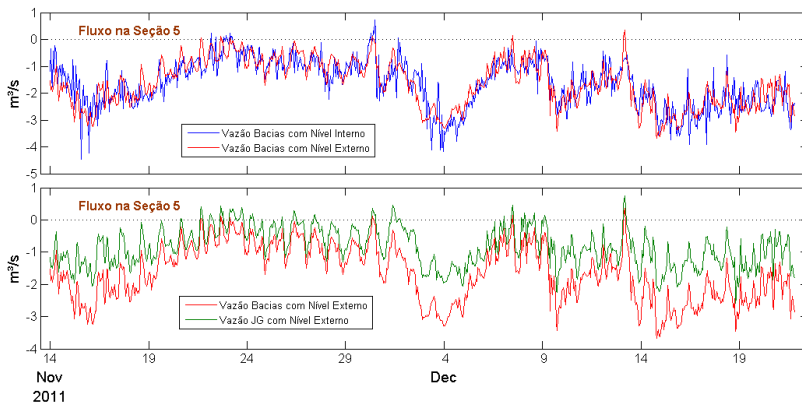


Figura 71: Comparações de fluxos na seção 5.

A3) Fluxo médio nas células das seções para o Cenário base na seção 1 e 2

Visando realizar uma análise das variações de fluxo médio residual ao longo das seções de corte, fez-se gráficos representando cada região para os resultados obtidos no Cenário base.

A Figura 72 apresenta certa uniformidade no escoamento na seção 1, sendo possível verificar uma leve vantagem de fluxo no centro e lado esquerdo sobre o canto direito. Os valores positivos indicam um residual de fluxo que segue rumo ao oceano, representando que ao longo de todo período de simulação a Lagoa da Conceição cedeu água ao mar. Este corte é um dos menores dos escolhidos para análise e mesmo assim, é o que mais transporta massa por ser de direta transição entre o mar e o estuário. Fluxo médio residual transfere mais de 9000 m³ de fluido por hora.

Na seção 2 que representa o canal de transição entre a Lagoa de Baixo e a Lagoa do Meio representado na Figura 73, o Cenário Base com descargas hidrológicas também inseridas no corpo sul, mostrou que na média residual a água fluiu cerca de 350 m³/h da Lagoa sul em direção ao corpo central.

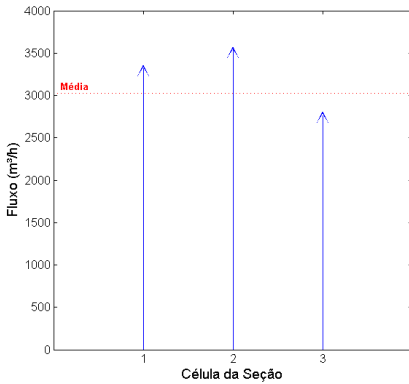


Figura 72: Fluxo nas células da seção 1.



Figura 73: Fluxo na célula da seção 2.

B3) Fluxo médio nas células das seções para o Cenário base na seção 3 e 4

As seções 3 e 4 são os maiores cortes selecionados para análise com 8 e 7 células de cálculo, respectivamente. A região é de importante interesse por serem afunilamentos localizados no corpo principal onde as forças principais maregráficas e hidrológicas podem gerar zonas de recirculação.

O corte definido como número 3 ilustra que as maiores vazões estão concentradas em sua parte central e apresentam grande queda nas células laterais (ver Figura 74). O fluxo médio em cada célula é de 18 m³/h e lança água partindo do sul e segue ao norte.

A única seção de análise que apresentou fluxos contrários durante sua extensão foi o corte 4, conforme Figura 75. A lateral esquerda do gráfico mostra os maiores transportes de massa na região, alterando por completo seu comportamento na metade direita da seção. Nesta última, observa-se sentidos inversos e intensidades baixas podendo significar a presença de vórtices de circulação no local. A média apresentada das células foi de 37m³ de massa líquida sendo conduzida por hora.

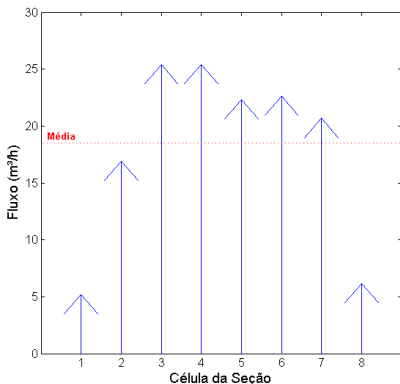


Figura 74: Fluxo nas células da seção

3.

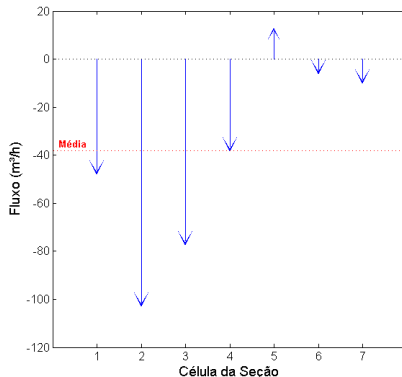


Figura 75: Fluxo nas células da seção

4.

C3) Fluxo médio nas células das seções para o Cenário base na seção 5

O corte 5, anexado à Figura 76, caracteriza o maior fluxo observado em uma célula dos cortes em questão. O sentido negativo aponta a saída de água do braço que liga as exutórias dos rios João Gualberto e Vermelho para o corpo principal da Lagoa da Conceição. A média residual do Cenário base no período simulado é de aproximadamente 6000 m³/h.

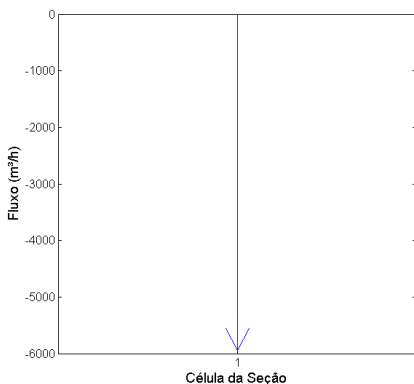


Figura 76: Fluxo na célula da seção 5.

Os resultados encontrados nos gráficos anteriores deram origem a Tabela 10. Conforme as simulações do Cenário 2 e as seções selecionadas para estudo, calculou-se a quantidade de fluxo que é transportado em um metro de célula para cada corte.

Tabela 10: Fluxo / metro por seção segundo Cenário base.

Seção	Largura da Seção (m)	Fluxo médio por célula (m³/h)	Fluxo Médio por Metro (m³/h.m)
1	15	3210	214
2	10	350	35
3	100	18	0.2
4	100	37	0.4
5	100	5942	59

Fica evidente que a seção 1, que representa a conectividade entre a laguna e o mar, tem o fluxo por área superior as demais, seguido dos cortes 5 e 2.

5.3.6 Salinidade

Entrando na parte de qualidade de água do modelo, este projeto incluiu a propriedade de salinidade em suas simulações. A partir de uma condição inicial de salinidade, definida a partir de dados históricos

levantados em outros trabalhos realizados, pode-se atribuir uma condição inicial de sal para o estuário e verificar como foi seu comportamento, para o período simulado, diante dos 4 Cenários pré-estabelecidos.

Devido à inconfiabilidade dos dados maregráficos nos Cenários 3 e 4, os campos de salinidade serão comparados somente entre os Cenários 1 e 2 e os Cenários 3 e 4. A análise visa avaliar as alterações na concentração de sal dentro da laguna resultante apenas da alteração da componente hidrológica no local.

Aa concentrações salinas também foram avaliadas de acordo com suas médias, mínimas, máximas e desvios padrão ao longo da laguna. Os resultados estão apresentados a seguir.

5.3.6.1 Salinidade Média

Os Cenários 1 e 2 de salinidade média estão apresentados nas Figuras Figura 77 e Figura 78. No primeiro caso, pode se verificar uma variação brusca no braço da Lagoa que encontra o rio João Gualberto. Alcançando o corpo central, as águas tem a salinidade crescente partindo do norte sentido sul, variando de 24 até 28 PSU na desembocadura interna do canal da Barra. A Lagoa de Baixo tem a propriedade uniforme e estabilizada em 24 PSU.

Introduzindo vazões nas bacias perenes, encontram-se valores médios mínimos de salinidade de 8 PSU na saída do rio JG. Pouco depois, a quantia sobe para 21 PSU e estabiliza entre 23 e 24 PSU no corpo central.

Na parte sul da laguna, a salinidade volta a cair e fica entre 21 e 22 PSU.

Avaliando os dois casos, a Lagoa de Baixo tem até 2 PSU de distinção com menores valores no Cenário base. Na parte centro-sul da Lagoa do Meio as dessemelhanças são bastante evidentes. Na saída interna do canal a salinidade chega a variar entre 24 e 28 PSU e continuam variando com diferença diminutiva até a parte norte da laguna da Conceição.

No ponto norte do estuário, a salinidade média desce quase 11% no Cenário Base, confrontando-o com o primeiro caso. A diferença diminui para 5% na parte central e volta a subir para 11% no ponto analisado da Lagoa de Baixo.

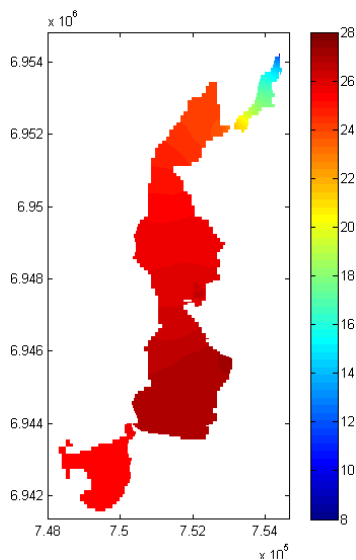


Figura 77: Salinidade média apenas com rio JG e forçante interna (PSU).

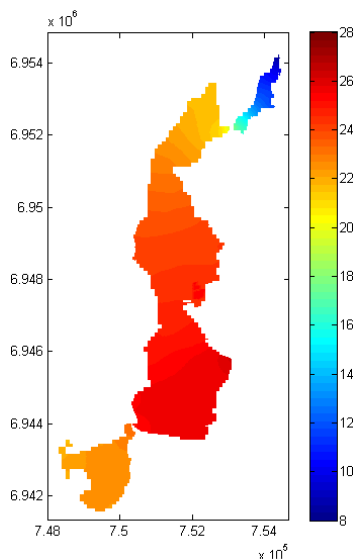


Figura 78: Salinidade média com descarga na bacia e forçante interna (PSU).

Os mapas das Figuras Figura 79 e Figura 80 seguintes representam a salinidade média encontrada na laguna para os Cenários 3 e 4, respectivamente. Incluindo a descarga de água doce única do rio JG, verificam-se os menores valores exatamente na exutória da bacia do João Gualberto com valores em torno de 17 PSU com comportamento crescente ao longo do estuário, alcançando 27 PSU no centro do corpo central. Mantendo a subida, a Lagoa de Baixo e a parte sul da Lagoa principal se equiparam no valor de 28 PSU, chegando até 29 na entrada interna do canal da Barra que varia até chegar aos valores médios de 35 PSU do oceano.

Aumentando o aporte de água doce provindo das bacias perenes, os campos de salinidade caem. O extremo norte tem médias de 14 PSU e a parte principal centro-norte do corpo central é razoavelmente estável e se estabiliza próximo de 24 PSU. A desembocadura lagunar e a parte sul da Lagoa variam entre 26 e 27 PSU.

Observando os dois Cenários, percebe-se que a maior diferença entre eles fica na Lagoa sul, onde ela passa de 3 PSU. Na parte sul do

corpo central a disparidade média é de 2 PSU e os valores se convergem conforme se aproxima do extremo norte do estuário.

Na análise dos 3 pontos escolhidos para verificação, o ponto norte verificou na média salina uma mudança de 9% entre os casos 3 e 4, caindo para 5% no ponto da Lagoa do Meio e voltando a subir para 9% na Lagoa Sul.

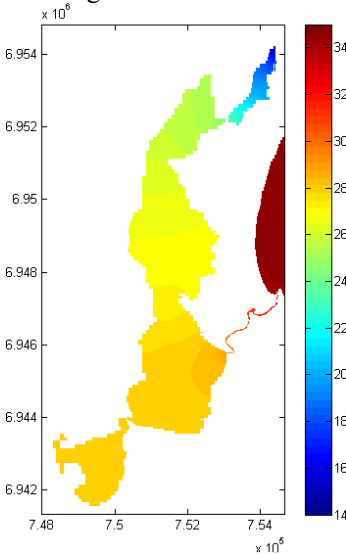


Figura 79: Salinidade média apenas com rio JG (PSU).

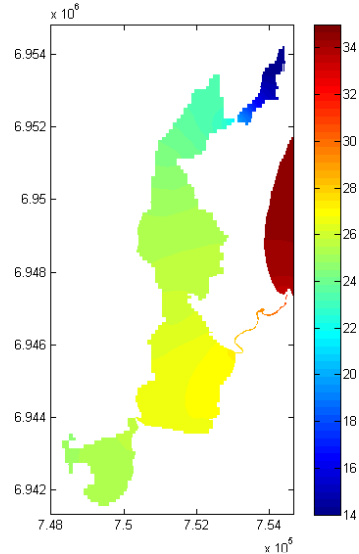


Figura 80: Salinidade média com descarga na bacia (PSU).

5.3.6.2 Salinidade Mínima

No Cenário 1, ilustrado na Figura 81, a Lagoa se mostra com concentrações de salinidade estáveis na maior parte de sua extensão. A média geral situa-se acima de 20 PSU com maiores valores na desembocadura do canal e no sul do corpo principal, adquirindo grande variação e queda abrupta de sal no braço norte da laguna.

A entrada do rio Vermelho e das outras bacias perenes somado à descarga do JG, demonstrado na Figura 82, atribuí valores mínimos de sal no braço norte do estuário de 5 PSU, 30 PSU abaixo do valor médio dos oceanos. No corpo central verifica-se grande variação da salinidade, com alterações de até 6 PSU até a desembocadura lagunar que termina

com aproximadamente 21 PSU de sal. A introdução de água doce no corpo sul derruba a concentração mínima salina para perto de 18 PSU.

No ponto ao norte da laguna, a variação da salinidade mínima após a inserção das descargas exutórias do Cenário Base foi maior que 20%, o que representa 1/5 da mínima no local no Cenário 1.

Descendo até o ponto central de análise, a diferença entre os casos se reduz para 12%, indicando maior proximidade com as águas oceanográficas com valores de sal superiores.

A Lagoa de Baixo apresenta alterações importantes nos casos avaliados. O ponto da Lagoa Sul mostrou uma redução de 15% entre os Cenários 1 e 2 e relata a importância da componente hidrológica até mesmo nas mínimas simuladas.

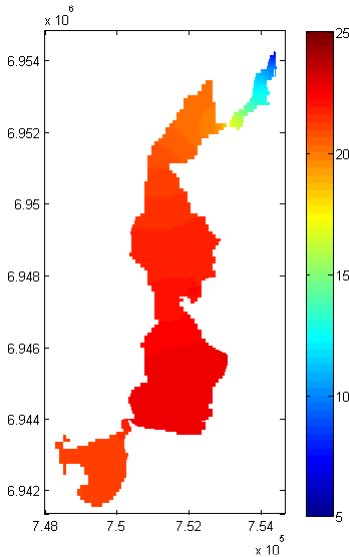


Figura 81: Salinidade mínima apenas com rio JG e forçante interna (PSU).

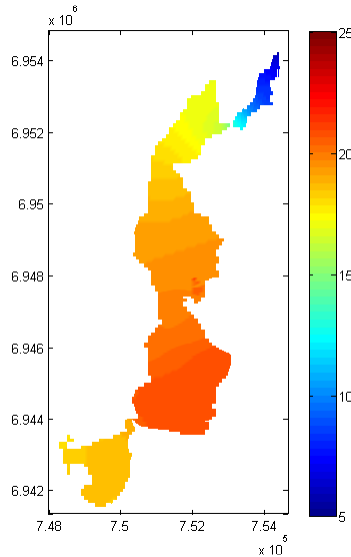


Figura 82: Salinidade mínima com descarga na bacia e forçante interna (PSU).

As Figuras Figura 83 e Figura 84 expõe a salinidade mínima para os Cenários 3 e 4. Somente com a descarga doce do rio JG, as concentrações são equivalentes na Lagoa de Baixo e ao sul do corpo principal, estendendo-se até aproximadamente a latitude do canal da Barra. A partir daí, seguindo ao norte, os campos de salinidade

diminuem à medida que a atuação do João Gualberto se intensifica, encontrando baixos valores no braço que liga o estuário ao rio.

No Cenário 4, o maior aporte de água doce baixa as concentrações de sal em todo o estuário, mantendo a relação decrescente de valores partindo do canal da Barra sentido norte da laguna. As diferenças mais significativas são observadas na Lagoa sul, onde as descargas diretas de água doce derrubam as concentrações salinas.

Analisando o ponto ao norte da Lagoa, a inserção das descargas hidrológicas do Cenário 2, derruba a salinidade mínima em quase 18%, diminuindo a diferença para 11% no ponto central e voltando a subir para 17% no ponto da Lagoa de Baixo.

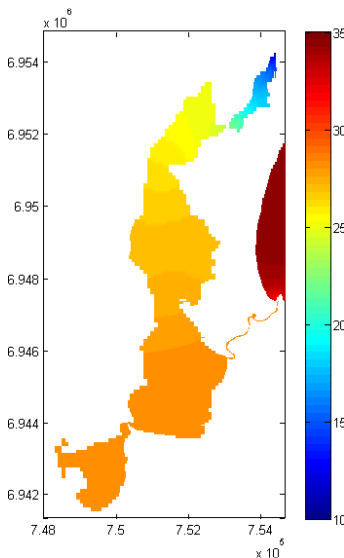


Figura 83: Salinidade mínima apenas com rio JG (PSU).

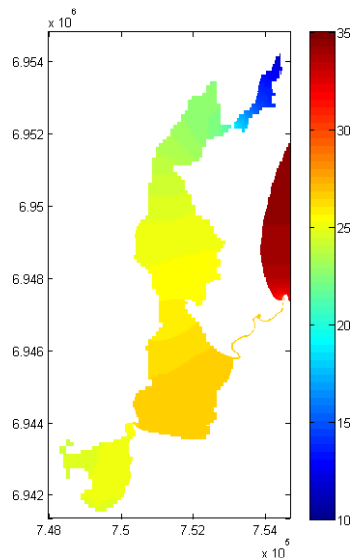


Figura 84: Salinidade mínima com descarga na bacia (PSU).

5.3.6.3 Salinidade Máxima

Outra questão abordada na análise dos resultados foram os campos salinos máximos observados durante período de simulação avaliado. Avaliando os resultados da Figura 85 que representa o Cenário 1, a salinidade tem um comportamento relativamente homogêneo na laguna, variando entre 25 e 28 PSU em sua maioria absoluta e

apresentando variações maiores no braço de ligação com o João Gualberto, local que assume na exutória 16 PSU de sal.

As salinidades máximas encontradas no Cenário 2 estão mostradas na Figura 86. Nela, a hidrologia local diminui a concentração de sal na Lagoa de Baixo para 23 PSU. Além disso, o corpo central também não tem grandes variações, com valores variando entre 23 e 27 PSU, alcançando os mínimos valores na exutória do João Gualberto em 14 PSU.

Na análise por regiões, o ponto ao norte sofreu uma variação próxima a 1% entre os Cenários 1 e 2, apontando que, nas máximas simuladas, a forçante maregráfica “esconde” a atuação hidrológica, superando-a em sua quase totalidade.

Na região central, a coordenada examinada registra uma alteração menor que 1% nestas simulações, não indicando qualquer diferença significativa e ressaltando a supremacia absoluta do oceano no caso máximo.

A maior variação encontrou-se na Lagoa de Baixo, onde o ponto analisado mostrou diferença de quase 8% entre as máximas dos dois primeiros Cenários.

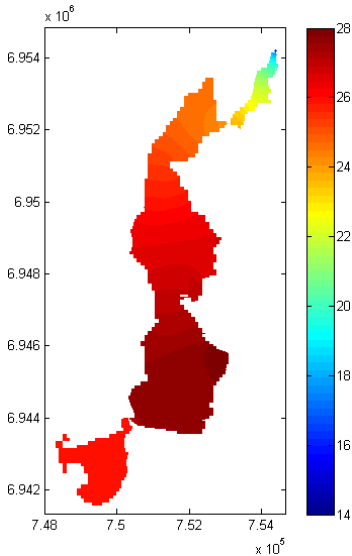


Figura 85: Salinidade máxima apenas com rio JG e forçante interna (PSU).

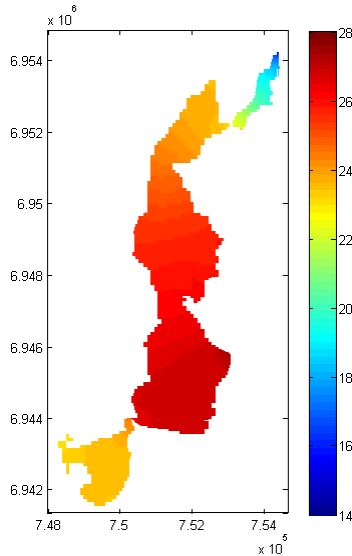


Figura 86: Salinidade máxima com descarga na bacia e forçante interna (PSU).

As Figuras Figura 87 e Figura 88 ilustram os resultados para os Cenários 3 e 4, sendo que o primeiro demonstra grande variabilidade dentro da Lagoa, onde as altas concentrações do canal da Barra diluem-se ao sul do corpo central e perdem intensidade seguindo ao norte. A vazão do João Gualberto derruba a salinidade no braço norte, mas não modifica em grande escala a concentração de sal no corpo principal, seguindo está tendência na Lagoa de Baixo.

Já no Cenário à direita, a inserção das vazões de água doce pouco interfere comparado ao resultado anterior. Observa-se leve queda salina na Lagoa de Baixo e ao sul do corpo principal, mas fica evidente que nesta situação a forçante oceanográfica se sobrepõe sobre a componente hidrológica.

Na análise por pontos, as três regiões da laguna não apresentaram diferenças significativas, variando em até 2,5%.

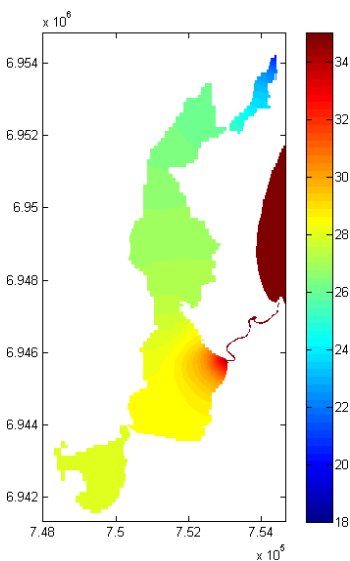


Figura 87: Salinidade máxima apenas com rio JG (PSU).

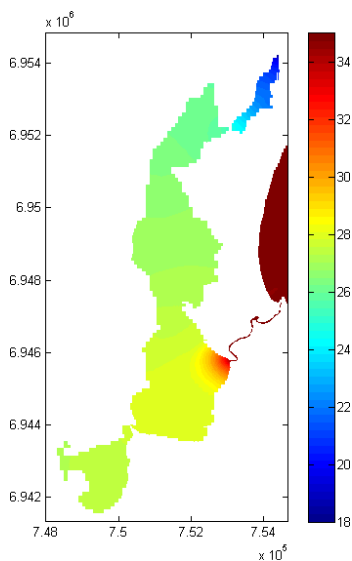


Figura 88: Salinidade máxima com descarga na bacia (PSU).

5.3.6.4 Desvio Padrão da Salinidade

O desvio padrão se caracteriza como a dispersão média de uma série de dados.

Os resultados dos Cenários 1 e Base para o desvio padrão da salinidade estão apresentados nas Figuras Figura 89 e Figura 90. No primeiro caso, a dispersão média do sal apresenta homogeneidade ao longo do estuário, com média próxima a 1 PSU. As disparidades são vistas somente na região de descarga do João Gualberto, que tem variação entre 1,5 e 3 PSU.

Introduzindo a vazão de água doce da bacia da Lagoa da Conceição, as dispersões médias salinas sofrem aumento em todos os pontos da laguna. O corpo sul assume valor médio entre 1 e 1,5 PSU e o corpo principal chega a variar entre 1,5 e 2 PSU. O braço de ligação com o João Gualberto passa de 3 PSU de desvio padrão em sua quase totalidade.

O ponto norte analisado passa de 0,4 PSU no primeiro caso, para 1,6 PSU no segundo, representando um aumento de 4 vezes.

Seguindo até o ponto central de verificação, o desvio vai de 0,4 PSU para 1,2 PSU, nos Cenários 1 e 2, respectivamente, significando um aumento 3 vezes maior.

O ponto avaliado na Lagoa Sul apresentou alteração partindo de 0,5 PSU no Cenário, alcançando 0,9 PSU no Cenário 2.

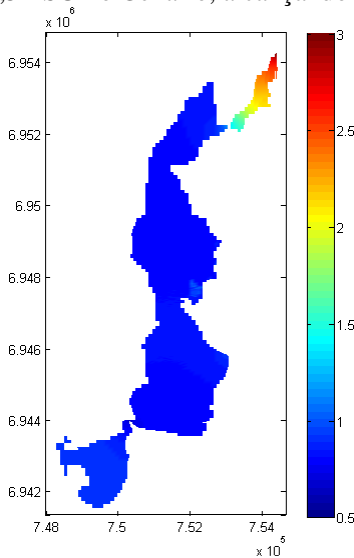


Figura 89: Desvio Padrão da salinidade apenas com rio JG e forçante interna (PSU).

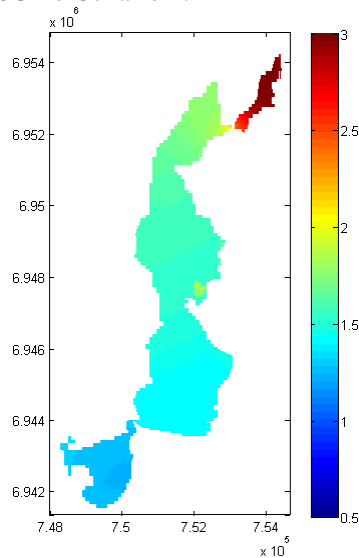


Figura 90: Desvio padrão da salinidade com descarga na bacia e forçante interna (PSU).

Continuando na análise do desvio padrão da salinidade, os resultados dos Cenários 3 e 4 são mostradas nas Figuras Figura 91 e Figura 92. No quadro da esquerda, verifica-se uma dispersão menor que 1 PSU na maioria absoluta do estuário, com variações pouco mais significativas na desembocadura do canal. As maiores variações situam-se evidentemente no local de desagüe do rio JG, onde a salinidade tem alterações médias que chegam a bater 3 vezes a média geral do estuário.

A imagem da direita relata que a inserção da componente hidrológica amplia as dispersões médias ao longo de toda a laguna, com diferenças visíveis na Lagoa sul, corpo central, norte e braço de ligação ao João Gualberto.

Na análise dos pontos, o do norte teve o seu desvio padrão passando de 0,4 PSU para 1,5 PSU, com diferença acima de 1,0 PSU. O ponto central subiu de 0,2 PSU para 0,8 PSU e o ponto da Lagoa de Baixo de 0,1 PSU até 1,2 PSU.

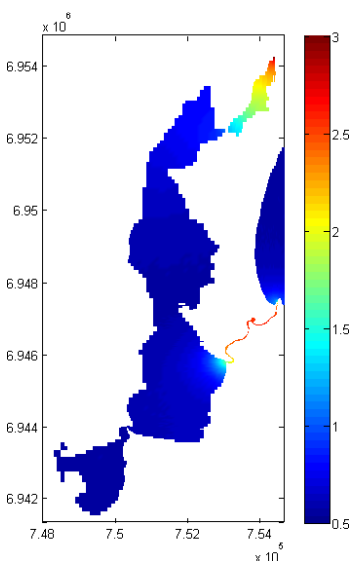


Figura 91: Desvio padrão da salinidade apenas com rio JG (PSU).

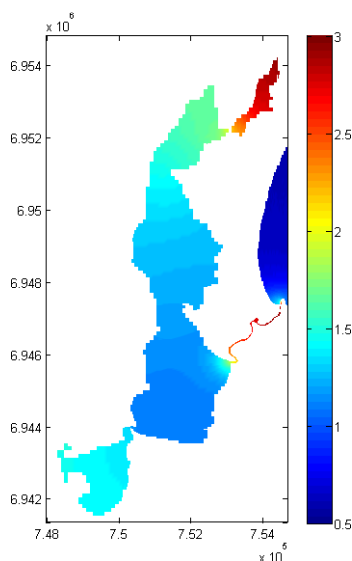


Figura 92: Desvio padrão da salinidade com descarga na bacia (PSU).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A influência das descargas hidrológicas da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição foi avaliada em diferentes aspectos, através da simulação de Cenários distintos. Fica evidente que a componente hidrológica afeta diretamente os processos de circulação hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição, sendo de indispensável conhecimento para estudos locais.

O rio João Gualberto é a principal descarga de água doce da bacia hidrográfica da Lagoa no corpo principal do estuário e é quem indica o sentido de fluxo principal da hidrologia na laguna. Na Lagoa de Baixo, o agente hidrológico principal é a descarga a oeste do corpo sul que, somado com outras vazões, consegue superar a força maregráfica.

A operacionalização de um modelo hidrodinâmico para Lagoa da Conceição a partir de dados simulados do nível oceanográfico do modelo GMOC não se mostrou possível. As previsões do nível do mar subestimam a altura de coluna de água no oceano, acarretando em falta de energia da forçante externa do modelo nas simulações, gerando resultados que não possuem confiabilidade.

Como evidenciado por Silva (2010), os níveis médios apresentam uma uniformidade dentro da laguna. Observa-se que as alterações na cota de água da Lagoa acontecem de maneira simultânea e que o aumento da contribuição hidrológica se espalha invariavelmente no estuário, com leve desvio na Lagoa de Baixo devido ao canal estrangulado que troca suas águas com o corpo central. As sobre-elevações, devido ao aporte de água doce das bacias perenes, aumenta em quase 2 centímetros o nível no corpo sul e 1 centímetro no corpo central.

Os níveis mínimos sofreram leve aumento com a inserção do aporte de água doce da bacia hidrográfica, onde a Lagoa de Baixo apresenta valores pouco acima do corpo principal. Essa tendência é seguida também para os níveis máximos, invertendo os maiores valores para o corpo central. Em geral, os desvios padrão dos Cenários 1 e de base ficaram em 5,5 e 6 centímetros, respectivamente.

Conforme visto no Cenário de vazão nula de Silva (2010), neste trabalho não foram identificados vórtices de circulação no corpo intralagunar. O que fica claro é que as descargas de água doce das sub-bacias intensificam a supremacia do João Gualberto no escoamento. As velocidades originadas na desembocadura do rio e que tomam o sentido

do norte-sul do estuário, rumo à desembocadura lagunar, ganham magnitude, ajudando no escoamento das águas para o oceano. A partir de que se colocam pontos de exutória e vazões hidrológicas na Lagoa de Baixo, o sentido das velocidades residuais se alterna, partindo de dentro para fora do mesmo e influenciando os processos hidrodinâmicos ao sul do corpo principal e contribuindo com o escoamento em direção ao canal da Barra.

Os campos de velocidades máximas ilustram o domínio da forçante maregráfica no corpo lagunar, certificando a forte atuação do oceano na Lagoa da Conceição. Neste caso, a componente hidrológica não consegue sobrepor-se sobre as correntes originadas no canal da Barra, que chega a invadir o braço de ligação com a exutória do JG. Apenas na Lagoa de Baixo as vazões de água doce invertem o sentido das velocidades residuais máximas do Cenário 1, transportando massa de dentro para fora do corpo.

Os fluxos médios residuais não sofrem modificações quanto suas direções entre os vários Cenários, mas fica claro que a inserção da componente hidrológica da bacia da Lagoa da Conceição intensifica a magnitude dos fluxos. Na Lagoa de Baixo, é evidente que a vazão que se dá à oeste ganha hegemonia nos processos circulatórios regionais, ditando a direção do fluxo.

A concentração da salinidade tem grande variabilidade espaço-temporal dentro do estuário, com valores mais próximos a média das águas oceanográficas próximo ao canal, declinando conforme se distancia do mesmo, alcançando seus valores mínimos dentro da laguna, nas proximidades da exutória do João Gualberto.

Para avançar com os estudos hidrológicos na bacia, os resultados deste trabalho mostraram importância na descarga a leste do corpo sul da Lagoa da Conceição. Medições de nível e velocidade podem ser realizadas a fim de caracterizar de maneira consistente esta importante fonte aquática.

A construção de um modelo hidrodinâmico 3D da laguna possibilitaria estudar as camadas de estratificações e a variação da salinidade ao longo da coluna de água no estuário. Para isso, se faz necessário uma larga campanha de monitoramento ambiental que disponibilizasse dados confiáveis para modelagem.

Modelos numéricos hidrodinâmicos são ferramentas fundamentais no suporte à compreensão de processos e tomada de decisão em projetos de engenharia e alterações do meio natural.

Entretanto, sua aplicabilidade deve ser executada com objetivos bem definidos e os dados levantados para inserção no modelo devem apresentar o máximo de confiabilidade para que se tenha consistência nos resultados.

Os trabalhos elaborados para a Lagoa da Conceição devem ser disseminados em todas as escalas, abrangendo o âmbito científico, social e judicial, a fim de envolver comunidade e Universidade na busca de um modelo de gestão sustentável do local que preserve a qualidade de vida e o meio ambiente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROCONSULT – Aerolevantamento e Consultoria – **Relatório final da batimetria – distrito administrativo da Lagoa da Conceição e Barra da Lagoa**. Florianópolis, SC. 2001.
- ANDRADE, R. C. **Estudo da circulação hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2001.
- ASSAD, L. P. de F.; MANO, M. F.; DECO, H. T. de; TORRES JUNIOR, A. R.; LANDAU, L. **Noções básicas de modelagem hidrodinâmica computacional e de dispersão de poluentes**. Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- BAUER NETO, V. **Caracterização geomorfológica da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.
- BARBOSA, T.C.P. **Ecolagoa: Um breve documento sobre a ecologia da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Florianópolis, p. 12-26, 2003.
- BRASIL, **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

- BRASIL, **Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988**. Dispõe sobre o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro.
- BRASIL, **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos.
- CARUSO JR., F.; MARIO, H.: **“O ecossistema Praia da Barra / Lagoa da Conceição (Ilha de Santa Catarina) e os riscos de impactos ambientais em função de empreendimentos turísticos.”** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Praias Arenosas – Univali – Itajaí: 410-412, 2000.
- CECCA: **Uma cidade numa ilha: relatório sobre problemas sócio-ambientais da Ilha de Santa Catarina/** Centro de Estudos Cultura e Cidadania- CECCA – Florianópolis, Insular, CECCA, 1997.
- CHOW, V. T. **Open-Channel Hydraulics**. McGraw-Hill, New York, 1959
- DHN. **Brasil – Costa Sul – Proximidades da Ilha de Santa Catarina**. Carta Náutica, nº 1902, 1957.
- DUTRA, S. J. **Caracterização geoambiental da Bacia de drenagem do rio João Gualberto, Ilha de Santa Catarina, SC**. Monografia do curso de Geografia, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil pp. 53. 1991.
- EPAGRI. **Normas Climatológicas**. Documento entregue sob requisição, maio de 2007.

FONSECA, A.; BRAGA, E. S.; EICHLER; B. B. **Distribuição espacial dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da biomassa fitoplanctônica no sistema pelágico da Lagoa da Conceição, Santa Catarina, Brasil (Setembro, 2000).** Atlântica, Rio Grande. V. 24, n. 2, p. 69-83, 2002.

FONSECA, A. **Variação sazonal e espacial das características hidroquímicas, dos fluxos de nutrientes e do metabolismo na interface água-sedimento da Lagoa da Conceição (SC, Brasil).** Tese (Doutorado em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

FONSECA, A. **Efeito da Drenagem Urbana nas características físico-químicas e biológicas da água superficial na Lagoa da Conceição (Florianópolis, SC, Brasil).** Biotemas, 19 (2): 7-16. 2006.

FOSSATI, M.; PIEDRA-CUEVA, I. **A 3D Hydrodynamic numerical modelo f the Río de la Plata and Montevideo's coastal zone.** Applied Mathematical Modelling. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.04.010>. 2012.

GODOY, F. B. **Caracterização Temática da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis - SC.** Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

- GODOY, F. B. **Modelagem Hidrológico-Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2009.
- GODOY, F. B.; MARIO, H. F. S; FRANCO, D. **Caracterização Temática da Margem da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC**.- Laboratório de Hidráulica Marítima - UFSC. Anais V Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Curitiba, PR. 2006.
- GRÉ J.C.R.; HORN FILHO, N.O. **Caracterização Textual dos Sedimentos de Fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC Brasil** In: *Sierra de Ledo, B., Soriano-Serra, E. J. (eds). O Ecossistema da Lagoa da Conceição*, NEMAR/CCB/UFSC, SDM/FEPEMA, pp. 25-34. 1999
- HAUFF, S. N. **Diagnóstico ambiental integrado da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**.145 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1996.
- HEC - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. **HEC-RAS River Analysis System, User’s Manual**. Version 4.0. US Army Corps of Engineers, Davis, USA, 2008, 747p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico de Santa Catarina**. Florianópolis, 2000.

KENOV, I. A.; GARCIA, A. C.; NEVES, R. **Residence time of water in the Mondego Estuary (Portugal)**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 106, 13-22. 2012.

KLINGEBIEL, A.; SIERRA DE LEDO, B. **Etude préliminaire des marées dans la Lagoa da Conceição, Île de Santa Catarina (Brésil)**, In: *Sierra de Ledo, B., Soriano-Serra, E. J. (eds). O Ecossistema da Lagoa da Conceição*, NEMAR/CCB/UFSC, SDM/FEPEMA, p. 113-128. 1999.

KOEFENDER, F. **Análise Numérica da Influência Batimétrica no Padrão de Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC**. Dissertação (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

KRUG, L. A.; NOERNBERG, M. A. **Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná - Brasil**. Centro de Estudos do Mar – UFPR. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3077-3084. Disponível em <http://www.capes.org.br>, acessado em setembro de 2005.

LAURENTI, A. **Plano de Atividades: “Monitoramento e modelagem hidrológica-hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – SC”**. Relatório de Projeto de Pesquisa, Florianópolis. 2011.

- LINO, J.F.L. **Análise Numérica da Influência de Forçantes Meteorológicas e Oceanográficas sobre a Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC.** Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC. 2005.
- MALHADAS, M. S.; LEITÃO, P. C.; SILVA, A.; NEVES, R. **Effect of coastal waves on sea level in Óbidos Lagoon, Portugal.** Continental Shelf Research 29, 1240-1250. 2009.
- MATEREC – Marine and Environmental Tecnology Center. **Sistema de Modelagem MOHID 2000.** Disponível em http://www.maretec.Mohid.com/Estuarios/Inicio/frame_page.htm. Acesso em fevereiro de 2011.
- MUEHE, D.; GOMES Jr., C. **Batimetria e Algumas Considerações Sobre a Evolução Geológica da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina.** In: Sierra de Ledo, B., Soriano-Serra, E. J. (eds). *O Ecossistema da Lagoa da Conceição, NEMAR/CCB/UFSC, SDM/FEPEMA*, pp. 15-24. 1999.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN). Rio de Janeiro. IBGE 422p. 1979.
- ODEBRECHT, C.; CARUSO Jr. **Hidrografia e Matéria Particulada em Suspensão na Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** In: *Sierra de Ledo, B., Soriano-Serra, E.*

J. (eds). O Ecossistema da Lagoa da Conceição, NEMAR/CCB/UFSC, SDM/FEPEMA, pp. 35-61. 1999.

ODRESKI, L. F. R. Alterações da Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis - SC.

Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

ODRESKI, L. F. R.; LARA, P. G. de; FRANCO, D.; SILVA, J. C.

Modelagem hidráulica do rio João Gualberto analisando a influência da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC.

Previsto para 2013 – Revista ABRH.

PEREIRA, M. L. M. Estudo da dinâmica das águas do canal da Barra – Barra da Lagoa – Florianópolis, SC.

Dissertação (Mestrado em Geografia), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

POND, S; PICKARD, G. L. Introductory Dynamical Oceanography.

Butterworth-Heinemann, Ltda, Second Edition, Oxford, United States of America, 1995.

PRANDLE, D. Estuaries – Dynamics, Mixing, Sedimentation e

Morphology. Cambridge University Press, New York, United States of America, 2009.

ROCHA, C. B. M. Implementação e uso do modelo Mike 21 na análise de Cenários hidrodinâmicos na Lagoa da Conceição –

- SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2007.
- RUDORFF, F.M.; BONETTI, J; PEIXOTO, J.R.V.; DE OLIVEIRA, U.R.; BONETTI, C. **Setorização do Subsistema Sul da Lagoa da Conceição, Santa Catarina.** Florianópolis, 2005.
- SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTER, L. F. **Hidrometria Aplicada.** Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2001.
- SIERRA DE LEDO, B.; SORIANO-SERRA, E. **O ecossistema da Lagoa da Conceição.** NEMAR/CCB/UFSC, SDM/FEPEMA. Florianópolis, 1999.
- SILVA, J. C. **Modelo Numérico do Relevo Submerso da Região Costeira Catarinense.** Relatório Final do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/CNPq – BIP/UFSC no Projeto *Ilhas da Costa Sul: Biogeografia, Conectividade Ecológica das Populações Marinhas e Efetividade das Unidades de Conservação.* 2008
- SILVA, J. C. **Análise Numérica da Influência do Rio João Gualberto sobre a Hidrodinâmica Residual da Lagoa da Conceição – Florianópolis - SC.** Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

SILVA, M.L.G. da. **Análise da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição.** Florianópolis. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC. Florianópolis. 2002.

VAZ, N.; DIAS, J. M.; LEITÃO, P. C. **Three-dimensional modelling of a tidal channel: The Espinheiro Channel (Portugal).** Continental Shelf Research 29, 29-41. 2009.