

**CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM HIDRODINÂMICA DA
CIRCULAÇÃO DO SISTEMA ESTUARINO DO RIO
GUARATUBA (BERTIOGA - SP)**

JÉSICA DANIELA FEY

**SÃO VICENTE – SP
2019**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista

CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM HIDRODINÂMICA DA
CIRCULAÇÃO DO SISTEMA ESTUARINO DO RIO
GUARATUBA (BERTIOGA - SP)

ALUNA: JESICA DANIELA FEY

ORIENTADOR: DR. ROBERTO FIORAVANTI CARELLI FONTES

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências,
Câmpus do Litoral Paulista, UNESP, para obtenção
do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação
em Biodiversidade de Ambientes Costeiros.

**SÃO VICENTE – SP
2019**

F433c	Fey, Jésica Daniela Caracterização e modelagem hidrodinâmica da circulação do sistema estuarino do rio Guaratuba (Bertioga - SP) / Jésica Daniela Fey. -- São Vicente, 2019 70 f. : il., tabs. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, São Vicente Orientador: Roberto Fioravanti Carelli Fontes 1. Oceanografia dos estuários. 2. Hidrodinâmica. 3. Modelos matemáticos. I. Título.
-------	---

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM HIDRODINÂMICA DA CIRCULAÇÃO DO SISTEMA ESTUARINO DO RIO GUARATUBA (BERTIOGA - SP)

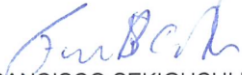
AUTORA: JÉSICA DANIELA FEY

ORIENTADOR: ROBERTO FIORAVANTI CARELLI FONTES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em BIODIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS, área: Biodiversidade pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ROBERTO FIORAVANTI CARELLI FONTES
Instituto de Biociências - Campus do Litoral Paulista / UNESP



Prof. Dr. FRANCISCO SEKIGUCHI DE CARVALHO E BUCHMANN
Instituto de Biociências - Campus do Litoral Paulista / UNESP



Dra. ADRIENE FERREIRA PEREIRA
Hidromares Projetos Ambientais, Aquáticos e Atmosféricos

São Vicente, 12 de março de 2019

*Ao meu irmão, Rodolfo Christian Fey,
quem tem alma e curiosidade de cientista...*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Roberto Fontes (Bob), pelo aceite em orientar este trabalho, pelos anos de ensinamentos, conversas, e parecerias, e pela força de sempre.

À Dra. Adriene Pereira, ao Dr. Francisco Buchmann, à Dra. Milene Fornari e ao Dr. Gilberto Peçanha Ribeiro, pelo tempo e atenção disponibilizados e pelas considerações de valor inestimável feitas tanto durante a defesa da minha dissertação quanto durante o exame de qualificação. Vossas contribuições foram extremamente importantes para um melhor direcionamento e desenvolvimento do trabalho.

À equipe do Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas da Universidade Santa Cecília (NPH-Unisanta: Alexandra Sampaio, Renan Ribeiro e Matheus Ruiz), pelos dados de maré cedidos para este trabalho, e em especial ao Renan, pela amizade, pelas conversas e pela boa disposição para ajudar, sempre.

Ao MSc Kleber Baraldo pelos dados de batimetria, margens e outros dados utilizados neste trabalho.

Ao meu companheiro de aventuras, amor da minha vida e em breve, sr. marido, Bocinha, por embarcar junto nesta, e em todas as outras aventuras da vida, e segurar minha mão sempre que os ventos sopram forte e agitam as águas! Pelos belos amanheceres e pores do sol passeando de barco na Riviera (vulgas coletas) e pela ajuda em todas as fases do trabalho, que estamos fazendo juntos desde 2016.

Aos meus pais, Cristina e Rodolfo, incondicionais sempre, e que mesmo longe sempre dão um jeito de ajudar ou nos alegrar os dias. Vocês são o meu orgulho e exemplo!

Aos amigos Tan e Chico, me ajudar a achar o rumo da minha pesquisa novamente em várias ocasiões, pela amizade e pelas viagens pelo espaço e pelo tempo...

Às minhas amigas Roberta e Vanessa, parceiras desde que entrei na pós, pela amizade e apoio, dentro e fora da faculdade. Valeu pelas risadas no dia a dia, gatas!

Ao Caio, Sinhá e Ana Silvia, com quem compartilhei várias disciplinas e trabalhos, e dos que aprendi muitas coisas além do conteúdo das matérias.

Aos biólogos amigos de Bertiooga (Catotinha, Cala e Satu), que sempre receberam a gente de portas e corações abertos.

Ao meu amigo Gastón, quem como 7 anos atrás, mais uma vez esteve aí na reta final, me ajudando com as batalhas do dia a dia, para que eu possa sentar e concluir o meu trabalho em paz, gracias pibe!

Ao grupo de Facebook dos Bolsistas CAPES, do qual participam muitos outros alunos-pesquisadores, por compartilhar experiências de vida, inquietudes, dicas e piadas, e fazer mais leve a passagem pela pós-graduação.

Ao Sci-Hub, fundado pela neurocientista Alexandra Asanovna Elbakyan, por colaborar a que a ciência seja acessível para todos. O seu trabalho tem um valor imensurável!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

Estuários são ambientes aquáticos de transição entre o continente e o oceano com características únicas, ecológica e economicamente importantes. São condicionados por diversas forçantes naturais e compartilham contribuições terrestres e marinhas. Os principais métodos para estudo hidrodinâmico desses ambientes baseiam-se na análise dos processos de advecção e de mistura das massas de água, gerados pela dinâmica das marés e das descargas dos rios. O presente estudo visa a caracterização hidrodinâmica do estuário do rio Guaratuba (Bertioga, SP) durante as marés de sizígia e de quadratura, a partir de levantamentos hidrográficos realizados com ADCP e CTD e o desenvolvimento de um modelo hidrodinâmico computacional capaz de explicar e simular os processos oceanográficos deste estuário. Os resultados apontaram que, tanto a maré quanto a descarga fluvial têm a capacidade de alterar as vazões e os padrões de salinidade e temperatura no estuário. Em condições de precipitação médias ou na ausência de precipitações, a maré é a forçante dominante do sistema. Durante os períodos de sizígia ocorrem o aumento da turbulência e da mistura vertical. Nas quadraturas, quando as velocidades de corrente são menores, a estratificação vertical é mais estável, e a água salina incursiona até pontos mais internos do estuário. Precipitações na sub-bacia tem relação direta e imediata com o aumento da vazão, afetando a dinâmica e intensificando a estratificação vertical do estuário. O estuário do rio Guaratuba pode ser enquadrado como do tipo A, B ou D, dependendo das condições de maré e vazão. Os modelos gerados contribuíram para o melhor entendimento dos fenômenos atuantes e da dinâmica do sistema estuarino. Os resultados do presente trabalho trazem informações inéditas sobre o comportamento hidrodinâmico do estuário do Rio Guaratuba durante marés de quadratura e podem ser utilizados pelos gestores e tomadores de decisão para orientar o uso sustentável desse ambiente, no que tange ao gerenciamento costeiro e de recursos hídricos.

Palavras-chave: pluviosidade, vazão, estratificação da salinidade, dinâmica estuarina, Delft-3D, Parque Estadual Restinga de Bertioga

ABSTRACT

Estuaries are transitional aquatic environments, with unique characteristics, ecologically and economically important. They are conditioned by several natural forcings and share land and marine contributions. The main methods to study these environments are based on the analysis of the water masses advection and mixing processes, that are generated by tides and river discharges. The purposes of this study are the hydrodynamic characterization of the Guaratuba's estuary (Bertioga, SP) during spring and neap tides, based on ADCP and CTD hydrographic surveys, and the development of a computational hydrodynamic model using Delft-3D software, that helps to explain and simulate the main estuarine oceanographic processes. We observed that both, tide and river discharges, have the capacity to alter water flow, as well as salinity and temperature patterns in the estuary. Under mean precipitation conditions or in its absence, tide forces dominate the system. During the spring tide floods, turbulence and vertical mixing increase. During the neap tide floods, when current speed decreases, vertical stratification remains more stable, and saline water penetrates more along the upper estuary. Precipitation episodes in the sub-basin are direct and immediate related to water flow increase, and affect currents dynamics intensifying vertical stratification in the estuary. The Guaratuba estuary is classified as type A, B or D; depending on tidal and river flow conditions. The models we generated contributed to understanding active phenomena and the dynamics of the estuarine system. The results of the present study provide valuable new information on the estuarine hydrodynamic behavior during neap tides, and might be used by managers and decision makers to guide the sustainable use of this environment, regarding coastal and water resources management.

Keywords: precipitation, water flow, salinity stratification, estuarine dynamics, Delft-3D, Restinga de Bertioga State Park

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1-Localização da área de estudo (estuário) e a rede de drenagem da sub-bacia do rio Guaratuba (Fonte: VM Engenharia, Google Earth® 2018).	26
Figura 3-2- Delimitação das Unidades de Conservação dentro do município de Bertioga, SP. (Fonte: http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados).	28
Figura 3-3- Afluentes do estuário do rio Guaratuba e localização do condomínio nas margens do rio Vermelho (Fonte: Google Earth ®, 2018).	29
Figura 4-1-Pontos para estimativa da vazão a partir do método de Regionalização da Vazão do Estado de São Paulo.	31
Figura 4-2-Localização das seções transversais para medição da vazão, sobrepostas à batimetria do rio Guaratuba.	34
Figura 4-3-Embarcação com motor 5Hp, com trimarã rebocado utilizada para os levantamentos; b) Trimarã com transdutor e receptor/transmissor (black box); c) transdutor dentro da água.	35
Figura 4-4-Captura de tela do programa <i>RiverSurveyor</i> . A janela superior esquerda mostra a vista superior do transecto e os vetores de velocidade de corrente. A janela inferior esquerda representa a seção transversal dividida em pixels de acordo com a profundidade. Os tons de azul representam a velocidade de corrente para cada ponto (y, z) da seção. A janela direita exemplifica os relatórios de vazão gerados a partir dos levantamentos.	36
Figura 4-5-Medição realizadas com CTD em campo.	37
Figura 4-6-Pontos para representação da estratificação vertical de salinidade, localizados a 2,13; 6,73 e 8,85 km da foz.	38
Figura 4-7-Representação das grades utilizadas no modelo. Azul: domínio principal (GUA); Cinza: domínios auxiliares (PM e RV); Verde: domínio costeiro (GC); Magenta: contornos compartilhados na confluência dos tributários.	39
Figura 4-8- A) Domínios GUA e PM na região da confluência (contorno compartilhado indicado em magenta), com batimetria em formato matricial. Observa-se que no domínio PM foi necessário acrescentar valores de profundidade manualmente; B) Batimetria interpolada em cada domínio; C) Batimetria suavizada, com valores de profundidade não coincidentes no contorno de confluência; D) Batimetria editada para coincidência dos valores de profundidade no contorno compartilhado.	40

- Figura 4-9- Contornos abertos das grades que compõem o modelo computacional. As setas azuis unidirecionais indicam entrada de água doce pelos tributários do sistema, enquanto que a seta verde indica o contorno forçado pela maré. _____ 42
- Figura 5-1- Precipitação mensal (mm). Os valores correspondem aos anos 2017 e 2018. Barras com preenchimento sólido correspondem aos meses das coletas (Fonte: CEMADEN). 45
- Figura 5-2- Precipitação diária para os dias de coleta e dias anteriores, e valores de vazão medidos (preto) ou estimados (branco) para o rio Guaratuba durante a maré vazante. 46
- Figura 5-3- Imagem tomada durante a realização da campanha 1. Chuvas no estuário durante a realização da coleta. _____ 47
- Figura 5-4- Imagem tomada durante a realização da campanha 6. Céu encoberto e precipitações na Serra do mar. Não se registraram chuvas no estuário durante a campanha. _____ 47
- Figura 5-5- Margem erosiva da seção S4. A seta vermelha indica a altura do nível alcançado pela água, evidenciando a erosão do barranco. A seta amarela indica queda recente de vegetação marginal (ainda com folhas verdes nos galhos) devido à erosão do substrato. _____ 48
- Figura 5-6- Banco de areia depositado nos dias anteriores à coleta, com marcas de descarga fluvial evidenciada por marcas de ondulação formadas por correntes (*sand ripples*, setas amarelas) aproximadamente 50 cm acima do nível máximo da maré cheia durante a campanha (seta vermelha). Ao fundo da imagem (seta azul), observa-se um banco de gramíneas soterrado pelo sedimento. _____ 49
- Figura 5-7- Confluência do rio Guaratuba (marrom claro, aspecto leitoso), evidenciando transporte de sedimentos em suspensão, com o Rio Vermelho (marrom escuro). ____ 49
- Figura 5-8- Imagem tomada durante a realização da campanha 7, evidenciando assoreamento da seção S7. Setas amarelas indicam os limites aproximados da seção. _____ 50
- Figura 5-9- Interpolação dos valores de salinidade medidos no estofo das marés cheias de sizígia. O eixo horizontal representa a distância linear da foz do estuário, enquanto o eixo vertical representa a profundidade do talvegue. _____ 55
- Figura 5-10- Interpolação dos valores de salinidade medidos no estofo das marés cheias de quadratura. O eixo horizontal representa a distância linear da foz do estuário, enquanto o eixo vertical representa a profundidade do talvegue. _____ 56
- Figura 5-11- Localização dos pontos correspondentes aos perfis individuais representados (sup.); Perfis de salinidade (inf.): azul: próximo à foz; verde: zona de mistura; vermelho: zona do rio. _____ 57

Figura 5-12-Comparação entre a altura da maré, a amplitude da maré e a vazão durante as coletas de sizígia. _____	59
Figura 5-13-Comparação entre a altura da maré, a amplitude da maré e a vazão durante as coletas de sizígia. _____	60
Figura 5-14-Valores de temperatura interpolados ao longo de uma seção longitudinal (talvegue) do estuário durante os estofos das marés altas nas campanhas de sizígia. _____	60
Figura 5-15-Valores de temperatura interpolados ao longo de uma seção longitudinal (talvegue) do estuário durante os estofos das marés altas nas campanhas de sizígia. _____	61
Figura 5-16 Salinidade vs. temperatura dos perfis de CTD realizados ao longo do estuário. As cores representam a distância da foz do perfil realizado. _____	62
Figura 5-17- Variação do nível do mar durante o período do modelo durante a C1 (sizígia), em três pontos do estuário: No rio Guaratuba, próximo a foz do estuário, e na Grade Costeira ao longo do período da simulação (sup). Detalhe da variação do nível do dia anterior e do dia da coleta (inf). _____	64
Figura 5-18- Variação do nível do mar durante o período do modelo durante a C3 (quadratura), em três pontos do estuário: No rio Guaratuba, próximo a foz do estuário, e na Grade Costeira ao longo do período da simulação (sup). Detalhe da variação do nível do dia anterior e do dia da coleta (inf). _____	65
Figura 5-19- Resultados dos modelos. O eixo horizontal representa a distância linear da foz do estuário, enquanto que o eixo vertical representa a profundidade na seção longitudinal (M=4). _____	66
Figura 5-20- Representação gráfica dos valores do número de Richardson para a seção longitudinal central do estuário, das simulações 1 a 4. Valores menores a 0,25 indicam locais onde a turbulência sobrepuja a estratificação de densidade gerando mistura vertical. Valores maiores indicam locais onde há estratificação. _____	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1-Pontos para cálculo da vazão a partir da Regionalização hidrológica. _____	31
Tabela 4-2-Dimensões e resolução das grades utilizadas para compor o modelo e localização dos contornos compartilhados na grade principal. _____	40
Tabela 4-3- Períodos das simulações. _____	41
Tabela 4-4- Valores das condições iniciais de temperatura e salinidade para o domínio GUA nas diferentes simulações. _____	41
Tabela 5-1- Datas das campanhas realizadas. _____	45
Tabela 5-2- Precipitação anual acumulada para os anos de 2017 e 2018, comparada com a média histórica e a precipitação registrada durante o período das coletas, para a Estação Praia do Guaratuba. _____	46
Tabela 5-3- Vazão média plurianual, precipitação anual média e área da bacia à montante dos pontos localizados na desembocadura dos rios GUA, PM e RV no estuário, na confluência do GUA e RV e na foz do estuário. _____	51
Tabela 5-4- Valores de vazão utilizados para entrada do modelo. Os valores para o Rio Guaratuba correspondem aos medidos em campo; os valores de vazão para PM e RV foram determinados aplicando um fator de correção de 0,41 para o PM e 0,68 para o RV. (*) indica valores estimados por comparação. _____	51
Tabela 5-5- Valores de vazão (m^3/s) calculados a partir das medições realizadas em campo, na enchente e na vazante para as seções S1 a S8. _____	52
Tabela 5-6-Valores de declinação magnética, temperatura e salinidade média utilizados para correção dos dados de correntometria. _____	53
Tabela 5-7- Classificação do estuário do rio Guaratuba, segundo Pritchard (1955) e Officer (1977). _____	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP: *Acoustic Doppler Current Profiler* (Perfilador acústico de corrente - Doppler)

AE: Altamente estratificado (estuário)

BM: Bem misturado (estuário)

C: Campanha (1 a 8)

CEMADEN: Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

CLP: Campus do Litoral Paulista (UNESP)

CS: Cunha salina

CTD: *Conductivity, Temperature and Depth* (Perfilador instantâneo de salinidade, temperatura e pressão da água)

DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica

ECOMSED: *Estuarine and Coastal Ocean Model*

EEAB: Estação Elevatória de Água Bruta (SABESP)

GC: Grade costeira

GEBCO: *General Bathymetric Charts of the Oceans*

GPS: *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)

GUA: Rio Guaratuba

HYCOM: *Hybrid Coordinate Ocean Model*

IB-UNESP: Instituto de Biociências (UNESP)

MD: Margem direita

ME: Margem esquerda

NOAA: *National Oceanic and Atmospheric Administration*

NPH-UNISANTA: Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas (UNISANTA)

PESM: Parque Estadual da Serra do Mar

PERB: Parque Estadual Restinga de Bertiooga

PM: Rio Perequê-Mirim

PMs: Parcialmente misturado (estuário)

POM: Princeton Ocean Model

RJ: Rio de Janeiro (Estado)

RV: Rio Vermelho

S: Seção (1 a 7)

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

Sim: Simulação (1 a 8)

SisBAHIA: Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental

SP: São Paulo (Estado)

SPAT: Sistema Produtor do Alto Tietê

TIN: *Triangular Irregular Network* (Interpolação triangular)

UC: Unidade de Conservação

UERJ: Universidade do Estado do Rio de Janeiro

UGRHI: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNESP: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

UNISANTA: Universidade Santa Cecília (Santos, SP)

UTC: Universal Time Coordinated (Tempo Universal Coordenado)

UTM: Universal Transverso de Mercator

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	13
1. INTRODUÇÃO	20
2. OBJETIVOS.....	25
3. ÁREA DE ESTUDO	26
4. MÉTODO.....	30
Caracterização do estuário	30
Pluviosidade.....	30
Estimativa da vazão no estuário.....	30
Altura do nível do mar	32
Batimetria e margens	33
Medições de vazão	33
Processamento dos dados.....	35
Caracterização física do estuário.....	36
Levantamento de dados em campo	36
Processamento dos dados.....	37
Modelo computacional.....	38
Elaboração de grades	38
Interpolação da batimetria.....	40
Elaboração do modelo: Ingresso de dados.....	41
Interpretação dos resultados modelados	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
Caracterização do estuário	45
Pluviosidade.....	45
Estimativa da vazão no estuário.....	50

Medições de vazão	52
Caracterização física do estuário.....	55
Salinidade e temperatura	55
Classificação do estuário.....	63
Resultados do modelo computacional.....	64
6. CONCLUSÕES.....	69
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE	76
Apêndice 1:	76
Apêndice 2	84
Apêndice 3	92
Apêndice 4:	94
ANEXO.....	96
Anexo 1	96
Rio Guaratuba.....	96
Rio Perequê-Mirim	99
Rio Vermelho	102
Confluência rio Guaratuba e rio Vermelho	105
Foz do Estuário	108

1. INTRODUÇÃO

Estuários são ecossistemas de transição entre o continente e o oceano, onde rios encontram o mar, resultando na diluição mensurável da água salgada, no sentido estuário acima (PRITCHARD, 1967). Segundo Dyer (1997), são corpos d'água costeiros semifechados, com ligação livre com o oceano aberto, que se estendem rio acima até o limite da influência da maré. A água doce em seu interior é oriunda da drenagem continental e dilui a água do mar que excursiona o estuário, por ocasião da maré enchente. São ambientes altamente dinâmicos, condicionados por diversas forçantes naturais, como a vazão dos rios e a intensidade das marés (PRITCHARD, 1967). Os fenômenos no interior dos estuários variam em escalas espaciais de dimensões microscópicas até seus limites geomorfológicos. As escalas temporais variam desde frações de segundo, algumas horas e até períodos decadais ou milenares (MIRANDA *et al.*, 2002).

Existem diferenças significativas entre estuários ou entre partes específicas de um sistema estuarino, sendo a distribuição de salinidade característica para cada um. Segundo Dionne (1963) e Fairbridge (1980), um corpo de água estuarino pode ser dividido em três setores: **estuário superior ou fluvial**, caracterizado pela água doce, mas ainda sujeito à influência da maré dinâmica e com valores de salinidade inferiores a $S < 0,5$; **estuário médio ou zona de mistura**, sujeito à intensa mistura da água do mar com a água doce da drenagem continental, e **estuário inferior ou marinho**, com ligação livre com o oceano aberto e que se estende até a frente da pluma estuarina, onde a salinidade é bem próxima à da água do mar.

Segundo Pritchard (1955) é possível classificar os estuários de acordo com a estratificação vertical de salinidade, na zona de mistura. Essa classificação estabelece quatro tipos principais de estuários: **Cunha salina** (Tipo A): verticalmente bem estratificados e sendo desprezível a mistura por difusão turbulenta das camadas de água. Nesses estuários, onde a amplitude da maré não supera os 2 m [micromaré (DAVIES, 1964)], a circulação é dominada pela descarga fluvial e o movimento da camada superficial estuário abaixo é contínuo, aumentando progressivamente sua salinidade; **Estuários moderada ou parcialmente misturados** (Tipo B): possuem energia de maré suficientemente elevada para produzir turbulência, havendo troca eficiente entre a água salgada e a água oriunda do rio. Podem ocorrer movimentos em sentidos opostos entre as camadas superficiais e profundas, permitindo o ingresso de água do mar pelas camadas inferiores e criando gradientes verticais moderados de salinidade. A intensificação ou relaxamento da estratificação vertical de salinidade nesse tipo

de estuário depende da variação quinzenal da maré, entre as fases de sizígia e de quadratura; **Estuários verticalmente misturados** (Tipos C e D): caracterizados por águas bem misturadas. Os processos de mistura ocorrem longitudinalmente ao estuário, com fluxo vertical da salinidade desprezível (DYER, 1997). Nesses estuários, a difusão turbulenta está geralmente associada ao atrito com o fundo e irregularidades batimétricas de canais geralmente rasos (Tipo D). Os estuários Tipo C apresentam uma razão largura/profundidade grande, podendo ocorrer estratificação lateral ocasionada pelo efeito de Coriolis.

Uma classificação alternativa que estabelece critérios de estratificação melhor definidos é a sugerida por Officer (1977), que classifica os estuários em: **Cunha salina (CS)**: interfaces distintas entre a água doce e a do mar, com fluxo de água pouco salina na camada superficial, sendo o entranhamento (transferência de água da camada inferior para a camada superior) o processo dominante; **Altamente estratificado (AE)**: acentuada estratificação vertical, com diferença de várias unidades entre a camada superficial e a do fundo; **Parcialmente misturado (PMs)**: estratificação moderada da salinidade, com diferenças de poucas unidades entre os valores encontrados na camada superficial e do fundo; **Bem misturado (BM)**: ausência de haloclina, os valores da camada do fundo e superficial são praticamente iguais.

A estratificação em estuários pode ser afetada por diversos fatores. Os gradientes de pressão (componentes barotrópicas e baroclínicas) decorrentes das diferenças de densidade das massas d'água, surgem como as principais forçantes atuantes nesses ambientes. Dentre os fatores físicos destacam-se a descarga fluvial, as variações do nível do mar, ondas e ventos. A descarga fluvial é dependente de fatores climáticos. Em rios de grande porte com amplas bacias hidrográficas, a vazão é condicionada pelo clima, variando sazonalmente entre estações chuvosas e secas. Em rios de menor porte, cujas bacias ocupam uma área de drenagem menor, são os eventos discretos de precipitação que condicionam as vazões, podendo variar até na escala de minutos (DALRYMPLE *et al.*, 2015). O regime e a altura das marés determinam a velocidade de entrada de água nos canais estuarinos, e consequentemente, a turbulência, afetando a estabilidade da coluna d'água e a estratificação. Ondas e ventos dentro do estuário também contribuem para a geração de turbulência, favorecendo a mistura vertical da coluna d'água. Processos hidrodinâmicos da plataforma continental, como variações do nível do mar impostas pelo vento (ressacas e marés secas), também podem acarretar modificações nos estuários (FONTES *et al.*, 2016). Dentre os fatores geomorfológicos, podem-se citar a rugosidade do leito, o formato e tamanho da bacia e a presença de planícies de maré. Ainda, fatores biológicos tais como vegetação marginal, marismas, manguezais e restingas podem

alterar a dinâmica estuarina. Finalmente, obras costeiras e a ocupação urbana também podem alterar o estuário de diversas maneiras. Para Ribas (2004) a hidrodinâmica estuarina tem relação direta com o equilíbrio do sistema estuarino, pois é a circulação da água que condiciona primariamente a distribuição e o transporte de materiais, tais como sedimentos, matéria orgânica particulada, nutrientes e organismos, no sistema.

Muitos estudos realizados em estuários são embasados na biodiversidade vegetal e na importância ecológica desses ambientes, mas deve-se levar em consideração que é a dinâmica intensa de entrada e saída das correntes de maré que favorece o desenvolvimento de espécies vegetais altamente especializadas, dando origem ao Bioma de Manguezal nas regiões tropicais (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989). A dependência entre estes componentes é significativa nos processos que ocorrem nos estuários (KJERFVE, 1987; SILVA, 2004). Segundo Silva Costa *et al.* (2014) a salinidade ao longo dos estuários é um fator determinante da composição florística do manguezal. Já Schaeffer-Novelli *et al.* (1990) determinaram que o arranjo espacial das diferentes florestas de mangue, ao longo da costa brasileira, é resposta a fatores que dependem da topografia e das condições edáficas dos sistemas estuarinos, mas principalmente das forçantes impostas por fatores climáticos e hidrológicos.

Levantamentos de informações nessas áreas heterogêneas requerem grandes investimentos e longos períodos para obtenção de resultados representativos. A modelagem computacional é uma alternativa prática aplicada em estuários, permitindo a determinação de padrões de circulação hidrodinâmica, com custo e esforço amostral relativamente baixos. Sua grande vantagem é a capacidade de integrar dados e simular diversos cenários em tempo real. Também possibilita avaliar como processos físicos e biológicos ocorrem nesses ambientes complexos e dinâmicos em diferentes escalas temporais e espaciais, que não são acessíveis a partir de medições e observações em campo unicamente (WARNER *et al.*, 2005).

Existem diversos modelos computacionais para modelagem hidrodinâmica. Alguns deles, bem consagrados como o *Princeton Ocean Model* (POM) e o *Hybrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM) se baseiam exclusivamente na modelagem dos fenômenos hidrodinâmicos nos oceanos. Existem outros, com é o caso do *Delft-3D*, mais apropriados para estudar os fenômenos que ocorrem em áreas costeiras, fluviais, lacustres ou estuarinas. Estes integram vários módulos que interagem entre si, em torno de uma interface que tem como base a modelagem hidrodinâmica. Os módulos permitem a modelagem numérica, tanto independente como conjunta de fluxos, transporte de sedimentos, ondas, qualidade da água, evolução

morfológica e ecológica, tornando-se uma ferramenta indispensável em estudos interdisciplinares (HYDRAULICS, W.L, 2014).

Como exemplo de trabalhos realizados utilizando modelos computacionais em áreas estuarinas no Brasil podem ser citados os trabalhos de Fontes *et al.* (2008) que estudaram a dinâmica da pluma estuarina do rio Amazonas, usando o modelo ECOMSed; Harari e Camargo (1998) que descrevem a circulação da maré da região costeira de Santos (SP) através da utilização do modelo numérico POM; Amaral *et al.*(2004) que estudaram comportamento hidrodinâmico do estuário do rio Macaé (RJ) utilizando como base o Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBAHIA – UERJ) e propõem o uso da modelagem computacional como ferramenta para o gerenciamento integrado de recursos hídricos; Roversi *et al.* (2016) que estudaram a hidrodinâmica do Sistema Estuarino de Santos (SP) com foco na renovação das águas por efeitos da maré e da descarga fluvial dos afluentes; e Gimiliani *et al.* (2016) que estudaram a dispersão e o tempo de residência de hormônios sintéticos no estuário e baía de Santos (SP) utilizando diversos módulos do Delft-3D.

Araújo e Melo (1999) destacam que modelos matemáticos são atualmente utilizados como ferramenta básica para o planejamento e gestão de sistemas costeiros e programas de investigação ambiental, uma vez que podem incluir dados sedimentológicos e biológicos, de modo a integrar uma suíte compreensiva de processos físicos e bióticos. Wu *et al.* (2001) destacam a importância da integração de dados biológicos nos modelos, para sua utilização como ferramentas para gerenciar adequadamente esses ambientes.

Pela sua proximidade com o mar e a grande disponibilidade de recursos naturais é comum que assentamentos urbanos se desenvolvam em torno aos estuários. A expansão populacional desordenada, acompanhada do crescimento dos complexos industriais, da agricultura e da indústria pesqueira nas proximidades dos estuários, colocam em risco o desenvolvimento sustentável destes ambientes (MIRANDA *et al.*, 2002).

Durante as últimas décadas, a ocupação urbana acelerada do litoral do Estado de São Paulo tem sido consequência das atividades portuárias desenvolvidas na região, da especulação imobiliária gerada pela proximidade dos grandes centros urbanos, e das atividades turísticas e de lazer (FIERZ e ROSA, 2011) disponíveis nos locais de grande riqueza paisagística. Os estuários encontrados na região apresentam diversos níveis de antropização e degradação (SOUZA, 1997), variando desde elevados, como o complexo estuarino de Santos-São Vicente, até níveis de impacto pouco perceptíveis, como é o caso dos estuários localizados em áreas

protegidas, chamando atenção para a necessidade da implementação de políticas públicas que direcionam o uso sustentável dessas áreas. D'Aquino *et al.* (2011) e Amaral *et al.* (2004), destacam a importância da caracterização hidrodinâmica de cada parte do estuário para o entendimento dos processos atuantes e como base para a conservação destes ambientes, auxiliando no gerenciamento e tomada de decisões sobre o uso sustentável e a sobrevivência destes ecossistemas como um recurso natural renovável e produtivo (MIRANDA *et al.*, 2002).

Existem dados, porém poucos estudos abordando medições hidrológicas para caracterização do sistema estuarino do rio Guaratuba (Bertioga, SP), de modo que uma compreensão sistemática dos processos hidrodinâmicos e climatológicos é fundamental para uma melhor compreensão das funcionalidades desse ambiente. A construção e a interpretação de um conjunto de dados que permita entender a circulação estuarina, integrada às características hidrológicas da bacia, são necessárias para a compreensão dos diversos processos que ocorrem no estuário do rio Guaratuba.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é a caracterização do estuário do rio Guaratuba durante marés de sizígia e quadratura ao longo de um ano, a partir de dados secundários e do levantamento de dados hidrológicos e físico-químicos em campo; e o desenvolvimento de um modelo numérico capaz de explicar e simular os principais processos que ocorrem no estuário. São objetivos específicos:

- Analisar a influência da pluviosidade nas vazões do estuário;
- Compreender a hidrodinâmica do sistema a partir da realização de medições de velocidade de corrente e cálculos da vazão;
- Caracterizar o estuário a partir da estratificação de salinidade e temperatura, e;
- Aplicar os modelos gerados para simular e compreender a dinâmica estuarina e suas variações temporais.

3. ÁREA DE ESTUDO

O estuário do rio Guaratuba está localizado no município de Bertioga, São Paulo, cuja bacia de drenagem faz parte da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista - UGRHI-07, conforme a Figura 3-1. A área de drenagem desta sub-bacia é de 126,89 km² (VM ENGENHARIA, 2016) com uma vazão Q7,10 de 1,86 m³/s e vazão média de 7,64 m³/s, calculada a partir do Modelo de Regionalização Hidrológica utilizado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) de Liazi *et al.* (1988, *apud* WOLFF, 2014). A subbacia é dividida em três microbacias: a do rio Guaratuba (GUA), nasce no planalto e capta as águas da região superior e central da bacia; a do rio Vermelho (RV), capta a drenagem da porção leste; e, a do rio Perequê-Mirim (PM), drena as águas da porção oeste da bacia. Utilizando o programa de geoprocessamento QGIS, foi estimado que essas microbacias ocupam respectivamente, 46,5; 33,0 e 20,5% da área total da bacia.

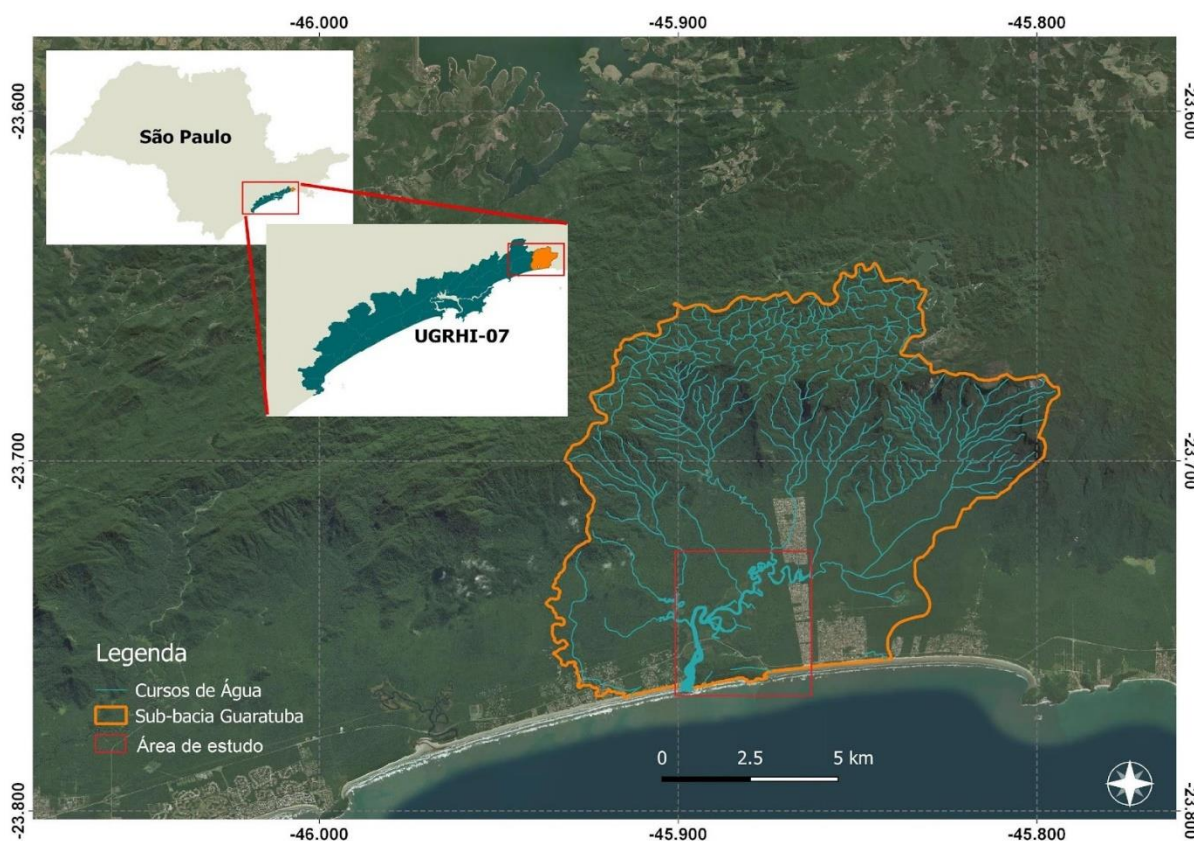


Figura 3-1-Localização da área de estudo (estuário) e a rede de drenagem da sub-bacia do rio Guaratuba (Fonte: VM Engenharia, Google Earth® 2018).

Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), o clima é Tropical-úmido sem estação seca definida (Af) na região. A temperatura média entre os meses de novembro a abril varia de 22,5 a 24,1°C, e nos meses de inverno de 16,9 a 21,3 °C. A pluviosidade varia entre

2000 a 3000 mm no ano¹ (SANT'ANNA NETO, 1995). Existe sazonalidade no regime de chuvas, sendo mais intensas no verão e menos frequentes nos meses de inverno, porém há pluviosidade significativa ao longo do ano.

No que diz respeito ao regime de marés, o cálculo da importância relativa das componentes diurnas e semidiurnas a partir do número de forma ($F = 0,3$ para o município de Bertioga) classifica a maré na região como do tipo mista, com predominância semidiurna (MIRANDA *et al.*, 2002). Pela variação da altura da maré inferior a 2 m de diferença entre a preamar e a baixa-mar, a mesma é classificada como micromaré (DAVIES, 1964).

O estuário do rio Guaratuba está localizado na planície costeira do litoral paulista, que é constituída por depósitos sedimentares originados durante o Quaternário, formados majoritariamente por eventos transgressivos e regressivos do nível do mar. Segundo Souza-Júnior (2007) os solos do rio Guaratuba são compostos principalmente por areias finas e muito finas, oriundas de cordões litorâneos regressivos holocênicos e retrabalhadas por ação das ondas. Baraldo (2018) identificou três setores diferentes nesse estuário, de acordo com os sedimentos encontrados. O primeiro, mais próximo à foz, apresentou sedimentos arenosos compostos por areias finas e muito finas retrabalhadas pelas ondas. O segundo, aproximadamente a 3,5 km da foz e já localizado na zona de mistura, foi caracterizado por ser uma região de baixa energia, favorecendo a deposição de sedimentos lamosos, enquanto o terceiro setor apresentou sedimentos de maior tamanho (areias médias, grossas, muito grossas e grânulos) de origem fluvial, presentes na zona do rio.

Segundo o estudo realizado por Schaeffer-Novelli (1990) o conjunto dessas características climáticas e geomorfológicas permite o desenvolvimento de manguezais complexos com presença de diversas espécies de mangue e indivíduos de grande porte, acima de 12 metros, distribuídos longitudinalmente, seguindo o gradiente de salinidade.

O estuário do rio Guaratuba está localizado no domínio das glebas do Parque Estadual Restinga de Bertioga (PERB) e deságua diretamente no Oceano Atlântico (Figura 3-2). As nascentes dos rios que deságuam no estuário encontram-se em sua maioria protegidas pelo Parque Estadual Serra do Mar (PESM). O PERB (Decreto 56.500. SÃO PAULO, 2010) determina a proteção da última área de vegetação de restinga bem preservada na região (GIRARDI *et al.*, 2005). A criação desta UC é estratégica para a conservação da biodiversidade

¹ A precipitação média ponderada anual que consta no Plano de Bacia publicado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica da Baixada Santista para a sub-bacia Guaratuba é de 2.844 mm.

e contribui com a preservação do último corredor ecológico a ligar os biomas de Mata Atlântica, Restinga e Manguezal do município de Bertioga às porções de Mata Atlântica protegidas pelo PESM (BANZATO *et al.*, 2012). Cobrindo uma área de cerca de 93 km², o PERB engloba diversos rios e estuários, entre eles o rio Guaratuba, que nasce na Serra do Mar e desemboca diretamente no Oceano Atlântico.

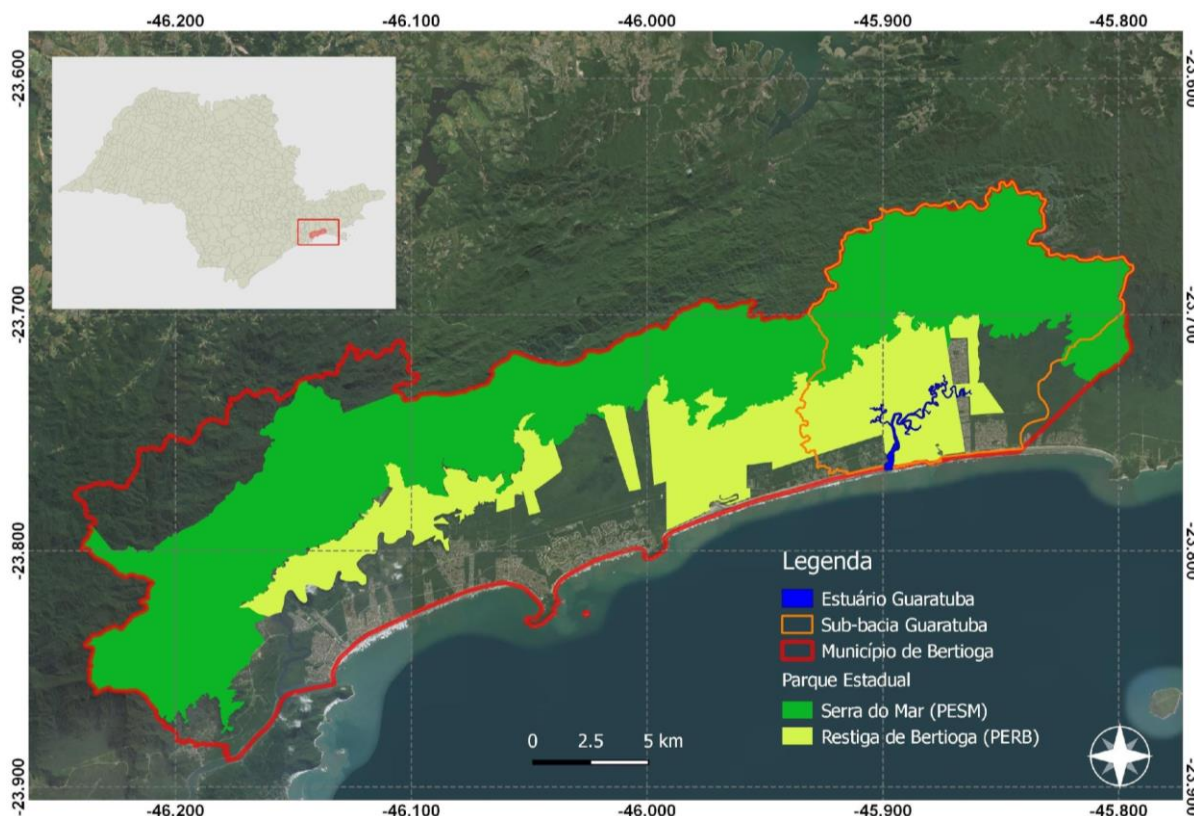


Figura 3-2- Delimitação das Unidades de Conservação dentro do município de Bertioga, SP. (Fonte: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>).

Existe nas margens do rio Vermelho, afluente do estuário do rio Guaratuba, um condomínio residencial densamente povoado que exerce pressões sobre todo o estuário através de modificações físicas no ambiente (essencialmente obras civis diversas e supressão de vegetação), bem como pelo lançamento de efluentes e impactos causados pelo tráfego de embarcações (Figura 3-3).

Como exemplo de ação indireta recente sob o estuário pode-se citar a ampliação da captação de água na cabeceira do rio Guaratuba, a qual ocorre fora da área de influência do estuário e envolve a transferência de água para o Sistema Produtor Alto Tietê – SPAT, em outra região. Desde 1955, aproximadamente 0,5 m³/s é desviado do rio por meio da Estação Elevatória de Água Bruta – EEAB, localizada na cabeceira do rio Guaratuba (coordenadas: -23.667, -45.896), que dobrou a sua capacidade de transferência (atualmente 1

m³/s) após a crise hídrica de 2015 (SABESP, 2015). O Estado de São Paulo enfrenta atualmente um sério risco de escassez hídrica por dificuldades na gestão das suas águas relativo ao cenário das mudanças climáticas (SORIANO *et al.*, 2016), podendo tornar necessária a captação do volume máximo por longos períodos de tempo, afetando a vazão do rio Guaratuba, principalmente em épocas de redução das precipitações.

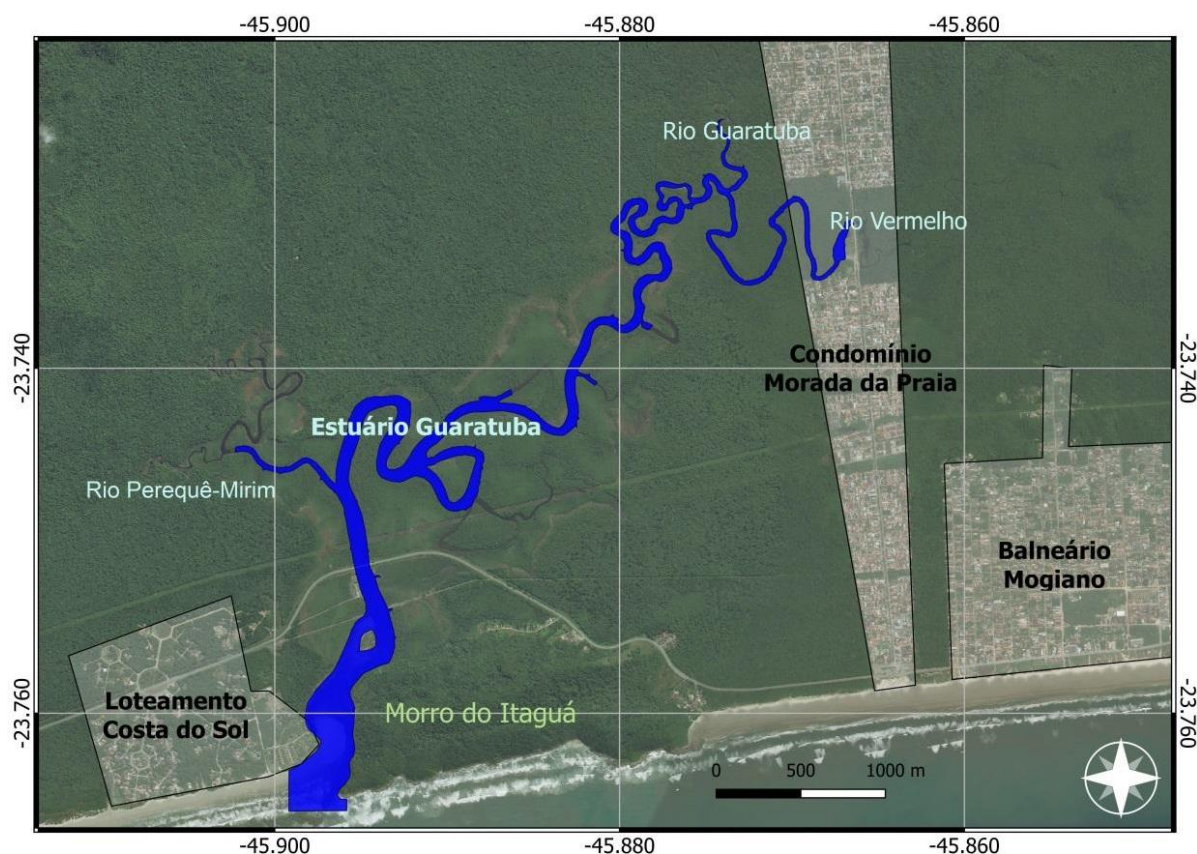


Figura 3-3- Afluentes do estuário do rio Guaratuba e localização do condomínio nas margens do rio Vermelho (Fonte: Google Earth®, 2018).

4. MÉTODO

Caracterização do estuário

Pluviosidade

Os valores de precipitação utilizados no presente estudo foram obtidos a partir da Estação pluviométrica Jardim Guaratuba (código 350635901A), operada e mantida pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN²). Localizada próximo à foz do estuário do rio Guaratuba, nas coordenadas -23,773° e -45,954°, a estação registra dados de precipitação (mm) a cada 10 minutos, em horário UTC, segundo a Convenção Internacional de Meteorologia.

Foram calculadas as precipitações horárias, diárias e mensais, a partir da soma dos registros, permitindo a correlação destes dados com dados de vazão.

Estimativa da vazão no estuário

Por se tratar de rios que descem a encosta da Serra do mar, cujos regimes são influenciados pelas marés, não há dados históricos de estações fluviométricas disponíveis que relacionem à precipitação nas microbacias com a descarga fluvial na região estuarina do rio Guaratuba, conforme evidenciado no estudo realizado por Wolff *et al.* (2014). Para estimar os dados de vazão do estuário e de cada um dos seus tributários, foi utilizado o aplicativo computacional da Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo (desenvolvido por LIAZI *et al.* (1988), *apud* WOLFF *et al.* (2014)), disponibilizado pelo DAEE³ que realiza os cálculos das vazões com base em dados de precipitação, temperatura, cobertura vegetal e declividade do terreno. Ao ingressar as coordenadas de um determinado ponto pertencente a um curso d'água, bem como o valor de área da bacia de drenagem a montante, o programa acessa uma base de dados e estima o valor da precipitação média anual para o local e a vazão média plurianual.

Foram escolhidos 5 pontos ao longo do estuário (Figura 4-1 Tabela 4-1), de modo a estimar as vazões do rio Guaratuba (GUA), do rio Vermelho (RV) e do rio Perequê-Mirim (PM), bem como a vazão resultante da confluência dos rios Guaratuba e

² <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>

³ <http://143.107.108.83/cgi-bin/regnet.exe/calcutm#r>

Vermelho, e a vazão total do estuário. A área de cada microbacia da sub-bacia do rio Guaratuba foi calculada no programa QGIS de acordo com os divisores de águas.

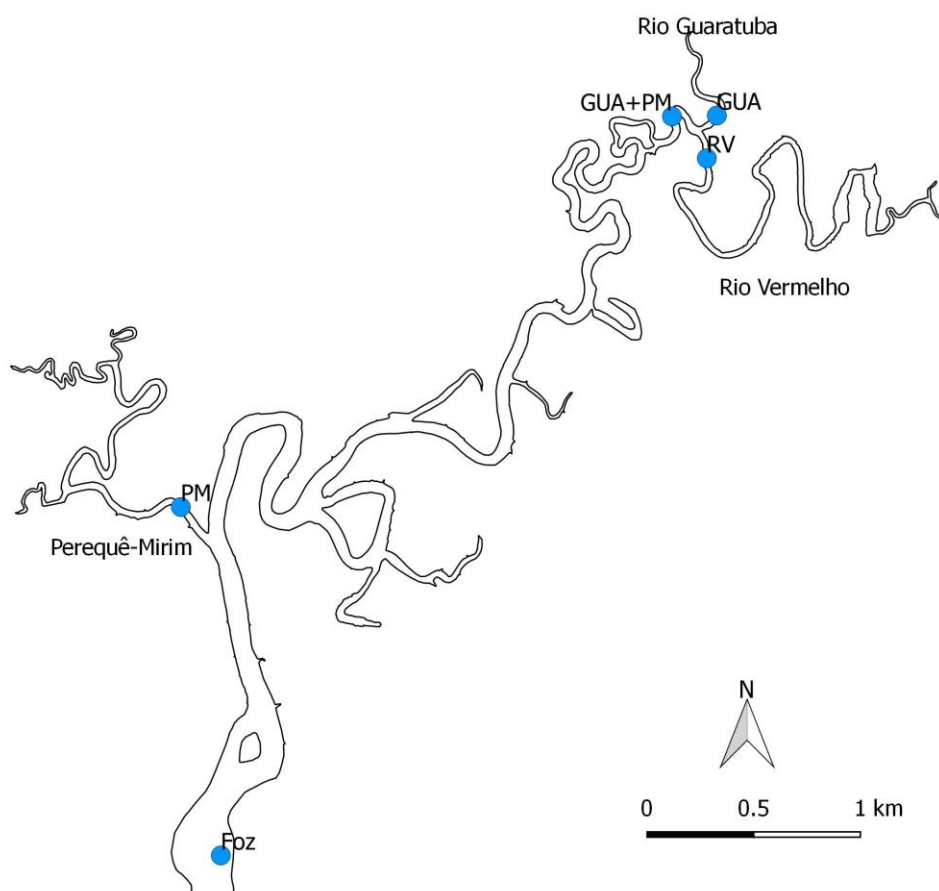


Figura 4-1-Pontos para estimativa da vazão a partir do método de Regionalização da Vazão do Estado de São Paulo.

Tabela 4-1-Pontos para cálculo da vazão a partir da Regionalização hidrológica.

	Latitude	Longitude
GUA	-23.72816	-45.87381
RV	-23.73217	-45.87406
PM	-23.74551	-45.89820
GUA+ RV	-23.73041	-45.87898
Total	-23.74901	-45.89542

Uma vez que a descarga fluvial é uma quantidade não estacionária, existe sazonalidade no regime de chuvas na região e as precipitações diárias afetam diretamente a vazão das microbacias que compõem a sub bacia do rio Guaratuba. Considerando, ainda, a ausência de dados fluviométricos históricos e a impossibilidade de se aplicar métodos semi-empíricos, optou-se por utilizar a média das vazões registradas em campo durante os períodos de vazante

para a Seção 7 (Rio Guaratuba, Figura 4-2) como padrão para ingresso de dados ao modelo. Para o dia anterior e o dia correspondente à coleta, a vazão média foi corrigida com base nas variações individuais e nos registros de precipitação.

Dessa forma, a partir da comparação das vazões calculadas utilizando o aplicativo disponibilizado pelo DAEE, foi definido um coeficiente de correção igual a 0,68 para o rio Vermelho e 0,41 para o rio Perequê-Mirim.

Para calcular a vazão dos tributários Perequê-Mirim e rio Vermelho a partir das medições na S7, foram adotadas as seguintes premissas:

- A precipitação é homogênea em toda a bacia hidrográfica;
- A vazão de cada tributário é proporcional à área de drenagem a montante;
- Devido à proximidade da desembocadura do rio Guaratuba com o sopé da Serra do Mar, o fluxo da descarga fluvial pode ser considerado unidirecional em sentido foz e com salinidade zero. O efeito de empilhamento da água por ação das marés é revertido mais rapidamente nesse tributário, e no momento das coletas (próximo ao estofo da maré baixa), a vazão medida corresponde à vazão do rio Guaratuba.

Altura do nível do mar

Os dados de altura do nível do mar utilizados para integração no modelo foram disponibilizados pelo Núcleo de Pesquisas Hidrodinâmicas (NPH) da Universidade Santa Cecília (UNISANTA), cujo modelo operacional (RIBEIRO *et al.*, 2019) realiza previsões da altura de nível do mar, considerando, além das componentes harmônicas das marés, as variáveis meteorológicas. Esses dados foram modelados para a estação maregráfica instalada no píer da Praticagem de Santos e correspondem à altura da maré a partir do nível de redução (NR) da estação.

Baraldo (2018) corroborou que o as marés no estuário do rio Guaratuba seguem as variações observadas na estação maregráfica da Praticagem de Santos, porém existe um atraso de aproximadamente 30 minutos entre a maré medida na Praticagem de Santos e a maré medida dentro do estuário do rio Guaratuba (marco de referência instalado nas coordenadas -23.753128° e -45.894728° no rio Guaratuba). Como a maré do modelo foi forçada na região costeira, fora do estuário, não foram realizadas correções horárias para os dados de maré utilizados.

Para coincidir com a cota zero utilizada nos levantamentos batimétricos e das margens (estabelecido como o nível médio da maré), os dados de altura do nível da água foram corrigidos descontando o valor médio do nível da água, do período estudado em cada caso.

Batimetria e margens

Os dados de batimetria do estuário e de delimitação de margens utilizados como base neste trabalho correspondem aos levantamentos realizados em 2017 no estuário do Rio Guaratuba por Baraldo (2018).

Os levantamentos de profundidade foram realizados com ecossonda (marca *Humminbird*, modelo 1197c SI, frequência de 200 kHz) e GPS integrado, e as margens foram delimitadas a partir dos sonogramas obtidos com sonar de varredura lateral (marca *Humminbird*, modelo 1197c SI, frequência 455 kHz). O arquivo de delimitação de margens foi salvo em formato vetorial (*shapefile*), utilizado como base para a elaboração de figuras, e convertido para o formato *.csv para posterior utilização no programa Delft-3D.

Os dados de profundidade foram corrigidos (correção da maré, *offsets* e eliminação de *spikes*), interpolados no programa *DrDepth*, e exportados como arquivo matricial em formato ASCII. Como cota zero de profundidade foi estabelecido o valor médio de nível do estuário durante a maré de quadratura.

A batimetria auxiliou no posicionamento das seções para medição de vazão, e foi utilizada para interpolação na grade do modelo computacional criado para este projeto.

Os valores de profundidade utilizados para interpolação na grade costeira foram obtidos do site *General Bathymetric Charts of the Oceans* (GEBCO⁴), que disponibiliza sets de dados batimétricos e de terreno a escala global em grades com resolução de 30 segundos de arco.

Medições de vazão

Foram realizadas 8 campanhas de medição de velocidade de corrente e vazão, duas para cada estação do ano, sendo uma durante a quadratura e a outra durante a sizígia.

⁴ http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/

As seções de medição de corrente foram posicionadas nos locais mais profundos (segundo as batimetrias utilizadas) e de modo a considerar os diversos ingressos de água ao sistema (GUA, RV e PM, a montante e jusante destes), para mensurar o aporte/influência dos principais tributários e meandros (Figura 4-2).

Durante cada campanha, foram realizadas quatro medições de vazão em cada seção: duas nos períodos de enchente e duas na vazante.

As coletas tiveram início na seção S1, continuando estuário acima. O horário de início das coletas foi estabelecido o como o horário médio entre os estofos das marés, de modo de começar no momento que as velocidades de corrente fossem máximas na S1.

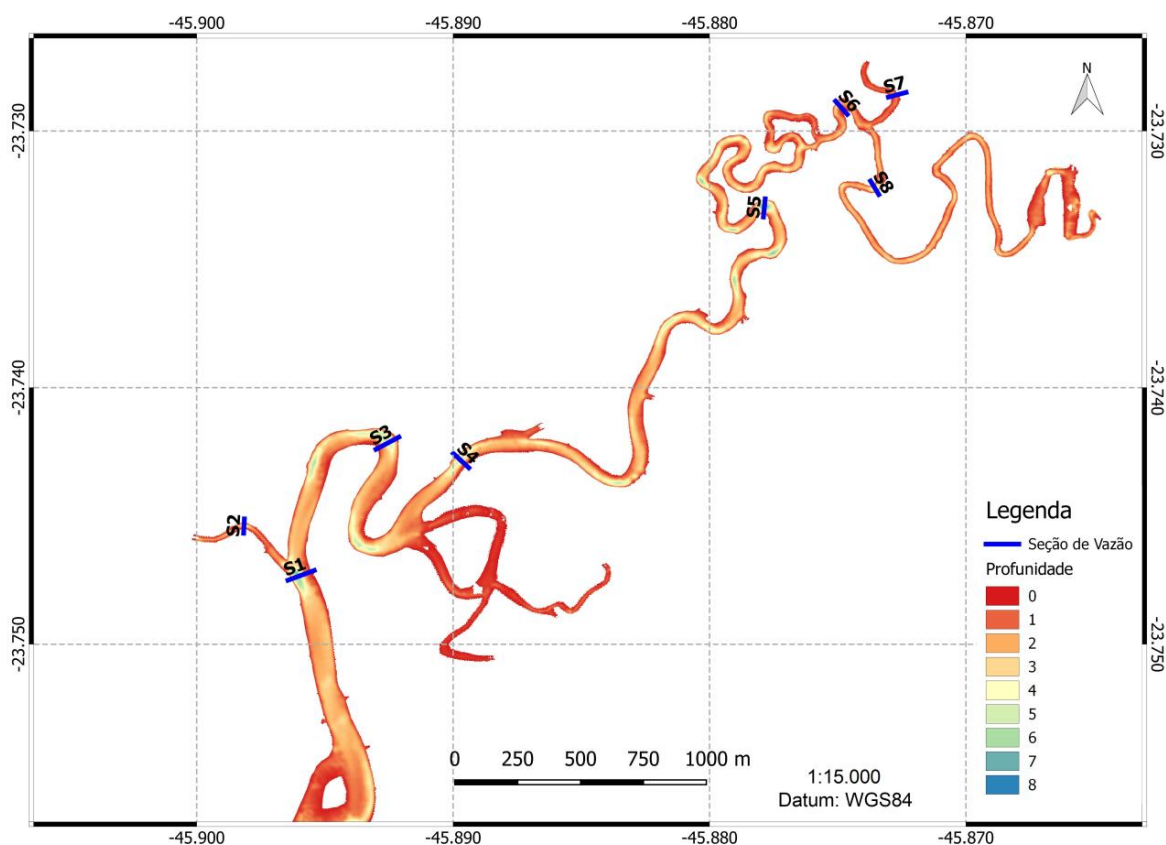


Figura 4-2-Localização das seções transversais para medição da vazão, sobrepostas à batimetria do rio Guaratuba.

Para determinação da velocidade do som na água e cálculo da vazão foi utilizado um perfilador acústico Doppler (ADCP) da marca *Sontek*, modelo M9 de frequência 1000 kHz, montado em um trimarã rebocado por embarcação de pequeno porte e motor 5Hp (Figura 4-3).



Figura 4-3-Embarcação com motor 5Hp, com trimarã rebocado utilizada para os levantamentos; b) Trimarã com transdutor e receptor/transmissor (black box); c) transdutor dentro da água.

Os dados foram transmitidos em tempo real e visualizados no programa *RiverSurveyor 7.4* da *Sontek*.

Para corrigir os dados de velocidade de corrente, foram realizadas *in situ* estimativas das distâncias das margens, e medições dos perfis de temperatura, condutividade e de pressão/profundidade com CTD da *SonTek* do modelo *Castaway* (Figura 4-5) nos pontos mais profundos de cada seção. Os valores de declinação magnética utilizados para cada campanha foram calculados no website da NOAA⁵.

Processamento dos dados

No programa *RiverSurveyor*, cada arquivo de medição de velocidade de corrente foi analisado e corrigido individualmente. Foram ajustados os valores de temperatura média e salinidade média de acordo com as medições de CTD (Tabela 5-6), e foram selecionados os perfis da seção transversal com dados conclusivos para a estimativa de vazão. Perfis com leituras errôneas ou inconclusivas de profundidade foram desconsiderados.

Para cada seção foi gerado um relatório de descarga contendo as informações de vazão medida, vazão estimada (sendo esta extrapolada para os perfis sem dados) e a porcentagem da vazão medida em cada seção. A Figura 4-4 ilustra a tela de processamento do programa *RiverSurveyor*.

⁵ <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>.

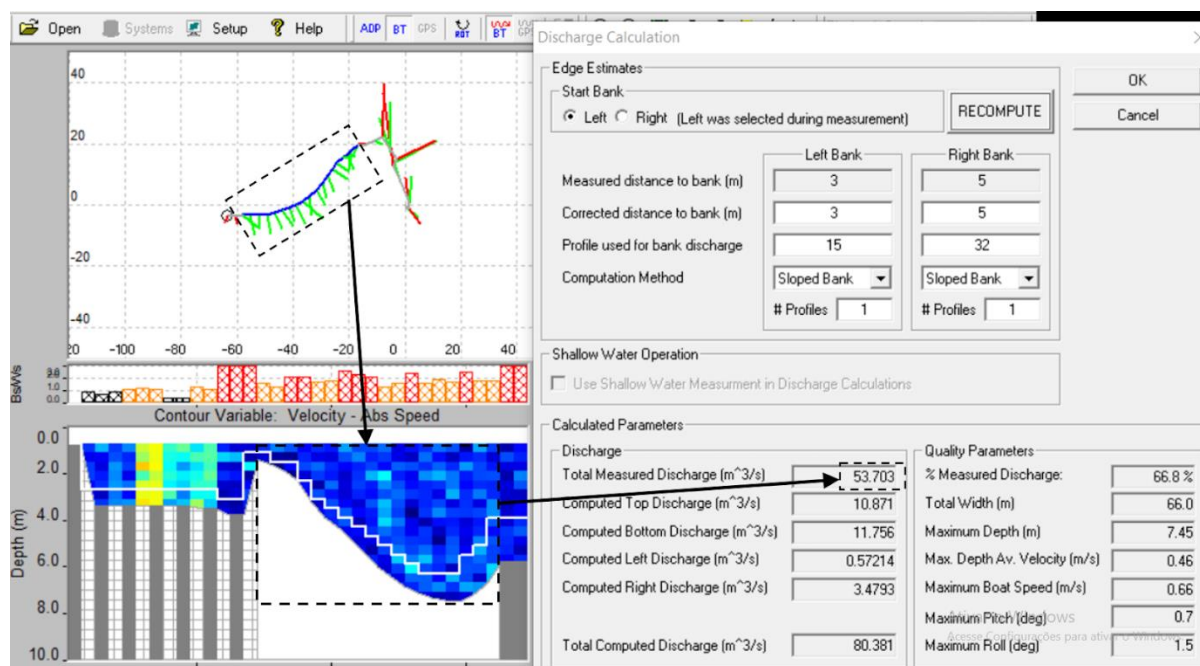


Figura 4-4-Captura de tela do programa *RiverSurveyor*. A janela superior esquerda mostra a vista superior do transecto e os vetores de velocidade de corrente. A janela inferior esquerda representa a seção transversal dividida em pixels de acordo com a profundidade. Os tons de azul representam a velocidade de corrente para cada ponto (y, z) da seção. A janela direita exemplifica os relatórios de vazão gerados a partir dos levantamentos.

Caracterização física do estuário

Levantamento de dados em campo

Nos períodos de transição entre enchentes e vazantes (estofos de maré) foram realizadas, a cada 500 m aproximadamente, medições dos perfis de temperatura, condutividade e de pressão/profundidade com CTD (Figura 4-5) para caracterização do estuário e comparação com os dados do modelo.

Para todas as campanhas foram realizadas anotações de campo e registros fotográficos durante as coletas.



Figura 4-5-Medição realizadas com CTD em campo.

Processamento dos dados

Os dados foram baixados no programa próprio do CTD *Castaway*. Leituras errôneas ou duplicadas foram eliminadas. Para cada ponto foi calculada a distância linear (percorrendo o talvegue) desde a foz do estuário, e os perfis verticais foram salvos como arquivo tabular *.csv (arquivo separado por vírgulas).

No programa QGIS (QGIS, 2013), foram montados projetos específicos para cada campanha. Seguindo o método descrito por Baraldo (2018), e com a finalidade de comparar os resultados do presente trabalho com os descritos pelo autor, foi estabelecido um sistema de referência de coordenadas arbitrário, com o intuito de representar a variação vertical da temperatura e salinidade ao longo do talvegue estuário considerando os valores dos eixos Z (profundidade) e Y (distância da foz) no lugar das coordenadas geográficas. Os valores medidos foram interpolados utilizando o método de interpolação triangular (TIN).

As interpolações geraram arquivos matriciais (camadas *raster*) que foram representados sobre a seção longitudinal (talvegue) do estuário.

Foram escolhidos três pontos do estuário para uma representação mais detalhada da estratificação vertical e penetração da cunha salina (Figura 4-6). Os perfis de salinidade em foram processados, analisados e representados em Python.

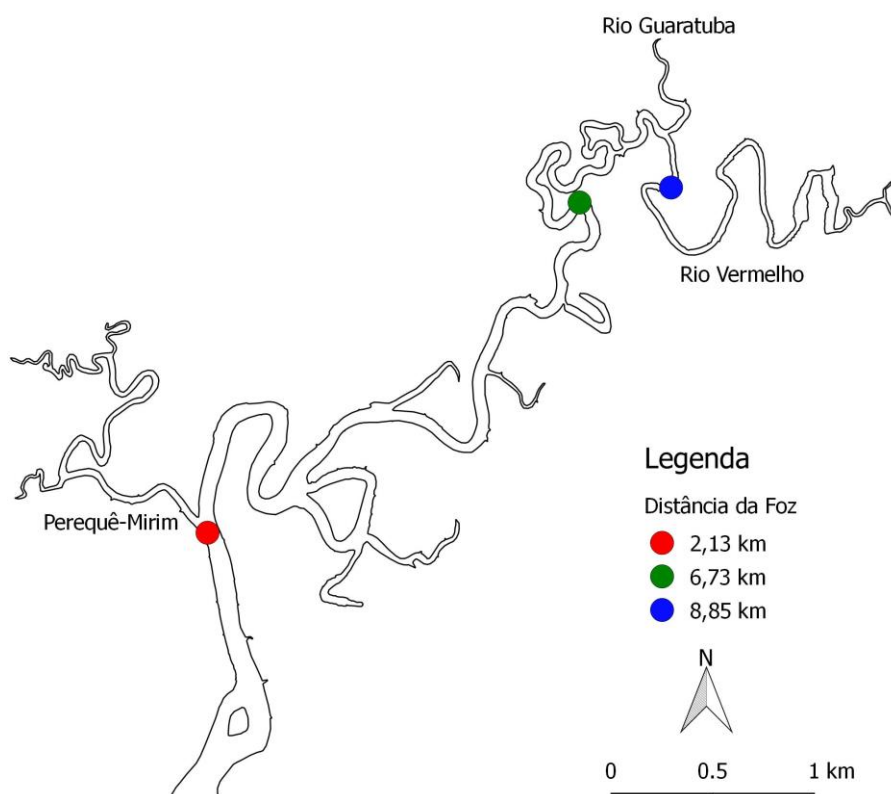


Figura 4-6-Pontos para representação da estratificação vertical de salinidade, localizados a 2,13; 6,73 e 8,85 km da foz.

Para análise da correlação entre temperatura e salinidade, e identificação da zona de mistura, zona do rio e região costeira durante as sizígias e quadraturas, foram criados diagramas de salinidade vs. temperatura, utilizando a distância da foz como terceira variável. Para tanto, foram utilizados recursos da biblioteca *Seaborn* do *Python*, específica para visualização e representação de conjuntos de dados estatísticos.

Modelo computacional

Elaboração de grades

Para confecção das grades computacionais foi necessário a projeção em tela dos limites geográficos dos domínios estudados, representados pelas margens. Estas foram editadas e salvas como arquivo ASCII, de extensão *.ldb e posteriormente exportadas para o programa *Delft-3D*. Para compor o modelo computacional foram criadas quatro grades computacionais no módulo RGFGRID do programa *Delft-3D*, as quais foram utilizadas como plataforma de entrada de dados no modelo.

A grade principal (GUA) foi dividida em 6 células no eixo transversal (M) e 429 no eixo longitudinal (N) ao estuário, sendo o seu ponto de início definido na margem direita na foz do estuário do rio Guaratuba. Duas grades auxiliares representando os tributários Perequê-Mirim (PM) e rio Vermelho (RV) foram criadas utilizando a mesma delimitação das margens. As grades foram refinadas em curvas e locais de confluência, e ajustadas às margens para representar o contorno do estuário mais fidedignamente. Na sequência, os elementos de grade foram ortogonalizados a fim de melhorar a orientação das correntes no modelo. Para forçar a maré no estuário e permitir o desenvolvimento de uma pluma estuarina, foi criada uma grade abrangendo a região costeira (GC).

O modelo permite, através da funcionalidade chamada Decomposição do Domínio, que as diferentes grades sejam conectadas por contornos comuns compartilhados (*DDBoundaries*), formando um único domínio computacional que represente o complexo estuarino como um todo (Figura 4-7).

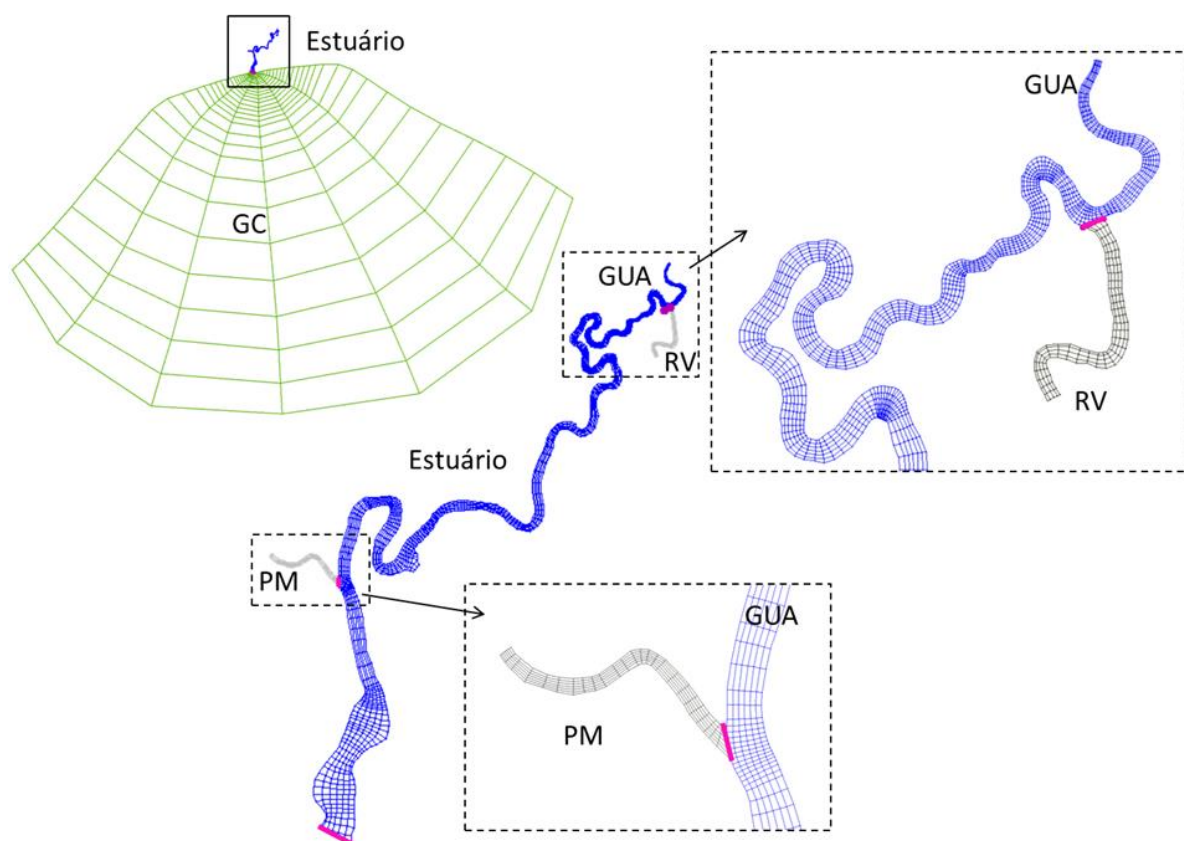


Figura 4-7-Representação das grades utilizadas no modelo. Azul: domínio principal (GUA); Cinza: domínios auxiliares (PM e RV); Verde: domínio costeiro (GC); Magenta: contornos compartilhados na confluência dos tributários.

As dimensões das grades e a posição dos contornos de confluência na grade principal encontram-se detalhados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2-Dimensões e resolução das grades utilizadas para compor o modelo e localização dos contornos compartilhados na grade principal.

	Sigla	M	N	Num de Elementos	Camadas σ
Domínio					
Rio Guaratuba	GUA	429	6	2589	6
Rio Vermelho	RV	33	4	132	3
Rio Perequê-Mirim	PM	25	6	150	1
Grade Costeira	GC	32	6	192	6
Contornos compartilhados					
Rio Guaratuba - Rio Vermelho	GUA-RV	381-385	7	-	
Rio Guaratuba - Rio Perequê-Mirim	GUA-PM	56-62	1	-	
Rio Guaratuba - Grade Costeira	GUA-GC	1	1-7	-	

Interpolação da batimetria

Os valores de profundidade do arquivo *.xyz foram interpolados às grades criadas no módulo *QUICKIN* do programa *Delft-3D*. Para as regiões das grades onde não havia dados de profundidade, assim como para ilhas e praias (locais muito rasos ou fora da água em condições normais de maré) foram acrescentados valores de profundidade manualmente.

Após a interpolação, foi realizada a “suavização” das profundidades, recurso do programa utilizado para evitar gradientes de declividade abruptos que podem ocasionar limitações no processamento do modelo. Esse recurso mantém o volume total interpolado, porém pode alterar valores individuais de profundidade. Como a interpolação é realizada em cada domínio separadamente, foi necessário corrigir manualmente os valores de profundidade nos contornos compartilhados, fazendo coincidir os valores (Figura 4-8).

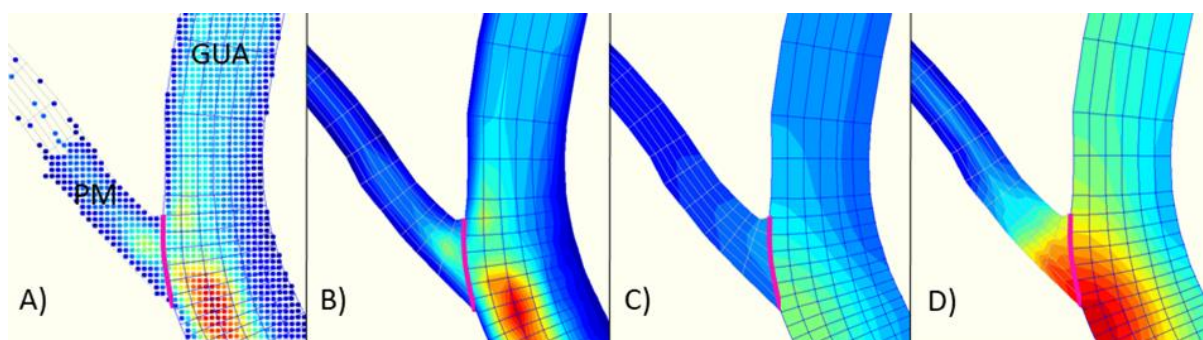


Figura 4-8- A) Domínios GUA e PM na região da confluência (contorno compartilhado indicado em magenta), com batimetria em formato matricial. Observa-se que no domínio PM foi necessário acrescentar valores de profundidade manualmente; B) Batimetria interpolada em cada domínio; C) Batimetria suavizada, com valores de profundidade não coincidentes no contorno de confluência; D) Batimetria editada para coincidência dos valores de profundidade no contorno compartilhado.

Elaboração do modelo: Ingresso de dados

Além dos arquivos de grade, profundidade e contornos compartilhados, foram definidas as seguintes condições para os modelos:

- **Número de camadas verticais homogêneas (Camadas σ):** 6 camadas para os domínios GUA e GC, 3 para o RV, enquanto que para o domínio PM foi definida uma camada única.
- **Período da simulação:** Para cada coleta foi gerado um modelo diferente, abrangendo o dia da coleta e os 7 dias anteriores a este (Tabela 4-3). Neste intervalo de tempo foi previsto um intervalo para a estabilização do modelo.

Tabela 4-3- Períodos das simulações.

	Início	Data da coleta
Simulação 1	11/08/2017	19/08/2017
Simulação 2	22/08/2017	30/08/2017
Simulação 3	04/11/2017	12/11/2017
Simulação 4	10/11/2017	18/11/2017
Simulação 5	10/02/2018	18/02/2018
Simulação 6	16/02/2018	24/02/2018
Simulação 7	10/04/2018	18/04/2018
Simulação 8	14/04/2018	22/04/2018

- **Condições iniciais de temperatura e salinidade das grades:** Para o domínio GUA, para cada campanha, foram calculados os valores médios de temperatura e salinidade, considerando as medições de todos os perfis registrados com CTD nas seções transversais durante as medições de vazão (Tabela 4-4). Para a grade costeira foram utilizados os valores máximos medidos na seção S1 durante a enchente, enquanto que para os tributários do sistema foram utilizados os valores mínimos medidos durante a vazante (Apêndice 1).

Tabela 4-4- Valores das condições iniciais de temperatura e salinidade para o domínio GUA nas diferentes simulações.

	Salinidade	Temperatura (°C)
Simulação 1	14.21	19.67
Simulação 2	18.82	21.66
Simulação 3	9.41	22.11
Simulação 4	15.25	23.56
Simulação 5	2.52	22.56
Simulação 6	7.97	24.78
Simulação 7	12.83	23.32
Simulação 8	16.11	23.62

- **Contornos abertos:** Os contornos abertos definem as forçantes do sistema, devendo ser estabelecidos em todos os locais de entrada (*input*) do estuário. Assim, foram definidos os seguintes contornos: 1 no domínio GUA (rio), 1 no domínio RV e 1 no domínio PM, onde foram definidas as vazões de entrada ao sistema, e 1 no domínio GC, onde foi forçada a altura do nível do mar (Figura 4-9). As setas azuis unidirecionais indicam entrada de água doce pelos tributários do sistema, enquanto que a seta verde indica o contorno forçado pela maré.).

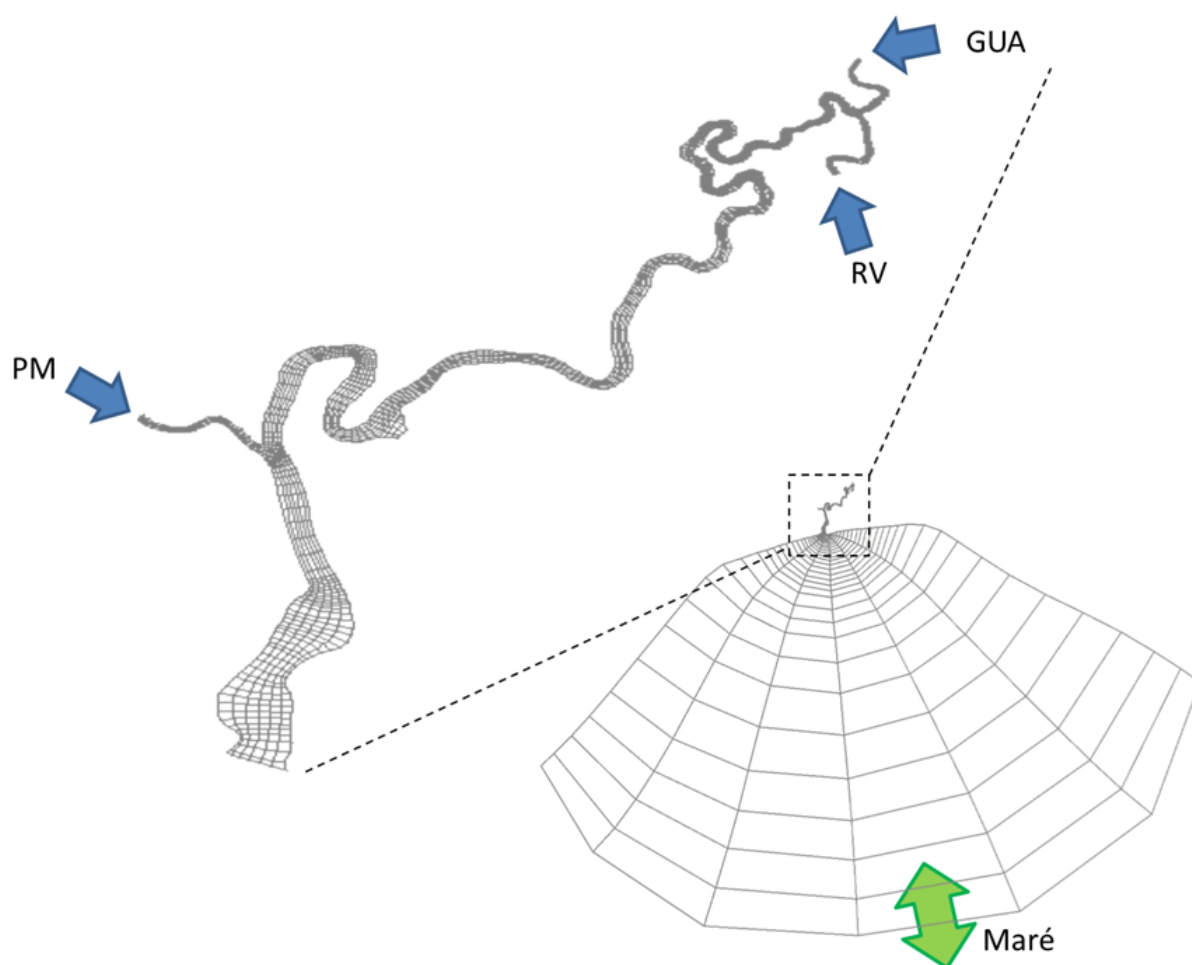


Figura 4-9- Contornos abertos das grades que compõem o modelo computacional. As setas azuis unidirecionais indicam entrada de água doce pelos tributários do sistema, enquanto que a seta verde indica o contorno forçado pela maré.

- **Condições dos contornos abertos:** Para o contorno da grade costeira (GC) foram utilizados os dados de previsão de maré (vide item “Altura do nível do mar”) com intervalo horário. Os dados de vazão para os outros 3 contornos abertos foram

determinados a partir dos cálculos descritos no item “Estimativa da vazão no estuário”.

Interpretação dos resultados modelados

Uma vez que os estuários em geral são estudados a partir de condições estacionárias de maré e vazão, a compreensão e visualização de fenômenos e processos hidrodinâmicos que ocorrem ao longo do tempo, por exemplo ao longo de um ciclo de maré, podem ser complexas e pouco intuitivas. Para tais fins, a representação e animação gráfica dos parâmetros do estuário, bem como de número adimensionais, facilita a interpretação de resultados.

Para compreensão da hidrodinâmica estuarina, foram realizadas no *QUICKPLOT* do módulo *Delft-3D-FLOW*, simulações de salinidade, nível da água e estratificação (ROELVINK e VAN BANNING, 1995). A interface gráfica deste módulo permite a visualização animada de diversos parâmetros em seções transversais, longitudinais e pontos do estuário.

Para comparação dos dados do modelo com os dados de campo, foram utilizadas as saídas correspondentes aos dias e horários em que foram realizadas as coletas: estofos de cheia para salinidade, penetração da cunha salina e estratificação, e séries temporais completas para nível d'água.

Uma das principais características hidrodinâmicas dos estuários é representada pelo número de Richardson, o qual representa a relação entre a capacidade inibidora de turbulência, exercida pela estratificação de massa, e a produção de turbulência gerada pelo cisalhamento vertical da corrente longitudinal no estuário:

$$Ri = - \frac{\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2}$$

onde **g** representa a gravidade, **ρ** é a densidade e **z** a coordenada vertical.

Valores negativos do gradiente de densidade ($\frac{\partial \rho}{\partial z} < 0$) indicam estratificação estável da massa de água, uma vez que a densidade/salinidade aumenta com a profundidade.

Analogamente, quando o módulo do gradiente $\frac{\partial S}{\partial z}$ a uma profundidade determinada supera determinado valor, o regime evolui para laminar, uma vez que a turbulência é amortecida. Acima ou abaixo dessa profundidade, o regime é turbulento. Conforme indicado

na bibliografia (MIRANDA *et al*, 2002), esse valor é de $Ri = 0,25$, sendo que valores inferiores indicam mistura turbulenta, e superiores, fluxo laminar.

A estratificação da salinidade e as velocidades das correntes variam ao longo do ciclo de maré, fazendo que o número de Richardson varie ao longo do tempo na zona de mistura do estuário.

O módulo *FLOW* calcula esse número adimensional e o representa graficamente ao longo do tempo e do estuário. A variação desse parâmetro foi estudada para sizíguas e quadraturas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do estuário

Foram realizadas 8 campanhas de medição da vazão e caracterização do estuário. A Tabela 5-1 resume as datas e períodos correspondentes.

Tabela 5-1- Datas das campanhas realizadas.

	Data	Estação do ano	Maré
C1	19/08/2017	Inverno	Sizígia
C2	30/08/2017		Quadratura
C3	12/11/2017	Primavera	Quadratura
C4	18/11/2017		Sizígia
C5	18/02/2018	Verão	Sizígia
C6	24/02/2018		Quadratura
C7	18/04/2018	Outono	Sizígia
C8	22/04/2018		Quadratura

Pluviosidade

A partir dos dados de precipitação analisados, foi calculada a precipitação mensal (Figura 5-1) como a soma das precipitações registradas.

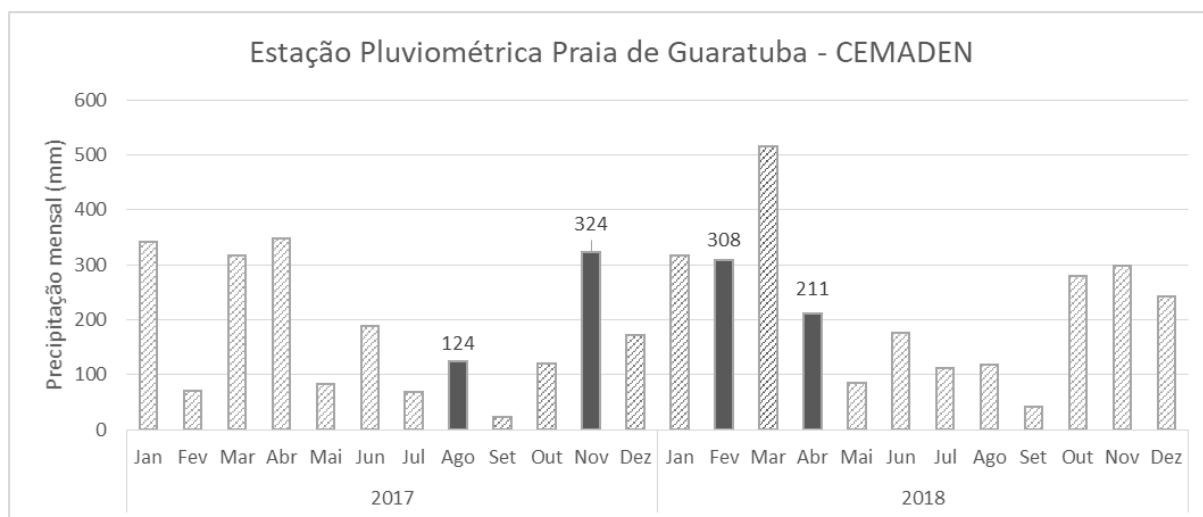


Figura 5-1- Precipitação mensal (mm). Os valores correspondem aos anos 2017 e 2018. Barras com preenchimento sólido correspondem aos meses das coletas (Fonte: CEMADEN).

Como se observa na Figura 5-1, as precipitações durante o período de coleta seguiram a tendência descrita para a região, com predominância de chuvas nos meses quentes, porém significativas o ano todo.

Observa-se que durante o ano de 2017 a precipitação total registrada foi 23% menor do que a média histórica (Tabela 5-2). Para 2018, a diferença foi de 5%. Durante o período compreendido entre agosto de 2017 e abril de 2018 (período de realização das coletas), que totaliza 9 meses, registrou-se 74% das precipitações esperadas para um período de um ano.

Tabela 5-2- Precipitação anual acumulada para os anos de 2017 e 2018, comparada com a média histórica e a precipitação registrada durante o período das coletas, para a Estação Praia do Guaratuba.

	mm/ano	% da média histórica
Média histórica de precipitação anual	2846.00	100
2017	2181.86	77
2018	2702.08	95
Agosto 2017 a abril 2018	2117.21	74

Visando avaliar o efeito da precipitação sobre os valores de vazão dos tributários (vide “Estimativa da vazão no estuário”), foram analisadas as precipitações diárias dos três dias anteriores às coletas, bem como as precipitações durante as campanhas⁶ (Figura 5-2).

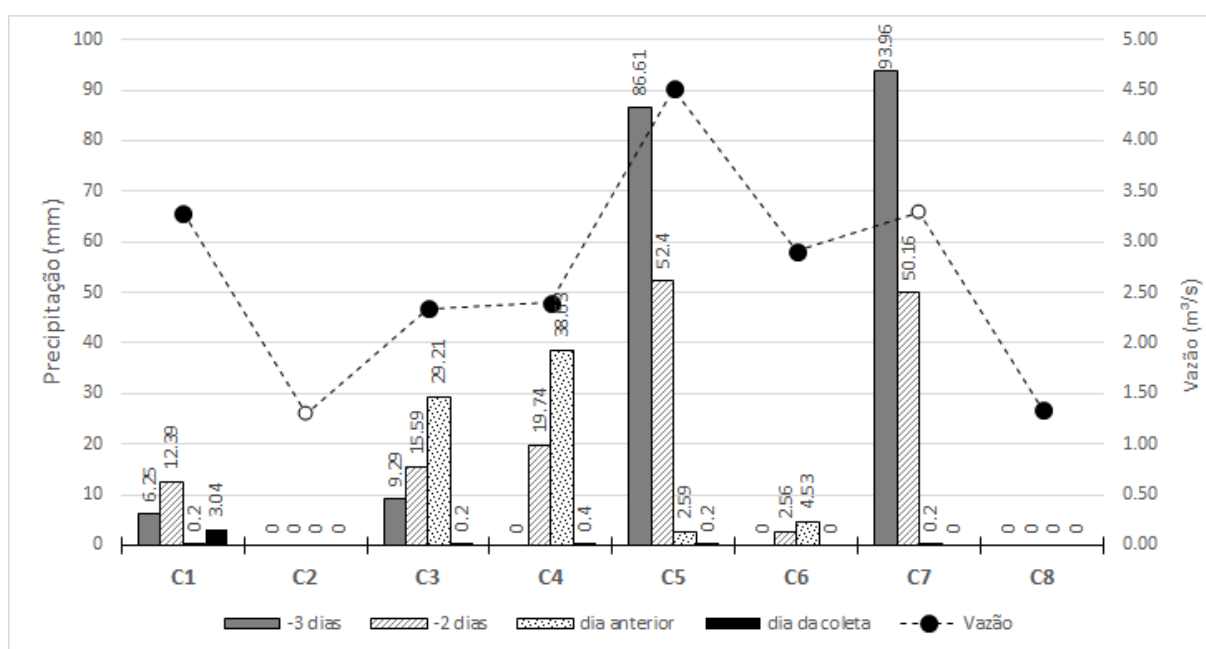


Figura 5-2- Precipitação diária para os dias de coleta e dias anteriores, e valores de vazão medidos (preto) ou estimados (branco) para o rio Guaratuba durante a maré vazante.

Ao comparar esses valores com observações realizadas em campo, foi possível constatar o efeito da precipitação sobre a vazão.

Efeitos imediatos de aumento da vazão ficaram evidentes durante a campanha 1. Apesar das precipitações serem moderadas nos dias anteriores e no dia da coleta, a vazão do rio foi alta

⁶ O valor utilizado corresponde à precipitação acumulada desde as 00:00 até a hora final da coleta.

no dia. Esta foi a única campanha com registro de precipitação na região estuarina no dia da coleta (Figura 5-3).



Figura 5-3- Imagem tomada durante a realização da campanha 1. Chuvas no estuário durante a realização da coleta.

Durante a campanha 6, apesar de não haver registro de precipitações no pluviômetro, foi possível observar chuvas na serra (observação de campo), com efeito nas vazões no fim da tarde (Figura 5-4).



Figura 5-4- Imagem tomada durante a realização da campanha 6. Céu encoberto e precipitações na Serra do mar. Não se registraram chuvas no estuário durante a campanha.

Em contraste, precipitações nos dias anteriores às coletas das campanhas 5 e 7 mostraram o efeito de chuvas intensas.

Durante a campanha 5 foi possível observar evidências do aumento recente da vazão em diferentes locais do estuário. Na S4 foram observados desbarrancamentos resultantes da erosão da margem (Figura 5-5). Na zona do rio se observaram novos depósitos de sedimentos arenosos com marcas de ondulação formadas por correntes (*sand ripples*) a aproximadamente 0,5 m acima da altura do nível máximo da água na maré cheia no dia da coleta (Figura 5-6). O rio Guaratuba transportava grande quantidade de sedimentos em suspensão (Figura 5-7), possivelmente por conta de erosão de trechos de encosta devido às chuvas torrenciais nos dias anteriores à coleta.



Figura 5-5- Margem erosiva da seção S4. A seta vermelha indica a altura do nível alcançado pela água, evidenciando a erosão do barranco. A seta amarela indica queda recente de vegetação marginal (ainda com folhas verdes nos galhos) devido à erosão do substrato.

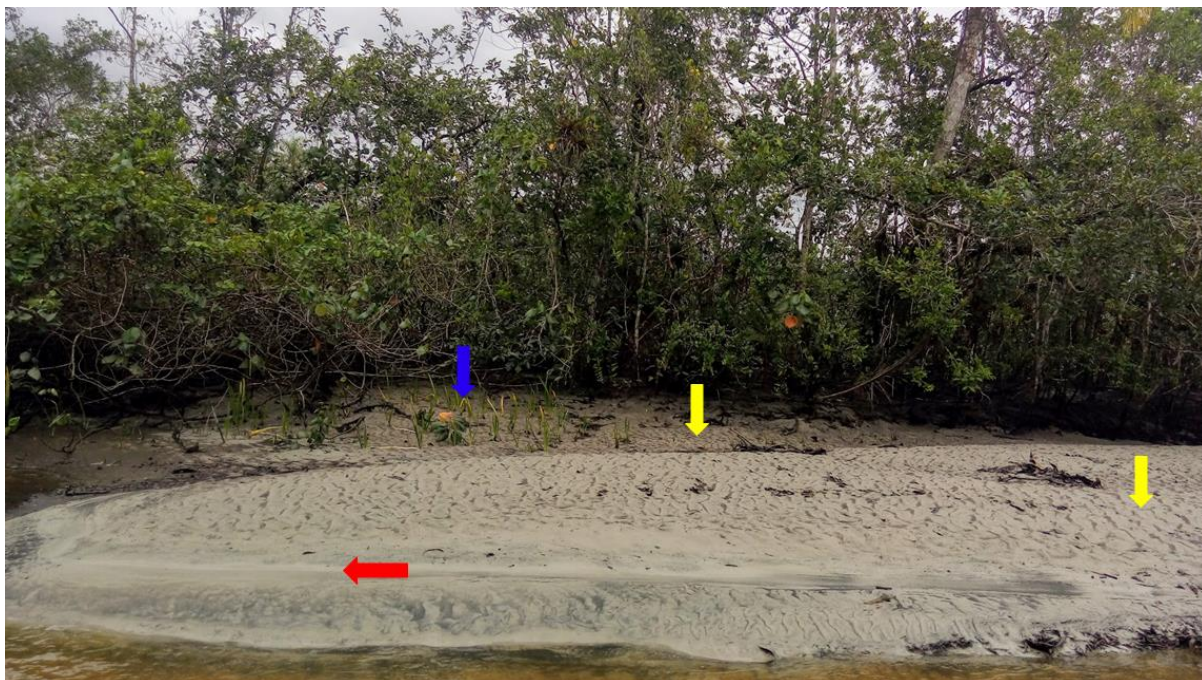


Figura 5-6- Banco de areia depositado nos dias anteriores à coleta, com marcas de descarga fluvial evidenciada por marcas de ondulação formadas por correntes (*sand ripples*, setas amarelas) aproximadamente 50 cm acima do nível máximo da maré cheia durante a campanha (seta vermelha). Ao fundo da imagem (seta azul), observa-se um banco de gramíneas soterrado pelo sedimento.



Figura 5-7- Confluência do rio Guaratuba (marrom claro, aspecto leitoso), evidenciando transporte de sedimentos em suspensão, com o Rio Vermelho (marrom escuro).

Durante a campanha 7, o rio Guaratuba apresentou alto grau de assoreamento, ocasionado pelo transporte e deposição de sedimentos arenosos em seu leito, o que impossibilitou as medições de velocidade de corrente com ADCP em S7 durante a vazante de sizígia (Figura 5-8). O tempo estava ensolarado, porém foram registradas precipitações intensas nos

dias anteriores à coleta. A água estava transparente (diferentemente da campanha 5), e ao analisar os valores de precipitação dos dias anteriores, não foram identificadas chuvas torrenciais, senão que as precipitações foram distribuídas no tempo. Possivelmente o assoreamento esteja associado aos episódios de precipitação intensa registrados para o mês de março, o qual foi o mês com maior valor de precipitação durante o período estudado (Figura 5-1).

Para as campanhas 2 e 8, não houve registro de precipitação para os dias analisados.



Figura 5-8- Imagem tomada durante a realização da campanha 7, evidenciando assoreamento da seção S7. Setas amarelas indicam os limites aproximados da seção.

Estimativa da vazão no estuário

Os dados de precipitação anual média e vazão média plurianual para as 3 microbacias que compõem a bacia do rio Guaratuba encontram-se resumidos na Tabela 5-3. Os relatórios de regionalização hidrológica completos para cada ponto, obtidos a partir do aplicativo do DAEE, encontram-se no ANEXO

Tabela 5-3- Vazão média plurianual, precipitação anual média e área da bacia à montante dos pontos localizados na desembocadura dos rios GUA, PM e RV no estuário, na confluência do GUA e RV e na foz do estuário.

	Área de drenagem da microbacia (km ²)	Precipitação anual média (mm)	Vazão Estimada (média plurianual m ³ /s)
GUA	58.85	3000	3.83
RV	42.03	2893	2.59
PM	26.02	2846	1.57
GUA+ RV	100.88	3000	6.56
Total	126.9	2846	7.64

A maior contribuição de água ao sistema é realizada pelo rio Guaratuba, que capta as águas do planalto e da região central da encosta. Juntamente com o rio Vermelho, ambos os cursos d'água desembocam na zona do rio do estuário. O rio Perequê-Mirim tem a menor vazão e deságua próximo à foz.

As vazões medidas em campo nos dias de campanha no rio Guaratuba utilizadas como dado de entrada dos modelos estão representadas na Figura 5-2. Para as campanhas 2 e 7, não foi possível realizar medições em S7 durante a vazante. Com base nas precipitações e observações de campo, foram determinados valores de vazão para estas campanhas. Dadas as condições semelhantes de precipitação entre C2 e C8, foram adotados 1,30 m³/s para C2, e 3,24 m³/s (P50- DAEE) para C7.

Os valores de vazão medidos e estimados para o rio Guaratuba, bem como os calculados para o rio Perequê-Mirim e rio Vermelho, encontram-se na Tabela 5-4.

Tabela 5-4- Valores de vazão utilizados para entrada do modelo. Os valores para o Rio Guaratuba correspondem aos medidos em campo; os valores de vazão para PM e RV foram determinados aplicando um fator de correção de 0,41 para o PM e 0,68 para o RV. (*) indica valores estimados por comparação.

	GUA (m ³ /s)	PM (m ³ /s)	RV (m ³ /s)
C1	3.29	1.35	2.24
C2	1.30*	0.53	0.88
C3	2.34	0.96	1.59
C4	2.39	0.98	1.63
C5	4.51	1.85	3.07
C6	2.91	1.19	1.98
C7	3.24*	1.33	2.20
C8	1.34	0.55	0.91

Medições de vazão

Durante as 8 campanhas, foram realizadas 246 medições nas seções para determinação da velocidade de corrente.

A Tabela 5-5 resume os valores de vazão calculados para cada seção em cada campanha, nos períodos de enchente e vazante. O detalhamento dos valores medidos e calculados em cada seção encontra-se no Apêndice 2.

Tabela 5-5- Valores de vazão (m³/s) calculados a partir das medições realizadas em campo, na enchente e na vazante para as seções S1 a S8.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
		Sizígia	Quadratura	Quadratura	Sizígia	Sizígia	Quadratura	Sizígia	Quadratura
Enchente	S1	-53.46	-46.77	7.20	-34.10	-37.95	15.11	-62.83	-24.81
		-74.05	-37.84	3.71	-31.29	-35.17	11.92	-61.82	-13.68
	S2	-8.20	0.81	3.51	-4.82	-5.76	2.39	-9.08	-1.11
		-6.89	-3.40	1.77	-4.38	-10.41	-1.93	-9.14	-1.08
	S3	-52.38	2.26	-3.49	-42.62	-31.15	13.81	-52.59	-12.06
		-56.36	1.40	-16.57	-55.24	-36.30	9.55	-49.20	-8.46
	S4	-25.14	-5.30	-7.28	-34.37	-15.51	13.08	-32.82	-14.82
		-31.34	-1.41	-6.78	-34.87	-20.51	15.18	-36.87	-5.05
	S5	5.28	-3.16	-2.93	-9.51	3.06	14.00	-16.23	-9.21
		-13.88	2.51	-5.75	-23.97	3.17	15.07	-13.92	5.92
	S6	-7.28	2.98	6.40	-5.92	8.11	9.11	-11.15	-8.41
		-9.58	-1.44	6.30	-3.96	6.09	10.81	-4.57	4.44
	S7	-0.27	1.00	3.09	-0.59	4.59	2.89	-3.24	-
		1.66	-0.23	3.90	0.86	3.68	2.94	2.16	1.34
	S8	-1.78	2.65	5.88	-7.99	4.54	6.14	3.33	3.98
		-0.52	-2.90	5.74	-8.14	4.27	1.51	2.27	4.39
Vazante	S1	87.91	17.02	69.96	60.09	69.19	42.34	28.80	15.05
		80.38	14.02	84.37	62.06	65.92	38.28	26.18	21.24
	S2	17.62	-0.71	11.87	10.88	5.02	2.38	4.11	-0.67
		10.52	0.57	12.51	17.33	3.54	2.79	3.94	1.04
	S3	75.58	-4.43	66.80	49.19	61.47	31.19	26.73	14.71
		64.88	-4.09	73.37	43.92	56.35	17.94	29.64	27.87
	S4	47.84	-	46.61	27.90	44.03	18.07	15.99	3.14
		40.70	-	46.92	29.68	36.43	19.66	17.42	9.11
	S5	20.18	-	29.34	10.88	28.32	18.02	5.11	5.36
		19.33	-	25.42	8.70	34.51	19.91	9.96	10.03
	S6	12.37	-	19.49	10.51	25.22	11.20	10.45	3.34
		5.94	-	17.72	14.48	16.44	12.02	12.14	7.88
	S7	3.62	-	3.07	3.57	4.77	3.77	-	-
		2.96	-	1.61	1.21	4.25	3.44	-	0.34
	S8	10.80	-	16.96	10.39	25.20	7.96	9.35	5.43
		4.64		15.55	12.48	20.79	8.92	10.70	3.54

A Tabela 5-6 mostra os valores de temperatura e salinidade, medidos nas seções, utilizados para correção das velocidades

Tabela 5-6- Valores de declinação magnética, temperatura e salinidade média utilizados para correção dos dados de correntometria.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Declinação Magnética									
		-21.57	-21.57	-21.60	-21.60	-21.63	-21.63	-21.65	-21.65
Salinidade média									
Enchente	S1	24.61	28.82	20.83	23.12	4.40	19.69	31.64	28.73
	S2	18.27	24.76	14.33	18.83	7.25	16.33	29.20	27.50
	S3	16.26	25.78	16.48	16.26	0.83	10.46	26.75	27.28
	S4	19.19	23.79	13.25	19.32	0.20	8.23	16.93	24.54
	S5	12.96	20.94	6.02	16.49	0.03	7.42	0.14	20.90
	S6	0.33	1.91	0.02	0.12	0.02	0.02	0.05	0.02
	S7	0.07	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02
	S8	0.21	0.04	0.02	0.06	0.02	0.02	0.04	0.02
Vazante	S1	34.49	29.17	24.67	34.39	10.56	19.32	27.45	28.67
	S2	30.64	26.04	21.17	32.15	11.77	11.42	26.88	24.41
	S3	27.11	25.79	15.84	32.75	1.68	9.05	19.65	26.17
	S4	26.00	-	14.74	30.19	3.57	9.78	13.55	24.85
	S5	16.66	-	3.08	20.03	0.02	5.43	0.04	19.36
	S6	0.28	-	0.02	0.12	0.02	0.02	0.02	0.02
	S7	0.03	-	0.02	0.02	0.01	0.02	-	0.02
	S8	0.18	-	0.02	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02
Temperatura média (C)									
Enchente	S1	20.45	23.06	23.14	24.28	23.23	27.29	26.92	25.92
	S2	20.06	22.75	22.54	24.20	23.50	26.61	25.89	25.64
	S3	19.95	22.81	22.82	24.30	22.80	25.74	26.23	25.61
	S4	20.23	22.45	21.99	23.86	22.65	25.00	25.89	25.33
	S5	19.92	21.89	21.08	23.33	22.35	24.71	22.72	24.70
	S6	18.53	19.13	20.36	23.17	22.16	22.81	22.07	20.19
	S7	18.27	17.98	19.02	21.74	21.69	21.48	21.40	19.84
	S8	18.51	19.19	20.80	22.78	22.61	23.45	22.06	20.53
Vazante	S1	21.11	22.87	23.91	23.98	23.69	27.43	25.49	26.07
	S2	20.88	23.12	23.90	24.43	23.75	26.34	25.45	25.61
	S3	20.69	23.03	23.39	24.14	22.46	25.96	25.41	25.77
	S4	20.57	-	23.22	24.16	22.49	25.71	25.52	25.73
	S5	20.09	-	22.04	23.83	22.03	24.37	21.06	24.60
	S6	18.54	-	21.73	22.96	21.94	23.47	20.82	20.84
	S7	18.34	-	22.03	22.60	21.22	22.25	-	20.74
	S8	18.53	-	21.77	23.14	22.33	23.87	20.96	20.83

Como se observa na Tabela 5-5, as vazões de enchentes e vazantes apresentam-se como valores negativos e positivos, respectivamente, indicando inversão do sentido das correntes pelo efeito das marés. Os valores da vazão (em módulo) em ambos os casos, mostram-se crescentes ao longo do estuário, evidenciando contribuições de tributários e áreas alagáveis ao sistema estuarino.

Em linhas gerais, os valores resultantes das vazões são maiores nas campanhas de sizígia do que nas quadraturas, com exceção das vazantes das campanhas de primavera, cujos valores foram maiores na quadratura.

Os valores de vazão registrados na S7 foram coerentes com os valores da curva de permanência das vazões obtidas a partir o aplicativo do DAEE (Anexo 1), sendo a média dos valores registrados na vazante de $3,06 \text{ m}^3/\text{s}$ em contraste com o valor P(50%) de $3,24 \text{ m}^3/\text{s}$, segundo o DAEE.

Ao comparar as vazões medidas dos rios GUA (S7) e RV (S8), observa-se que as do segundo são maiores, quando, de acordo com o DAEE, deveriam ser menores às do GUA. Durante a enchente, quando a água ingressa estuário acima, a maré é a forçante que domina o sentido da resultante do fluxo da água. A descarga fluvial e a energia potencial acumulada por represamento, e o consequente aumento do nível da água dentro do estuário atuam constantemente em sentido oposto (rio abaixo). Na vazante, os efeitos de todas as forças se somam, fazendo com que o módulo dos valores de corrente nessas condições seja maior do que os da enchente (discrepâncias observadas na tabela podem estar relacionadas com o horário de início das coletas). O RV percorre uma distância maior pela planície costeira do que o GUA até a confluência entre ambos⁷, sendo assim, é esperado que os efeitos de represamento de água sejam mais notórios no RV, resultando em uma vazão aparentemente maior do que o GUA.

Ao analisar os dados da C6 (quadratura), se observa que tanto os valores da vazante como os da enchente foram positivos. Uma vez que não foram registradas precipitações na região estuarina no dia da coleta, presume-se que as vazões medidas correspondam à rápida resposta do sistema às precipitações na serra do mar observadas durante a campanha (Figura 5-4).

⁷ Não foi possível remontar o rio Vermelho até as proximidades da serra, uma vez que, passando o condomínio Morada da Praia, a vegetação densa impossibilita a navegação.

As vazantes das campanhas C2 e C8 apresentaram os menores valores de vazão em comparação às demais quadraturas, sendo estas as campanhas onde não houve registro de precipitação no dia das coletas e tampouco nos dias anteriores.

Como se observa na Tabela 5-6, foram medidos valores de salinidade e temperatura maiores nas vazantes do que nas enchentes ao realizar os levantamentos de velocidade de corrente. Esse fato parece contrariar o esperado, uma vez que a água do mar apresenta temperaturas e salinidades maiores a da água do rio. Porém estas observações estão associadas à metodologia de coleta empregada, que priorizou as máximas velocidades de corrente, e não o máximo avanço da cunha salina. Destaca-se que estes valores foram utilizados para correção da velocidade de corrente e são estes parâmetros que influenciam a velocidade de propagação do som na água, sendo necessária a utilização dados medidos in situ para correção dos dados do ADCP.

Caracterização física do estuário

Durante as 8 campanhas foram realizadas 476 perfilagens com CTD ao longo do estuário.

Salinidade e temperatura

A Figura 5-9 representa os valores de salinidade ao longo de uma seção longitudinal (talvegue) do estuário durante os estofos das marés altas durante as sizígias e a Figura 5-10 os valores obtidos durante as marés de quadratura.

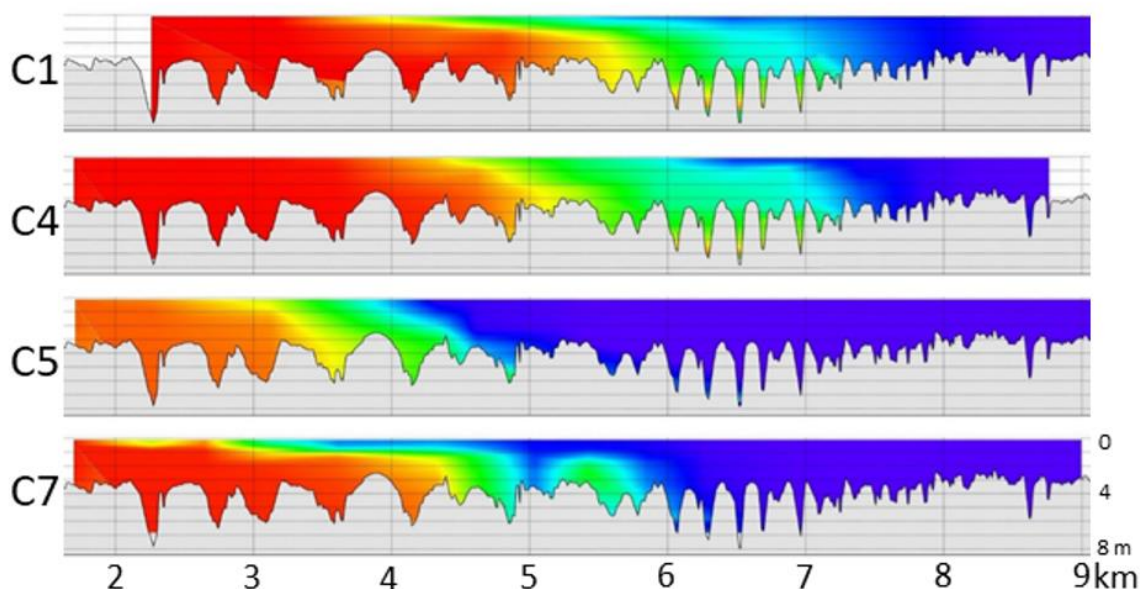


Figura 5-9- Interpolação dos valores de salinidade medidos no estofos das marés cheias de sizígia. O eixo horizontal representa a distância linear da foz do estuário, enquanto o eixo vertical representa a profundidade do talvegue.

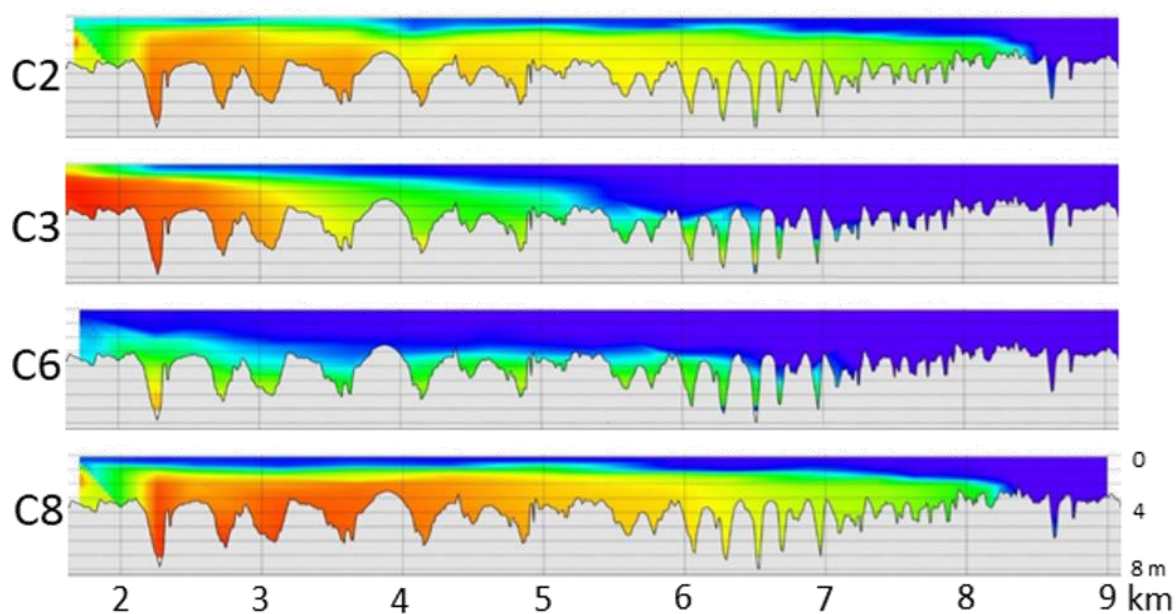


Figura 5-10-Interpolação dos valores de salinidade medidos no estofo das marés cheias de quadratura. O eixo horizontal representa a distância linear da foz do estuário, enquanto o eixo vertical representa a profundidade do talvegue.

Para três pontos representativos das zonas do estuário (próximo à foz, na zona de mistura e zona do rio) foram representados perfis de CTD para cada campanha (Figura 5-11).

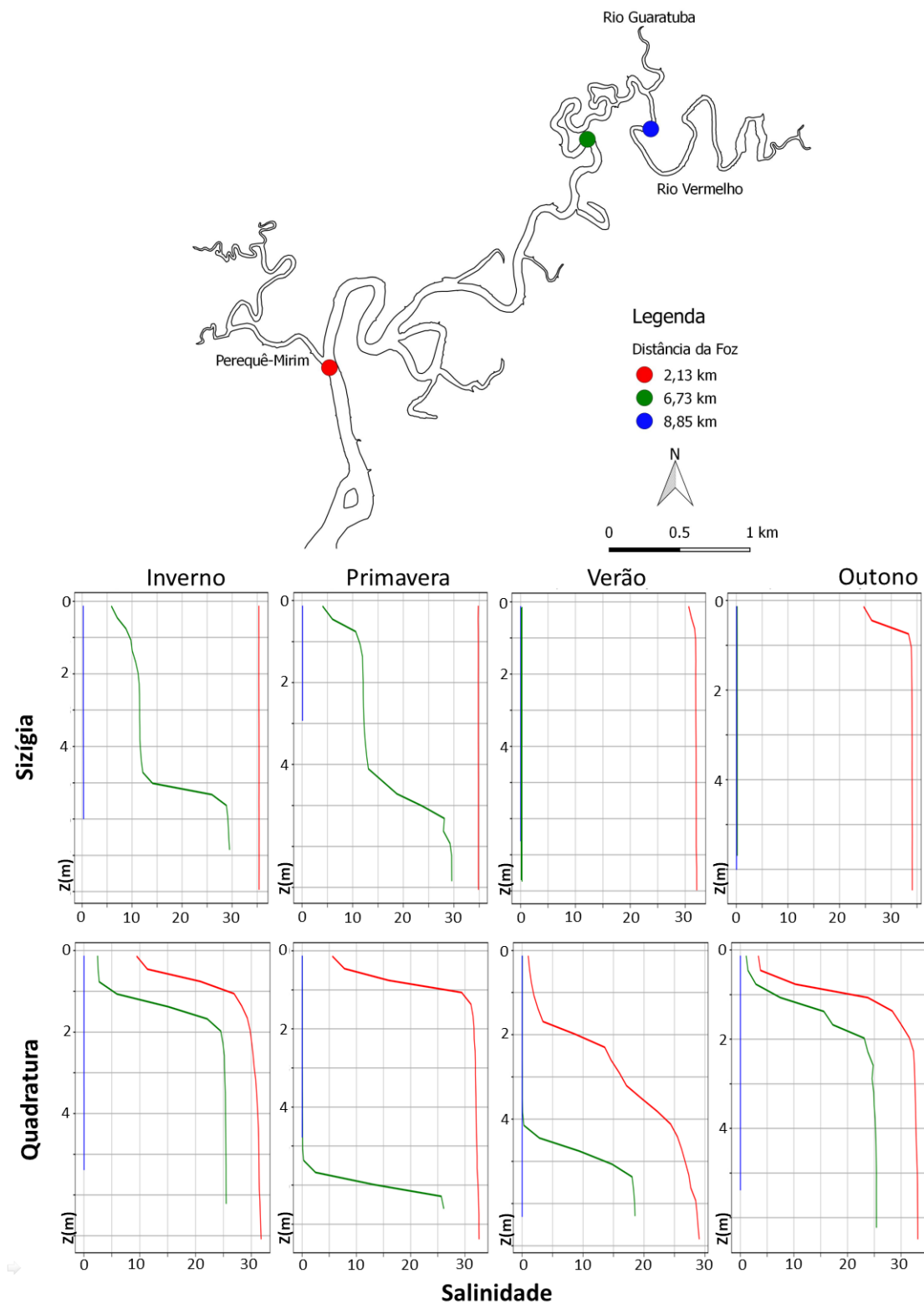


Figura 5-11- Localização dos pontos correspondentes aos perfis individuais representados (sup.); Perfis de salinidade (inf.): azul: próximo à foz; verde: zona de mistura; vermelho: zona do rio.

A estratificação de salinidade no estuário varia nitidamente entre sizígias e quadraturas. Durante as sizígias, o estuário encontra-se verticalmente bem misturado, podendo apresentar estratificação horizontal parcial na zona de mistura.

Nas quadraturas apresenta uma forte estratificação vertical, com diferenças de várias unidades entre os valores de salinidade da camada superficial e de fundo, mantendo a estratificação por toda a zona de mistura, até o estuário inferior. Nas coletas C6 e C8 a água doce da camada superficial se estendeu até o último ponto medido, próximo à foz do estuário. Particularmente na C6, quando foram observadas precipitações na serra durante a campanha, observou-se uma grande massa de água doce saindo do estuário e uma camada inferior de água salobra. A camada superficial apresentou mais de 2m de espessura em quase toda a extensão do estuário, mantendo aproximadamente 1 m nos pontos medidos mais próximos à foz. Esses dados são condizentes com as medições de vazão realizadas, que apresentaram valores positivos ainda durante a maré enchente, evidenciando que durante a referida campanha a descarga fluvial foi dominante no sistema. Durante essa campanha, a cunha salina, embora restrita às camadas de fundo, penetrou até 7 km estuário acima, evidenciando a importância da componente baroclínica da maré.

Também se observa nas Figura 5-9, Figura 5-10 e Figura 5-11 que durante as quadraturas, a cunha salina incursiona mais dentro do estuário que nas sizígias. As campanhas onde a incursão da cunha foi maior foram C2 e C8 (inverno e outono, respectivamente), alcançando cerca de 8,5 km da foz do estuário. Para estas campanhas não foram registradas precipitações nos dias prévios às coletas e os valores de vazão do estuário foram os mais baixos comparados às vazantes das demais campanhas.

Ainda nas campanhas C2 e C8, e em menor grau na C7, observa-se uma diminuição da salinidade a aproximadamente 2 km da foz do estuário, o que sugere o aporte de água doce do rio Perequê-Mirim. Esse tributário, embora apresente a menor das vazões dentre os estudados, pode colaborar com a variação de salinidade da massa de água próxima à foz, principalmente nas quadraturas.

Ao contrastar os dados de estratificação da salinidade com os dados de vazão, amplitude e altura da maré (Figura 5-12 e Figura 5-13) foi possível observar que:

- Nas campanhas C4 e C5 (sizígias) onde o nível da maré foi semelhante, porém a vazão foi maior em C5, a posição da cunha salina variou, penetrando 7,2 km em C4, e 5,0 km em C5.

- Nas campanhas C6 e C8 (quadraturas) cujas condições de maré foram semelhantes, a posição da cunha salina também variou com a vazão, ingressando até 7,0 km da foz para C6 (maior vazão) e 8,2 km para C8 (menor vazão). Ainda, a camada superficial (água doce) e, C6 apresentou uma espessura de 1,5 m, enquanto em C8 foi de 0,5 m, indicando um maior volume de água em C6.
- Para as campanhas C1 e C7 (sizígia), cujas vazões foram semelhantes, a diferença na amplitude e altura da maré resultou determinante para o intrusão da cunha salina. Em C1, onde a amplitude e altura da maré foram maiores, a cunha salina avançou até 7,2 km da foz, enquanto para C7 avançou 5,8 km.
- Em C4 (sizígia) e C3 (quadratura), ambas campanhas de primavera, com vazões e alturas da maré semelhantes, porém diferente amplitude da maré, o avanço da cunha salina em ambos os casos foi de 7,2 km, o grau de estratificação do estuário e o volume de água doce foram maiores durante a quadratura.

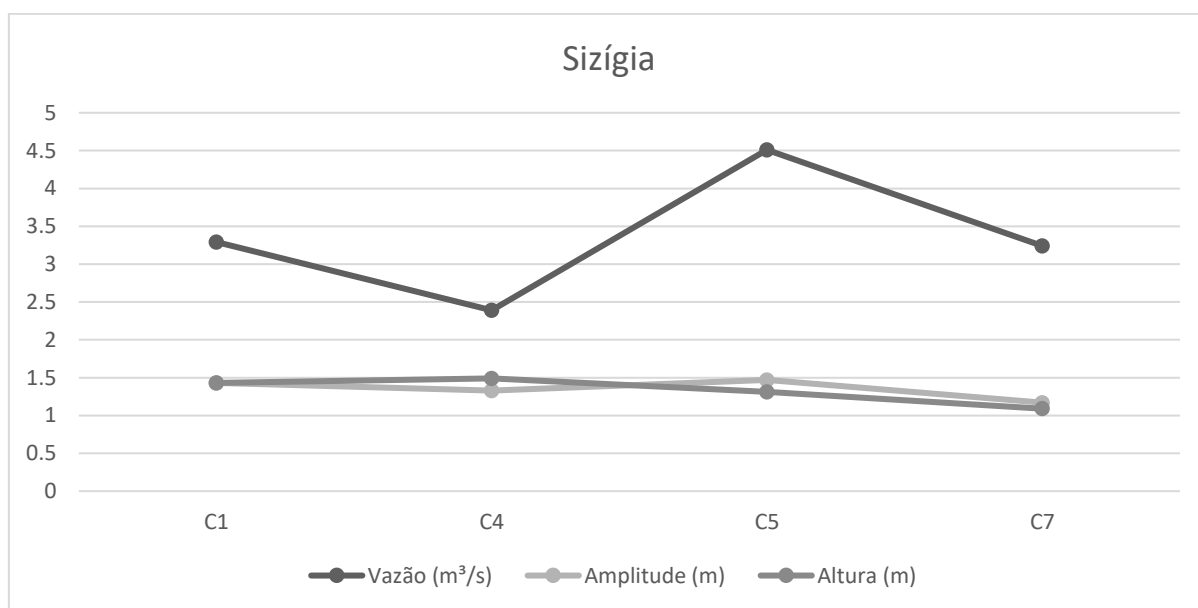


Figura 5-12-Comparação entre a altura da maré, a amplitude da maré e a vazão durante as coletas de sizígia.

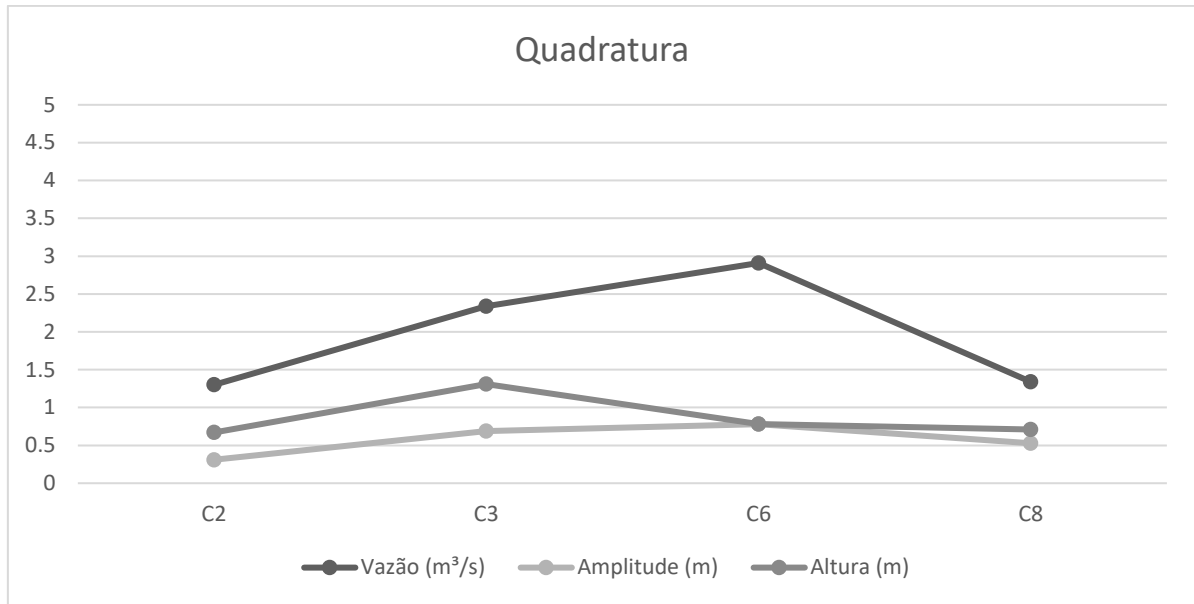


Figura 5-13-Comparação entre a altura da maré, a amplitude da maré e a vazão durante as coletas de quadratura.

As Figuras 5-14 e 5-15 representam as variações de temperatura ao longo do estuário durante as campanhas de sizígia e quadratura, respectivamente.

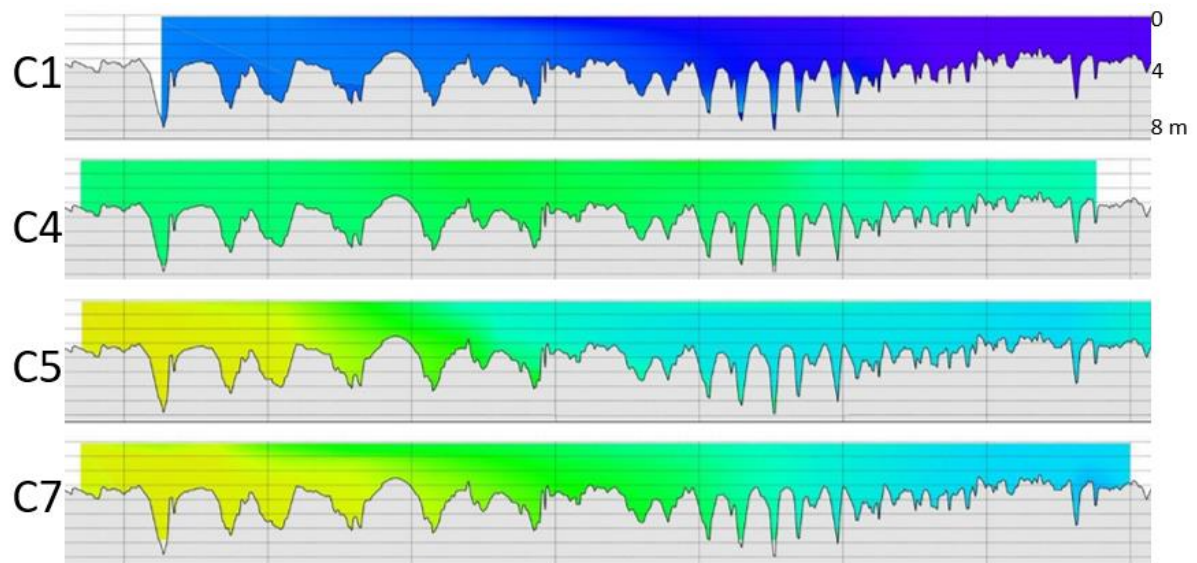


Figura 5-14-Valores de temperatura interpolados ao longo de uma seção longitudinal (talvegue) do estuário durante os estófos das marés altas nas campanhas de sizígia.

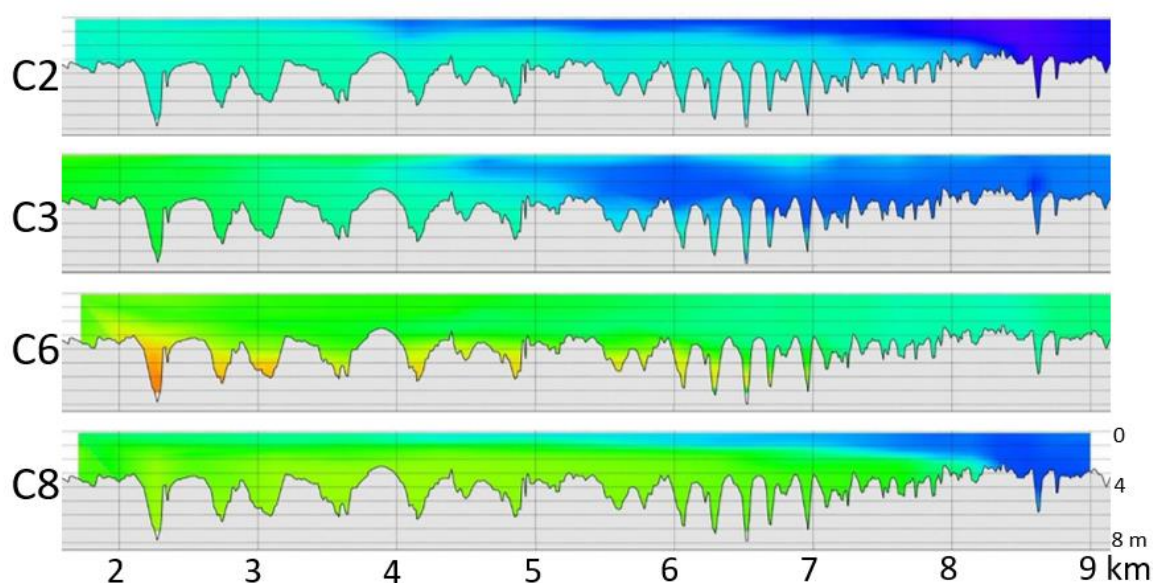


Figura 5-15-Valores de temperatura interpolados ao longo de uma seção longitudinal (talvegue) do estuário durante os estófos das marés altas nas campanhas de quadratura.

Em geral, a estratificação de temperatura acompanha o comportamento da estratificação de salinidade, com exceção das campanhas C3 e C5, onde foi possível observar uma fina camada de água mais quente e doce na superfície, ocasionada provavelmente por efeito da irradiação solar.

Ao representar os valores de temperatura e de salinidade de cada perfil de CTD em um mesmo gráfico (Figura 5-16), é possível observar padrões diferentes de estratificação desses parâmetros nas sizígias e nas quadraturas ao longo do estuário. Durante as sizígias, onde as massas de água estão mais misturadas, a variação de temperatura no estuário apresenta uma relação linear com a salinidade. Na sizígia de primavera (C3) é possível observar estratificação vertical na temperatura, porém não na salinidade. Já na C7 a estratificação (embora menor à das quadraturas) está dada pela salinidade.

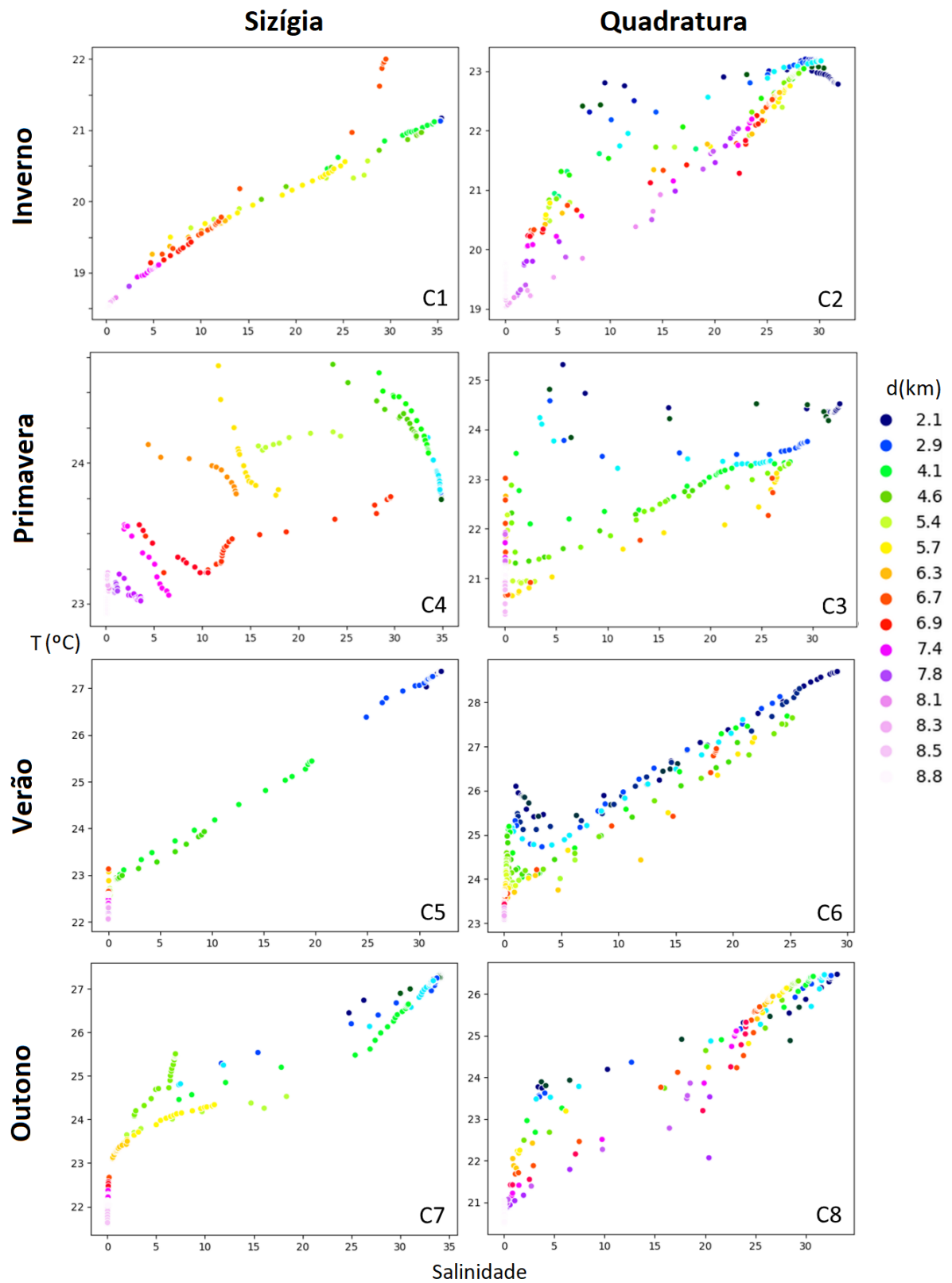


Figura 5-16 Salinidade vs. temperatura dos perfis de CTD realizados ao longo do estuário. As cores representam a distância da foz do perfil realizado.

A distribuição de valores nas quadraturas apresenta maior dispersão dos pontos, principalmente para as distâncias correspondentes à zona de mistura, onde se observa a estratificação do estuário. O parâmetro que domina a estratificação é a salinidade, embora nas campanhas de primavera e verão exista estratificação da temperatura.

Classificação do estuário

Com base nas medições realizadas e segundo as classificações de Pritchard (1955) e Officer (1977) (Tabela 5-7), determinou-se que o estuário apresenta grande variabilidade quanto a sua estratificação ao longo dos ciclos de maré e do ano, não podendo ser classificado univocamente.

Tabela 5-7- Classificação do estuário do rio Guaratuba, segundo Pritchard (1955) e Officer (1977).

Classificação	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Pritchard, 1955	Tipo B	Tipo A/B	Tipo A/B	Tipo D	Tipo D	Tipo A	Tipo B	Tipo A
Officer, 1977	PMs	AE	AE	BM	BM	CS	PMs/AE	CS

Baraldo (2018), que estudou o estuário do rio Guaratuba durante o período de um ano, a partir de coletas mensais realizadas durante as marés de sizígia, classificou-o como parcialmente misturado ou verticalmente bem misturado, dependendo das condições meteoceanográficas (ressacas e precipitações). Os resultados do presente estudo corroboram essa classificação para os períodos de sizígia. Entretanto, os resultados obtidos para as marés de quadratura evidenciam uma estratificação bem acentuada, enquadrando o estuário como do tipo altamente estratificado e de cunha salina, nessas situações.

Ao comparar a intrusão da cunha salina com as precipitações, o autor associou a incursão da cunha à variação sazonal das precipitações. Porém o presente estudo sugere que a variação ocorre a menor escala, variando entre sizígias e quadraturas, e podendo variar em questão de horas devido ao efeito das precipitações nas vazões (e consequentemente na incursão da cunha salina) para bacias com área de drenagem pequena (DALRYMPLE, 2015; WOLFF, 2014). Em ambos os estudos foram utilizados dados do pluviômetro localizado na região estuarina, mas, como observado em campo, as precipitações no planalto ou na encosta podem afetar mais a vazão do que as precipitações na própria região estuarina.

Resultados do modelo computacional

Para interpretação dos resultados do modelo, foi inicialmente analisada a propagação da maré dentro do estuário, como resposta à variação do nível da água forçado na grade costeira. Foram selecionados um ponto na grade costeira, um no domínio GUA próximo à foz, e outro próximo à confluência com o RV. As Figura 5-17 e Figura 5-18 representam a propagação da onda de maré na Sim 1 (sizígia) e Sim 3 (quadratura), respectivamente. Os gráficos para todas as simulações encontram-se no Apêndice 3.

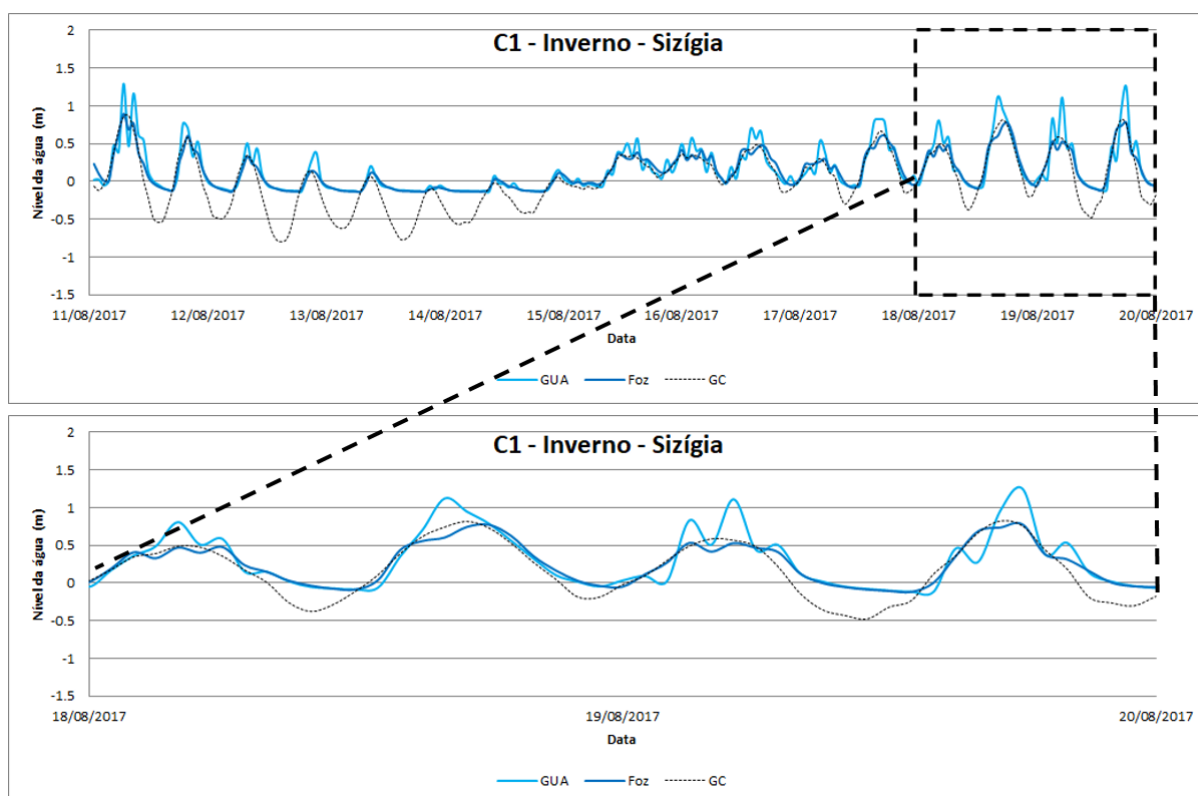


Figura 5-17- Variação do nível do mar durante o período do modelo durante a C1 (sizígia), em três pontos do estuário: No rio Guaratuba, próximo a foz do estuário, e na Grade Costeira ao longo do período da simulação (sup). Detalhe da variação do nível do dia anterior e do dia da coleta (inf).

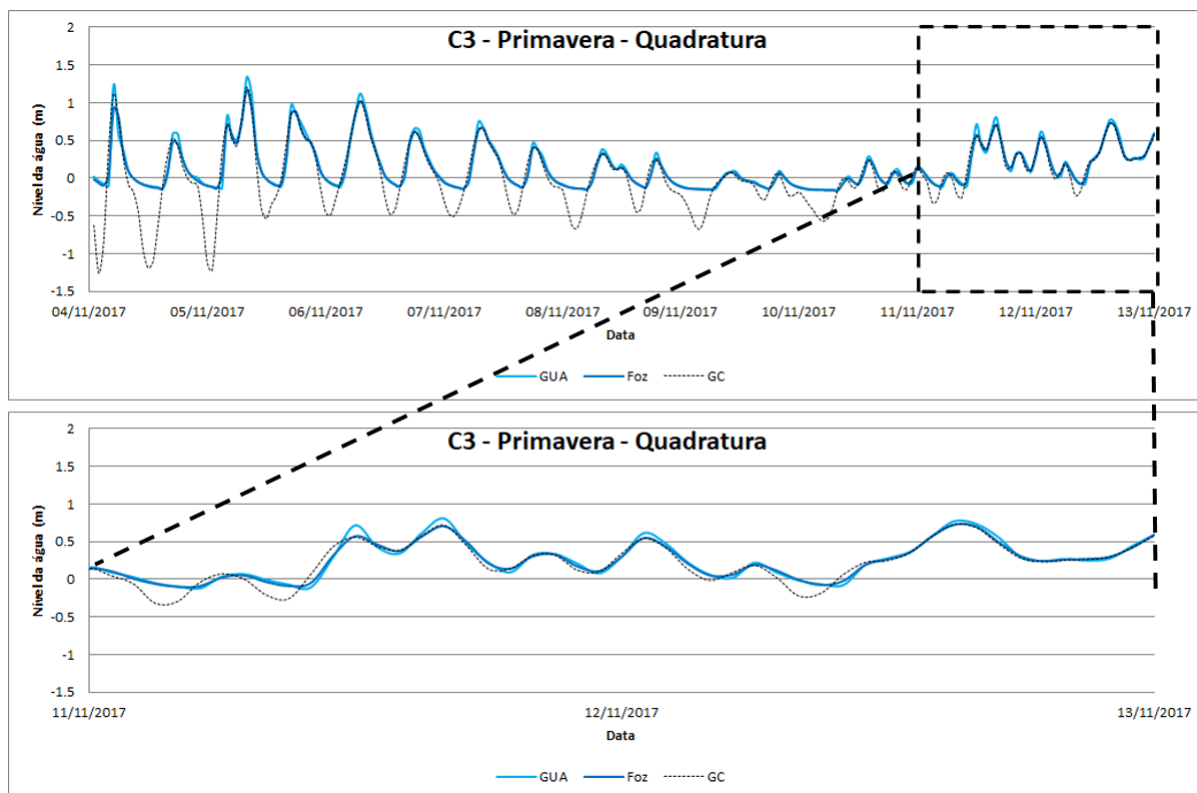


Figura 5-18- Variação do nível do mar durante o período do modelo durante a C3 (quadratura), em três pontos do estuário: No rio Guaratuba, próximo a foz do estuário, e na Grade Costeira ao longo do período da simulação (sup). Detalhe da variação do nível do dia anterior e do dia da coleta (inf).

A análise das figuras permite observar que o modelo precisa de alguns dias para se ajustar às condições de variação do nível do mar e se estabilizar, mas responde adequadamente, apesar de apresentar ruídos.

Um maior aumento do nível da água foi constatado para todas as simulações no ponto próximo à confluência, sugerindo empilhamento da água.

Os resultados de salinidade das simulações realizadas estão representados na Figura 5-19.

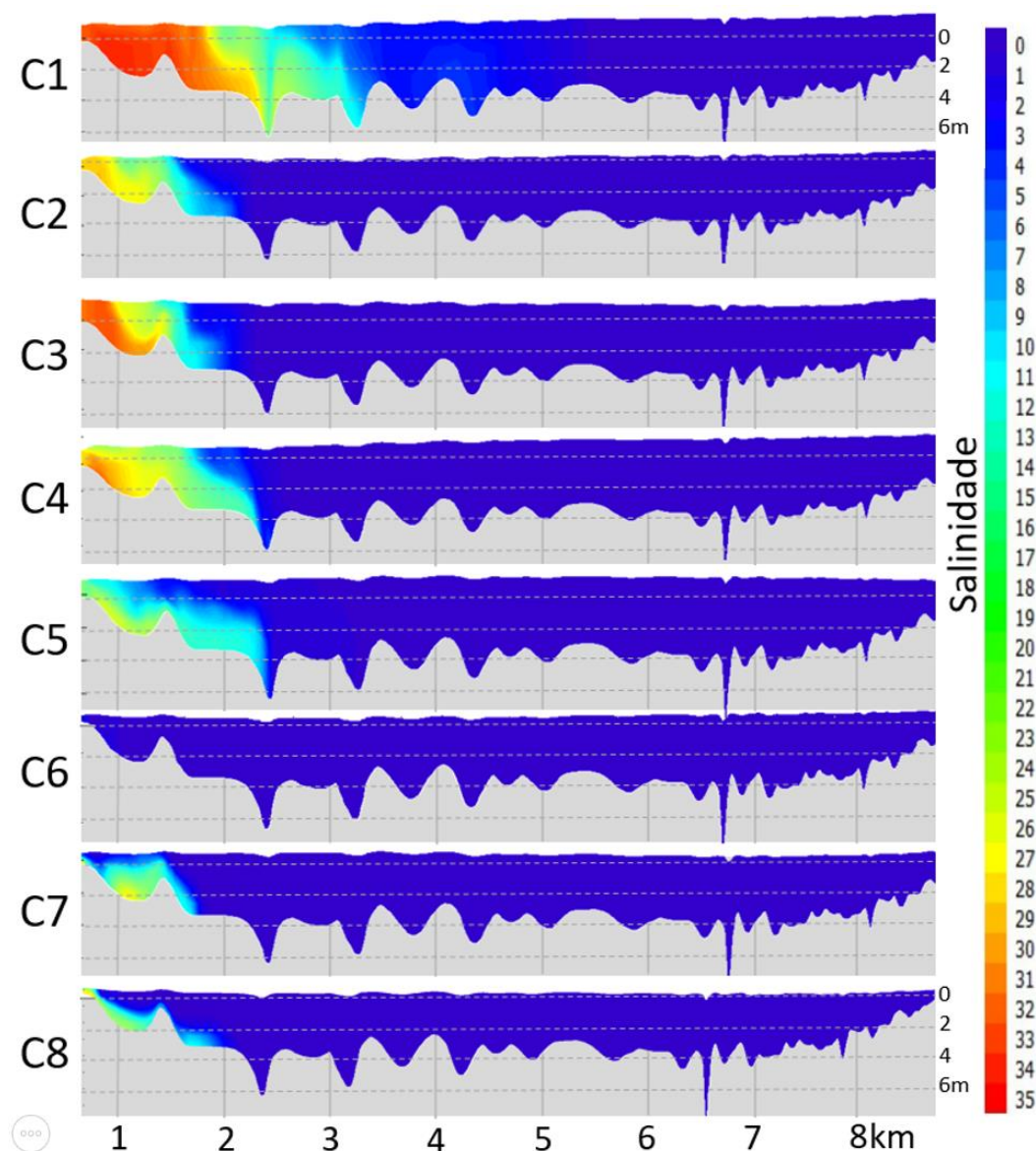


Figura 5-19- Resultados dos modelos. O eixo horizontal representa a distância linear da foz do estuário, enquanto que o eixo vertical representa a profundidade na seção longitudinal média da grade principal.

Mesmo observando padrões similares, os resultados do modelo apresentam divergências na distribuição de salinidade medida. Segundo os resultados das simulações, a água do mar ingressa menos no estuário em comparação com as observações (Figura 5-9 e Figura 5-10). Além disso, a incursão de água do mar no interior do estuário, segundo o modelo, é maior durante as sizígias do que nas quadraturas, o que contraria os resultados obtidos em campo.

As simulações 1 e 6 foram as que mais se aproximaram da realidade observada no momento da coleta. A primeira foi a que apresentou maior alcance da intrusão salina estuário acima, enquanto que a Sim 6, recriou o efeito do aumento da vazão.

Uma vez que as vazões utilizadas foram coerentes com das curvas de permanência dos relatórios de vazão do DAEE e tendo em vista que as marés responderam adequadamente, as

discrepâncias com a realidade podem estar relacionadas ao fato das grades não incluírem nos modelos, meandros, tributários rasos e áreas alagáveis da região estuarina. Em estuários de pequeno porte, o volume de água deslocado para essas áreas pode se tornar significativo, afetando a hidrodinâmica do estuário.

Mesmo não representando fielmente a realidade do campo, as animações geradas permitiram compreender alguns aspectos da hidrodinâmica estuarina.

Foi possível observar a importância da contribuição do rio Perequê-Mirim ao sistema quanto à diminuição da salinidade e estratificação ao se juntar ao curso principal.

Complementarmente, foram realizadas as análises do número de Richardson, o qual é uma medida do regime turbulento do estuário. Para as simulações 1 a 4, os resultados, estão representados na Figura 5-20 (os demais resultados encontram-se no Apêndice 4).

Os resultados das figuras mostram valores de $Ri > 0,25$ nos locais de encontro das massas de água dos diferentes domínios, sugerindo que as diversas condições de salinidade e temperatura contribuem para aumentar a estratificação do estuário. Este fenômeno é observado tanto no ponto de ingresso do rio Perequê-Mirim ao estuário (intensificando os gradientes de salinidade e temperatura), como na confluência dos rios Guaratuba e Vermelho, onde está presente um gradiente de temperatura. Segundo as medições realizadas em campo com CTD, a água do rio Guaratuba apresenta uma temperatura inferior à do rio Vermelho. Em diversas ocasiões foi possível observar que as águas foram imiscíveis (Figura 5-20).

Uma maior tendência à estratificação da água do estuário foi observada durante as quadraturas, possivelmente devido à menor intensidade das correntes de maré e consequentemente diminuição da mistura turbulenta.

Valores de $Ri < 0,25$ na zona de mistura do estuário sugerem que nesta região o modelo não está respondendo adequadamente, uma vez que é esperado que nessa região as águas apresentem maior tendência à estratificação e fluxo laminar, e não à mistura vertical turbulenta.

Para melhorar o modelo, seria necessária a extensão dos domínios com a inclusão de dados topográficos das áreas alagáveis e batimétricos dos meandros e tributários de menor porte.

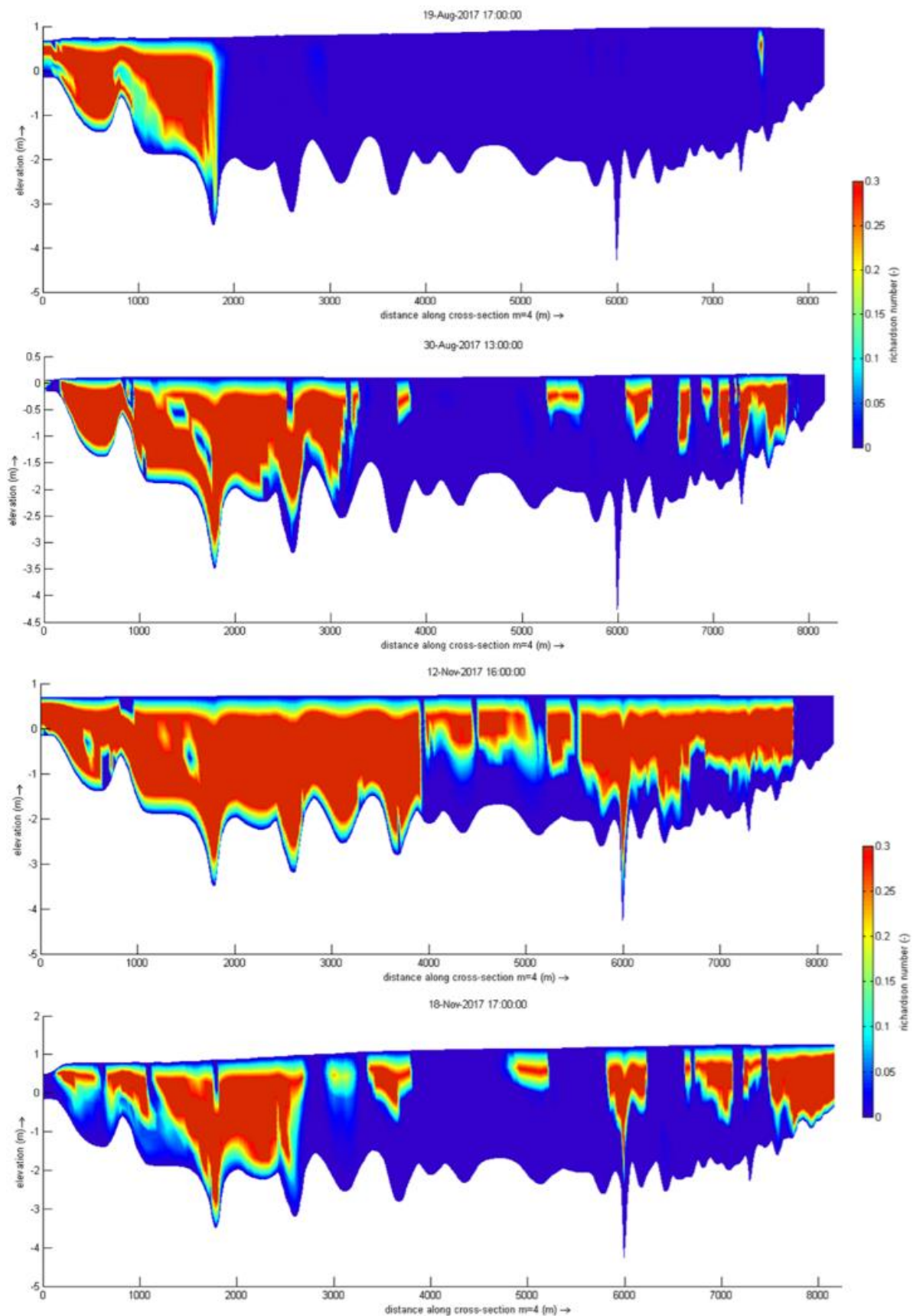


Figura 5-20- Representação gráfica dos valores do número de Richardson para a seção longitudinal central do estuário, das simulações 1 a 4. Valores menores a 0,25 indicam locais onde a turbulência sobrepuja a estratificação de densidade gerando mistura vertical. Valores maiores indicam locais onde há estratificação.

6. CONCLUSÕES

O estuário do rio Guaratuba apresenta grande variabilidade espacial e temporal de seus parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos, o que acarreta em sua caracterização igualmente variável.

Por se tratar de um estuário localizado em uma região de micromarés e que recebe aportes fluviais de uma bacia hidrográfica com área relativamente pequena, tanto a maré quanto a descarga fluvial dos seus tributários têm a capacidade de alterar significativamente as vazões e os padrões de salinidade e temperatura. A precipitação na sub-bacia do rio Guaratuba apresenta relação direta com o aumento de vazão a curto prazo, afetando a dinâmica e intensificando a estratificação vertical do estuário. Em condições normais de precipitação ou na ausência delas, o estuário é dominado pela maré. Chuvas intensas (que ocorrem principalmente os meses quentes) na sub-bacia também possuem potencial para causar alterações expressivas na geomorfologia do estuário, tanto pelo acúmulo de novos sedimentos provenientes da Serra do Mar, como mediante a remobilização de sedimentos arenosos nas margens e no leito do rio.

Ao analisar o estuário com base na estratificação da salinidade em sizígias e quadraturas, ao longo de um ano, observou-se como o mesmo rapidamente se ajusta às diferentes condições forçantes do sistema. O estuário pode ser enquadrado como do tipo A, B e D, ou como estuário de cunha salina, altamente estratificado, parcialmente misturado ou bem misturado, dependendo das condições de precipitação na bacia e das marés.

Ao estudar concomitantemente a distribuição de salinidade com as vazões do estuário, foi possível observar em maior detalhe o comportamento hidrodinâmico do sistema. Em geral, nas sizígias, as correntes de maré se intensificam, aumentando a turbulência e o grau de mistura vertical da coluna d'água. Nas quadraturas, onde as velocidades de corrente são menores, a estratificação da coluna d'água se mantém mais estável, e a água salina ou salobra incursiona até pontos mais internos do estuário, favorecida por ação da componente baroclínica da maré.

Durante algumas quadraturas foi possível quantificar que, apesar do aumento do nível da água durante a maré enchente, a resultante do fluxo do estuário se opunha ao sentido das correntes de maré. Nessas situações a descarga fluvial dominou o sistema, favorecendo o fluxo laminar da camada superficial estuário abaixo.

Os modelos gerados para simular as condições hidrodinâmicas do estuário para as diferentes situações estudadas, apesar de funcionais, ainda precisam de ajustes para representar

corretamente os registros feitos em campo. Em todo caso, a visualização das animações geradas a partir do modelo, contribuíram para a compreensão dos fenômenos atuantes e da dinâmica do sistema estuarino. As simulações realizadas retrataram corretamente o encontro dos rios Guaratuba e Vermelho observado em campo, o transporte de água doce pelas camadas superficiais estuário abaixo (inclusive em situações de maré enchente) e a contribuição do rio Perequê-Mirim para a estratificação da coluna d'água do estuário, próximo à foz.

Para melhorar a qualidade dos resultados dos modelos, sugere-se a extensão dos domínios além dos limites das margens utilizadas no presente estudo, de modo a considerar os meandros, os tributários de menor porte e as áreas alagáveis do sistema, com a inclusão dos respectivos dados batimétricos e topográficos e utilização de vazões variáveis.

Os resultados obtidos no presente trabalho estão alinhados e complementam a bibliografia existente sobre o rio Guaratuba, trazendo informações inéditas sobre o comportamento hidrodinâmico do estuário durante marés de quadratura. As categorias nas quais é possível enquadrar o estuário foram atualizadas, demonstrando que o estuário do rio Guaratuba é ainda mais variável do que descrito para situações de sizígia.

Observou-se que existe uma relação particular no comportamento da vazão do estuário em resposta precipitações. Juntamente com a designação de novas grades capazes de acomodar os refinamentos sedimentológicos mencionados, a melhor compreensão da relação entre precipitação e vazão deve melhorar a qualidade dos resultados simulados pelos modelos. Dessa maneira, o aumento da capacidade de recriar situações próximas da realidade permitirá realizar inferências sobre os efeitos de possíveis alterações na hidrodinâmica estuarina perante as modificações nas forçantes do sistema.

O Presente estudo pode ser utilizado por gestores e tomadores de decisão para orientar o uso sustentável desse ambiente, no que tange ao gerenciamento costeiro e de seus recursos hídricos.

O modelo computacional desenvolvido pode ser utilizado para estudos da dispersão de contaminantes, da avaliação do tempo de residência de substâncias no interior do estuário, estudos da influência da hidrodinâmica sobre a biodiversidade da fauna e da flora estuarina e efeitos das mudanças climáticas na alteração de vazões e nível do mar.

Tal abordagem é particularmente interessante e necessária, uma vez que o estuário sofre constantes pressões antrópicas em consequência de sua proximidade ao condomínio instalado na região do rio Vermelho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL K.; COLONNA, P. R. & AZEVEDO, J. S. Estuário do Rio Macaé: modelagem computacional como ferramenta para o gerenciamento integrado de recursos hídricos. **Mecânica Computacional** Vol. XXIII, pp. 1167-1185, 2004.
- ARAÚJO, A. M. & MELO, M. C. V. Simulações da circulação e transporte hidrodinâmicos forçados por marés na Lagoa Olho D'água. **Ciência & Engenharia, Uberlândia/MG**, v. 8, n. 2, p. 81-90, 1999.
- BANZATO, B. D. M., FAVERO, J., AROUCA, J., & CARBONARI, J., Análise ambiental de unidades de conservação através dos métodos SWOT e GUT: O caso do Parque Estadual Restinga de Bertiooga. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 38-49, 2012.
- BARALDO, K. B. **Caracterização e comparação dos estuários dos rios Itaguapé e Guaratuba (Bertioga, SP) com base nos parâmetros geo-físico-químicos, batimetria e imageamento do fundo**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências Universidade Estadual Paulista, 2018. 99p.
- BOWDEN, K. F. **Physical factors: salinity, temperature, circulation, and mixing processes. Chemistry and biogeochemistry of estuaries**. Wiley, New York, p. 37-70, 1980.
- D'AQUINO, C. D. A., ANDRADE NETO, J. S. D., BARRETO, G. A. M., & SCHETTINI, C. A. F. Caracterização oceanográfica e do transporte de sedimentos em suspensão no estuário do rio Mampituba, SC. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 2, p. 217-230, 2011.
- DALRYMPLE. R. W.; KURCINKA, C. E.; JABLONSKI B. V. J.; ICHASO A. A.; MACKAY, D. A. Deciphering the relative importance of fluvial and tidal processes in the fluvial-marine transition. In: ASHWORTH, P. J.; BEST, J. L.; PARSONS, D. R. **Fluvial-Tidal Sedimentology**. Elsevier, 2015. p. 3-7.
- DAVIES, J. L., A Morphogenic Approach to World Shorelines. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v. 8, p. 127-142, 1964.

- DIONNE, J. C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v. 7, p. 36-44, 1963.
- DYER, K. R. **Estuaries: A Physical Introduction**, 2 ed., Chichester, Wiley, 1997. 195 p.
- FAIRBRIDGE, R. W. The estuary: its definition and geodynamic cycle. **Chemistry and biochemistry of estuaries**, 1980, p. 1-35.
- FIERZ, M. S. M.; ROSA, F. S. A paisagem X evolução do uso e ocupação do solo em Bertioga, Litoral Paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 13, p. 259-287, 2011.
- FONTES, R. F. C.; ANDUTTA, F.; MIRANDA, L. B. Estuarine circulation. **New York: Springer Science** 2016.
- FONTES, R. F. C.; CASTRO, B. M.; BEARDSLEY, R. C. Numerical study of circulation on the inner Amazon Shelf. **Ocean Dynamics**, v. 58, n. 3, p. 187-198, 2008.
- GIMILIANI, G.T.; FONTES, R.F.C.; ABESSA, D.M.S. Modeling the dispersion of endocrine disruptors in the Santos Estuarine System (Sao Paulo State, Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 1, p. 1-8, 2016.
- GIRARDI, A. C. S.; SANTOS, R. F. & MANTOVANI, W. Subsídios metodológicos para o planejamento e gestão de restingas: estudo de caso - Bertioga, SP. In: MANTOVANI, W. (Org.) **Caminhos de uma ciência ambiental**. São Paulo: Annablume, 2005. p. 321-344
- HANSEN, D. V.; RATTRAY, M. New dimensions in estuary classification. **Limnology and Oceanography**, v. 11, n. 3, p. 319-326, 1966.
- HARARI, J.; DE CAMARGO, R. Modelagem numérica da região costeira de Santos (SP): circulação de maré. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 2, p. 135-156, 1998.
- HYDRAULICS, W.L. Delft. Delft-3D-FLOW User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena. including sediments. **Technical report, Version 3.15.34158**. p7, 2014

- KJERFVE, B., Estuarine geomorphology and physical oceanography. In: DAY, Jr., J. W, HALL, C. H. A. S., KEMP, W. M. & YÁÑES-ARANCIBA, A. (Org). **Estuarine ecology**. New York, Wiley, 1987. P 50.
- KÖPPEN, W. & GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. **Wall-map 150cmx200cm**, 1928.
- MIRANDA, L. B.; KJERFVE, B. & CASTRO, B. M. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Edusp, 2002.
- OFFICER, C. B. Longitudinal circulation and mixing relations in estuaries. *Estuaries, Geophysics, and the Environment. Studies in Geophysics. The National Research Council*, p. 13-21, 1977.
- PRITCHARD, D. W. Estuarine Circulations Patterns. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 81, no 717, 1 – 11. 1955.
- PRITCHARD, D. W. Observations of circulation in coastalplain estuaries. In: **Lauff GH (ed) Estuaries**. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, 1967.
- QGIS Development Team, QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, 2013. <http://www.qgis.org/>
- RIBAS, T.M. **Implementação de Modelo Numérico para Estudo Hidrodinâmico das Baías de Antonina e de Paranaguá-PR**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil, 2004.
- RIBEIRO, R. B., SAMPAIO, A. F. P., RUIZ, M. S., LEITÃO, J. C., e LEITÃO, P. C. First Approach of a Storm Surge Early Warning System for Santos Region. **Climate Change in Santos Brazil: Projections, Impacts and Adaptation Options**. Springer, Cham, 2019. p. 135-157.
- ROELVINK, J. A.; VAN BANNING, G. K. F. M. Design and development of Delft-3D and application to coastal morphodynamics. **Oceanographic Literature Review**, v. 11, n. 42, p. 925, 1995.

ROVERSI, F.; COLONNA ROSMAN, P.C.; HARARI, J. Análise da renovação das águas do Sistema Estuarino de Santos usando modelagem computacional. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 3, 2016.

SABESP, CHES - Crise Hídrica – Estratégia e Soluções da SABESP para a região Metropolitana de São Paulo. São Paulo – Brasil. Relatório Técnico. 2015, 95 p. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/crisehidrica/ches_crise_hidrica.pdf> Acesso em: 7 de junho de 2018.

SANT'ANNA NETO, J. L. As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. **São Paulo: USP/FFLCH**, 1995.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº. 56.500/2010. Cria o Parque Estadual Restinga de Bertioxa e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2010/decreto-56500-09.12.2010.html>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2016.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal, **Publicação especial IO-/USP**. 1989.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., CINTRÓN-MOLERO, G., ADAIME, R. R., & DE CAMARGO, T. M.. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries**, v. 13, n. 2, p. 204-218, 1990.

SILVA COSTA, D. F; DE MEDEIROS ROCHA, R.; CESTARO, L. A. Análise fitoecológica e zonação de manguezal em estuário hipersalino. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 13, n. 1, 2014.

SILVA, I. R. **Praias da Costa do Descobrimento: uma contribuição para a gestão ambiental**. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, IGEO/UFBA.2004. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/23365>, acesso em 23/08/2018.

SORIANO, É.; DE RESENDE LONDE, L.; TORRES DI GREGORIO, L.; PELLEGRINI COUTINHO, M.; e BACELLAR LIMA SANTOS, L. Crise hídrica em São Paulo sob

o ponto de vista dos desastres. *Ambiente & Sociedade*, 19(1). Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, 2016.

SOUZA, C. R. G., **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. 1997. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. doi:10.11606/T.44.1997.tde-10042015-161455. Acesso em: 5 de junho de 2018.

SOUZA-JÚNIOR, V. S. D., VIDAL-TORRADO, P., GONZALEZ TESSLER, M., RUIZ PESSENDA, L. C., FERREIRA, T. O., OTERO, X. L., MACÍAS, F. Evolução quaternária, distribuição de partículas nos solos e ambientes de sedimentação em manguezais do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, 2007.

VM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS LTDA. EPP., Plano de Bacia Hidrográfica 2016-2027 do Comitê da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista. Vol. I - Diagnóstico. 2016. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-BS/11800/2016-10-19-diagnostico-final.pdf>>

WARNER, J.C.; GEYER, W. R.; LERCZAK, J. A. Numerical modeling of an estuary: A comprehensive skill assessment. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 110, n. C5, 2005.

WOLFF, W.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 21-33, 2014.

WU, Y.; FALCONER, R. A.; STRUVE, J. Mathematical modelling of tidal currents in mangrove forests. **Environmental Modelling & Software**, v. 16, n. 1, p. 19-29, 2001.

APÊNDICE

Apêndice 1: Localização, valores mínimos, máximos e médios de temperatura e salinidade dos perfis realizados com CTD nas seções de medição de corrente.

Campanha 1

	Seção	LAT	LONG	Hora de início UTC	Salinidade			Temperatura °C			CTD: Nome do Arquivo
					Min	Max	Média	Min	Max	Média	
Enchente	S1	-23.7473	-45.8962	14:06	10.46	33.81	24.61	19.62	21.01	20.45	CC1224005_20170819_140643
	S2	-23.7453	-45.8982	14:25	11.26	31.37	18.27	19.67	20.75	20.06	CC1224005_20170819_142541
	S3	-23.7422	-45.8924	14:40	13.65	25.81	16.26	19.81	20.49	19.95	CC1224005_20170819_144041
	S4	-23.7427	-45.8896	14:56	10.83	32.82	19.19	19.63	21.28	20.23	CC1224005_20170819_145641
	S5	-23.7329	-45.8778	15:19	2.24	29.51	12.96	18.78	22.00	19.92	CC1224005_20170819_151930
	S6	-23.7291	-45.8750	15:45	0.32	0.34	0.33	18.53	18.54	18.53	CC1224005_20170819_154543
	S7	-23.7287	-45.8727	15:59	0.07	0.07	0.07	18.25	18.27	18.27	CC1224005_20170819_155915
	S8	-23.7323	-45.8735	16:11	0.20	0.22	0.21	18.51	18.51	18.51	CC1224005_20170819_161121
Vazante	S1	-23.7476	-45.8961	19:31	33.62	34.94	34.49	21.03	21.15	21.11	CC1224005_20170819_193152
	S2	-23.7454	-45.8982	19:40	28.88	32.26	30.64	20.75	20.98	20.88	CC1224005_20170819_194055
	S3	-23.7420	-45.8925	19:55	19.81	32.10	27.11	20.31	20.98	20.69	CC1224005_20170819_195544
	S4	-23.7428	-45.8899	20:09	12.35	33.56	26.00	19.85	21.02	20.57	CC1224005_20170819_200934
	S5	-23.7329	-45.8777	20:32	5.04	25.65	16.66	19.15	21.03	20.09	CC1224005_20170819_203206
	S6	-23.7290	-45.8750	20:45	0.26	0.32	0.28	18.51	18.56	18.54	CC1224005_20170819_204532
	S7	-23.7286	-45.8728	20:51	0.03	0.03	0.03	18.33	18.36	18.34	CC1224005_20170819_205115
	S8	-23.7323	-45.8735	20:57	0.17	0.19	0.18	18.51	18.54	18.53	CC1224005_20170819_205734

Campanha 2

	Seção	LAT	LONG	Hora de início UTC	Salinidade			Temperatura °C			CTD: Nome do Arquivo
					Min	Max	Média	Min	Max	Média	
Enchente	S1	-23.7473	-45.8961	10:06	20.17	31.30	28.82	22.15	23.23	23.06	CC1224005_20170830_100649
	S2	-23.7454	-45.8982	10:15	7.98	29.18	24.76	20.80	23.14	22.75	CC1224005_20170830_101550
	S3	-23.7420	-45.8925	10:31	10.03	30.31	25.78	21.22	23.23	22.81	CC1224005_20170830_103113
	S4	-23.7428	-45.8898	10:45	5.90	28.71	23.79	20.12	23.11	22.45	CC1224005_20170830_104525
	S5	-23.7328	-45.8778	11:10	3.11	25.50	20.94	19.49	22.56	21.89	CC1224005_20170830_111013
	S6	-23.7290	-45.8751	11:31	0.27	5.80	1.91	18.75	19.79	19.13	CC1224005_20170830_113138
	S7	-23.7285	-45.8726	11:42	0.02	0.02	0.02	17.97	17.99	17.98	CC1224005_20170830_114244
	S8	-23.7321	-45.8735	12:08	0.04	0.04	0.04	19.16	19.31	19.19	CC1224005_20170830_120804
Vazante	S1	-23.7474	-45.8961	14:22	11.64	31.69	29.17	22.60	23.10	22.87	CC1224005_20170830_142259
	S2	-23.7454	-45.8981	14:33	8.58	29.68	26.04	22.90	23.17	23.12	CC1224005_20170830_143307
	S3	-23.7419	-45.8925	14:47	6.05	30.02	25.79	22.22	23.15	23.03	CC1224005_20170830_144722

Campanha 3

	Seção	LAT	LONG	Hora de início UTC	Salinidade			Temperatura °C			CTD: Nome do Arquivo
					Min	Max	Média	Min	Max	Média	
Enchente	S1	-23.7474	-45.8961	0.5038	2.25	30.76	20.83	20.97	24.24	23.14	CC1247006_20171112_120526
	S2	-23.7454	-45.8982	0.5097	1.46	28.29	14.33	21.23	23.99	22.54	CC1247006_20171112_121414
	S3	-23.7420	-45.8926	0.5194	1.65	27.70	16.48	21.21	23.99	22.82	CC1247006_20171112_122815
	S4	-23.7429	-45.8897	0.5292	0.79	27.90	13.25	20.68	23.34	21.99	CC1247006_20171112_124217
	S5	-23.7330	-45.8778	0.5431	0.06	26.10	6.02	20.42	23.07	21.08	CC1247006_20171112_130234
	S6	-23.7289	-45.8749	0.5556	0.02	0.02	0.02	20.25	20.52	20.36	CC1247006_20171112_132005
	S7	-23.7285	-45.8728	0.5639	0.00	0.00	0.00	18.99	19.07	19.02	CC1247006_20171112_133234
	S8	-23.7323	-45.8736	0.5701	0.02	0.02	0.02	20.78	20.82	20.80	CC1247006_20171112_134102
Vazante	S1	-23.7475	-45.8961	0.7278	4.38	32.17	24.67	23.07	24.38	23.91	CC1247006_20171112_172847
	S2	-23.7454	-45.8980	0.7333	3.28	30.19	21.17	23.45	25.16	23.90	CC1247006_20171112_173611
	S3	-23.7419	-45.8925	0.7424	3.82	30.02	15.84	23.09	23.83	23.39	CC1247006_20171112_174950
	S4	-23.7428	-45.8897	0.7521	0.92	27.10	14.74	22.46	23.94	23.22	CC1247006_20171112_180329
	S5	-23.7328	-45.8777	0.7681	0.08	24.14	3.08	21.80	22.76	22.04	CC1247006_20171112_182620
	S6	-23.7289	-45.8749	0.7778	0.02	0.02	0.02	21.69	21.75	21.73	CC1247006_20171112_184043
	S7	-23.7285	-45.8727	0.7833	0.02	0.02	0.02	21.99	22.09	22.03	CC1247006_20171112_184813
	S8	-23.7322	-45.8736	0.7889	0.02	0.02	0.02	21.75	21.78	21.77	CC1247006_20171112_185600

Campanha 4

	Seção	LAT	LONG	Hora de início UTC	Min	Max	Média	Min	Max	Média	CTD: Nome do Arquivo
Enchente	S1	-23.7473	-45.8962	14:50	18.00	26.95	23.12	24.17	24.45	24.28	CC1247006_20171118_145021
	S2	-23.7453	-45.8981	15:01	14.08	23.10	18.83	24.00	24.63	24.20	CC1247006_20171118_150123
	S3	-23.7421	-45.8925	15:14	15.30	16.76	16.26	24.10	24.61	24.30	CC1247006_20171118_151430
	S4	-23.7427	-45.8897	15:27	12.96	30.85	19.32	23.53	24.67	23.86	CC1247006_20171118_152724
	S5	-23.7329	-45.8778	15:48	2.06	29.67	16.49	23.07	23.71	23.33	CC1247006_20171118_154805
	S6	-23.7288	-45.8748	16:02	0.11	0.12	0.12	23.16	23.18	23.17	CC1247006_20171118_160214
	S7	-23.7286	-45.8728	16:09	0.00	0.02	0.01	21.71	21.75	21.74	CC1247006_20171118_160916
	S8	-23.7323	-45.8736	16:18	0.06	0.07	0.06	22.76	22.79	22.78	CC1247006_20171118_161806
Vazante	S1	-23.7474	-45.8962	19:06	33.56	34.73	34.39	23.81	24.25	23.98	CC1247006_20171118_190638
	S2	-23.7454	-45.8981	19:13	27.95	34.23	32.15	24.10	24.89	24.43	CC1247006_20171118_191300
	S3	-23.7420	-45.8925	19:25	26.54	34.08	32.75	23.99	24.63	24.14	CC1247006_20171118_192535
	S4	-23.7429	-45.8897	19:38	14.46	34.52	30.19	23.92	24.69	24.16	CC1247006_20171118_193817
	S5	-23.7329	-45.8777	19:57	4.43	29.24	20.03	23.62	23.95	23.83	CC1247006_20171118_195756
	S6	-23.7288	-45.8748	20:12	0.09	0.13	0.12	22.82	23.02	22.96	CC1247006_20171118_201208
	S7	-23.7286	-45.8727	20:21	0.02	0.02	0.02	22.58	22.61	22.60	CC1247006_20171118_202138
	S8	-23.7323	-45.8737	20:30	0.09	0.10	0.09	23.11	23.17	23.14	CC1247006_20171118_203015

Campanha 5

				Salinidade			Temperatura				
	Seção	LAT	LONG	Hora de início UTC	Min	Max	Média	Min	Max	Média	CTD: Nome do Arquivo
Vazante	S1	-23.7474	-45.8962	11:11	3.47	28.67	10.56	22.72	26.32	23.69	CC1247006_20180218_111153
	S2	-23.7454	-45.8982	11:18	2.75	28.20	11.77	22.64	26.09	23.75	CC1247006_20180218_111839
	S3	-23.7420	-45.8926	11:33	1.58	1.73	1.68	22.44	22.47	22.46	CC1247006_20180218_113306
	S4	-23.7429	-45.8899	11:47	0.37	25.47	3.57	22.12	25.38	22.49	CC1247006_20180218_114741
	S5	-23.7330	-45.8778	12:11	0.02	0.02	0.02	22.03	22.04	22.03	CC1247006_20180218_121106
	S6	-23.7289	-45.8750	12:35	0.02	0.02	0.02	21.92	22.02	21.94	CC1247006_20180218_123503
	S7	-23.7285	-45.8728	12:49	0.00	0.02	0.01	21.18	21.25	21.22	CC1247006_20180218_124900
	S8	-23.7323	-45.8737	12:59	0.00	0.02	0.02	22.32	22.34	22.33	CC1247006_20180218_125930
Enchente	S1	-23.7472	-45.8962	16:54	1.33	26.23	4.40	22.91	25.55	23.23	CC1247006_20180218_165426
	S2	-23.7454	-45.8981	17:01	1.02	27.52	7.25	22.91	25.83	23.50	CC1247006_20180218_170119
	S3	-23.7419	-45.8925	17:13	0.77	0.87	0.83	22.76	22.81	22.80	CC1247006_20180218_171336
	S4	-23.7428	-45.8897	17:25	0.20	0.21	0.20	22.57	22.75	22.65	CC1247006_20180218_172515
	S5	-23.7329	-45.8779	17:45	0.03	0.05	0.03	22.29	22.75	22.35	CC1247006_20180218_174537
	S6	-23.7288	-45.8748	18:04	0.02	0.02	0.02	22.11	22.35	22.16	CC1247006_20180218_180404
	S7	-23.7289	-45.8729	18:16	0.00	0.00	0.00	21.68	21.70	21.69	CC1247006_20180218_181633
	S8	-23.7323	-45.8737	18:27	0.02	0.02	0.02	22.61	22.62	22.61	CC1247006_20180218_182727

Campanha 6

	Seção	LAT	LONG	Hora de início UTC	Salinidade			Temperatura			CTD: Nome do Arquivo
					Min	Max	Média	Min	Max	Média	
Enchente	S1	-23.7474	-45.8961	12:00	2.66	29.15	19.69	24.50	28.71	27.29	CC1247006_20180224_120021
	S2	-23.7453	-45.8982	12:08	1.38	27.27	16.33	23.99	28.55	26.61	CC1247006_20180224_120805
	S3	-23.7418	-45.8925	12:20	2.20	25.49	10.46	24.18	28.38	25.74	CC1247006_20180224_122052
	S4	-23.7429	-45.8898	12:33	0.83	21.91	8.23	23.64	27.28	25.00	CC1247006_20180224_123303
	S5	-23.7329	-45.8779	12:55	0.03	18.93	7.42	23.24	27.10	24.71	CC1247006_20180224_125500
	S6	-23.7288	-45.8748	13:11	0.02	0.02	0.02	22.69	23.03	22.81	CC1247006_20180224_131119
	S7	-23.7285	-45.8728	13:19	0.00	0.00	0.00	21.47	21.56	21.48	CC1247006_20180224_131930
	S8	-23.7323	-45.8736	13:28	0.02	0.02	0.02	23.41	23.59	23.45	CC1247006_20180224_132846
Vazante	S1	-23.7474	-45.8961	18:01	1.21	29.09	19.32	25.32	28.66	27.43	CC1247006_20180224_180148
	S2	-23.7454	-45.8980	18:07	0.55	26.39	11.42	25.22	28.27	26.34	CC1247006_20180224_180745
	S3	-23.7419	-45.8925	18:21	1.16	23.94	9.05	25.00	28.01	25.96	CC1247006_20180224_182114
	S4	-23.7428	-45.8898	18:32	0.62	25.19	9.78	24.47	27.81	25.71	CC1247006_20180224_183253
	S5	-23.7329	-45.8778	18:53	0.12	18.66	5.43	23.43	27.00	24.37	CC1247006_20180224_185341
	S6	-23.7289	-45.8748	19:08	0.02	0.02	0.02	23.43	23.55	23.47	CC1247006_20180224_190829
	S7	-23.7286	-45.8728	19:15	0.02	0.02	0.02	22.23	22.28	22.25	CC1247006_20180224_191515
	S8	-23.7323	-45.8736	19:22	0.02	0.02	0.02	23.86	23.90	23.87	CC1247006_20180224_192211

Campanha 7

				Salinidade			Temperatura				
	Seção	LAT	LONG	Hora de início UTC	Min	Max	Média	Min	Max	Média	CTD: Nome do Arquivo
Vazante	S1	-23.7475	-45.8961	11:06	2.46	33.37	27.45	21.51	25.49	24.67	CC1247006_20180418_110657
	S2	-23.7454	-45.8982	11:13	1.96	33.34	26.88	21.29	25.45	24.48	CC1247006_20180418_111337
	S3	-23.7420	-45.8925	11:27	1.46	32.81	19.65	21.94	25.41	23.89	CC1247006_20180418_112710
	S4	-23.7428	-45.8898	11:40	0.41	28.38	13.55	21.62	25.52	23.29	CC1247006_20180418_114052
	S5	-23.7329	-45.8778	12:01	0.04	0.04	0.04	21.05	21.06	21.05	CC1247006_20180418_120125
	S6	-23.7289	-45.8749	12:27	0.02	0.02	0.02	20.64	20.82	20.70	CC1247006_20180418_122721
	S7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S8	-23.7322	-45.8734	12:52	0.02	0.02	0.02	20.94	20.96	20.95	CC1247006_20180418_125242
Enchente	S1	-23.7474	-45.8961	17:23	25.18	33.73	31.64	25.47	26.92	26.49	CC1247006_20180418_172321
	S2	-23.7454	-45.8982	17:33	19.54	33.28	29.20	25.14	25.89	25.59	CC1247006_20180418_173334
	S3	-23.7420	-45.8923	17:51	24.11	28.23	26.75	25.59	26.23	26.05	CC1247006_20180418_175128
	S4	-23.7428	-45.8897	18:05	7.29	28.46	16.93	24.37	25.89	24.78	CC1247006_20180418_180530
	S5	-23.7330	-45.8777	18:25	0.11	0.19	0.14	22.40	22.72	22.50	CC1247006_20180418_182519
	S6	-23.7288	-45.8748	18:45	0.05	0.05	0.05	22.03	22.07	22.05	CC1247006_20180418_184551
	S7	-23.7285	-45.8727	18:53	0.02	0.02	0.02	21.27	21.40	21.31	CC1247006_20180418_185321
	S8	-23.7323	-45.8736	19:06	0.04	0.04	0.04	22.03	22.06	22.05	CC1247006_20180418_190643

Campanha 8

	Seção	LAT	LONG	Hora de início UTC	Salinidade			Temperatura			CTD: Nome do Arquivo
					Min	Max	Média	Min	Max	Média	
Enchente	S1	-23.7475	-45.8961	13:00	5.10	32.32	28.73	22.52	26.41	25.92	CC1247006_20180422_130037
	S2	-23.7454	-45.8982	13:08	3.78	32.28	27.50	22.14	26.34	25.64	CC1247006_20180422_130809
	S3	-23.7420	-45.8925	13:20	3.56	32.63	27.28	22.33	26.39	25.61	CC1247006_20180422_132046
	S4	-23.7428	-45.8898	13:31	2.49	30.52	24.54	21.59	26.39	25.33	CC1247006_20180422_133151
	S5	-23.7329	-45.8778	13:49	0.97	25.35	20.90	21.23	25.65	24.70	CC1247006_20180422_134936
	S6	-23.7289	-45.8750	14:02	0.02	0.02	0.02	20.10	20.35	20.19	CC1247006_20180422_140253
	S7	-23.7287	-45.8728	14:10	0.02	0.02	0.02	19.82	19.89	19.84	CC1247006_20180422_141021
	S8	-23.7324	-45.8735	14:21	0.02	0.02	0.02	20.39	21.21	20.53	CC1247006_20180422_142114
Vazante	S1	-23.7475	-45.8960	16:54	2.90	33.10	28.67	24.01	26.47	26.07	CC1247006_20180422_165406
	S2	-23.7454	-45.8981	16:59	1.95	31.91	24.41	23.94	26.34	25.61	CC1247006_20180422_165921
	S3	-23.7420	-45.8925	17:11	3.66	32.55	26.17	23.70	26.44	25.77	CC1247006_20180422_171137
	S4	-23.7428	-45.8898	17:21	2.39	30.61	24.85	23.52	26.41	25.73	CC1247006_20180422_172158
	S5	-23.7329	-45.8778	17:40	2.03	25.48	19.36	21.81	25.67	24.60	CC1247006_20180422_174019
	S6	-23.7289	-45.8749	17:54	0.02	0.02	0.02	20.83	20.85	20.84	CC1247006_20180422_175432
	S7	-23.7285	-45.8728	18:02	0.02	0.03	0.02	20.72	20.76	20.74	CC1247006_20180422_180200
	S8	-23.7323	-45.8736	18:12	0.02	0.02	0.02	20.82	20.85	20.83	CC1247006_20180422_181253

Apêndice 2: dados das seções de medição de velocidade de corrente e estimativa da vazão. Indicam-se as margens de início, os perfis medidos e utilizados para os cálculos, os valores medidos e calculados a % da vazão medida.

Campanha 1

	Seção	Dec. Mag.	Começo Margem	Início	Fim	Nr total de perfis	Nr final de perfis	Perfis (do - ao)		Vazão medida	Vazão calculada	% medido	Nome Arquivo
Enchente	S1	-21.57	MD	13:59	14:01	27	16	8	23	-34.61	-53.46	64.7	GUA1708191359
			ME	14:01	14:05	49	19	30	48	-46.19	-74.05	62.4	GUA1708191402
	S2	-21.57	MD	14:20	14:22	20	6	12	17	-3.39	-8.20	41.4	GUA1708191420
			ME	14:22	14:24	25	11	12	22	-3.43	-6.89	49.8	GUA1708191422
	S3	-21.57	MD	14:35	14:37	25	20	4	23	-31.92	-52.38	60.9	GUA1708191435
			ME	14:38	14:40	25	19	7	25	-35.19	-56.36	62.4	GUA1708191438
	S4	-21.57	MD	14:52	14:54	19	9	9	17	-15.02	-25.14	59.8	GUA1708191452
			ME	14:54	14:55	21	15	6	20	-19.97	-31.34	63.7	GUA1708191454
	S5	-21.57	MD	15:14	15:16	26	20	5	24	4.95	5.28	93.6	GUA1708191514
			ME	15:17	15:18	21	19	3	21	-9.90	-13.88	71.3	GUA1708191517
	S6	-21.57	ME	15:39	15:41	22	15	8	22	-4.71	-7.28	34.6	GUA1708191539
			MD	15:42	15:44	22	21	2	22	-6.30	-9.58	65.7	GUA1708191542
	S7	-21.57	MD	15:54	15:56	21	13	8	20	-0.06	-0.27	20.2	GUA1708191554
			ME	15:56	15:58	20	16	3	18	0.52	1.66	31.3	GUA1708191556
	S8	-21.57	ME	16:08	16:09	16	9	8	16	-1.60	-1.78	90.1	GUA1708191608
			MD	16:09	16:11	15	13	3	15	-0.33	-0.52	63.8	GUA1708191609
Vazante	S1	-21.57	MD	19:25	19:27	30	14	13	26	60.45	87.91	68.8	GUA1708191925
			ME	19:28	19:31	34	18	15	32	53.70	80.38	66.8	GUA1708191928
	S2	-21.57	MD	19:37	19:39	20	8	13	20	10.28	17.62	58.4	GUA1708191937
			ME	19:39	19:40	11	7	4	10	6.02	10.52	57.2	GUA1708191939
	S3	-21.57	MD	19:51	19:53	22	20	2	21	53.81	75.58	71.2	GUA1708191951
			ME	19:53	19:55	28	20	9	28	48.05	64.88	74.1	GUA1708191953
	S4	-21.57	MD	20:06	20:08	16	13	3	15	30.73	47.84	64.2	GUA1708192006
			ME	20:07	20:09	22	17	6	22	25.94	40.70	63.7	GUA1708192007
	S5	-21.57	MD	20:27	20:30	32	17	16	32	14.35	20.18	71.1	GUA1708192027
			ME	20:30	20:31	17	15	2	16	11.29	19.33	58.4	GUA1708192030
	S6	-21.57	MD	20:44	20:44	9	6	4	9	6.78	12.37	54.8	GUA1708192044
			ME	20:45	20:47	8	4	5	8	5.65	5.94	95.2	GUA1708192045
	S7	-21.57	MD	20:49	20:50	9	6	3	8	1.22	3.62	33.8	GUA1708192049
			ME	20:50	20:51	12	4	8	11	1.32	2.96	44.4	GUA1708192050
	S8	-21.57	MD	20:56	20:57	13	11	3	13	6.84	10.80	63.3	GUA1708192056
			ME	20:57	20:57	7	5	3	7	3.23	4.64	69.6	GUA1708192057

Campanha 2

	Seção	Dec. Mag.	Começo Margem	Início	Fim	Nr total de perfis	Nr final de perfis	Perfis (do - ao)		Vazão medida	Vazão calculada	% medido	Nome Arquivo
Enchente	S1	-21.57	MD	09:59	10:01	22	13	6	18	-29.82	-46.77	63.8	GUA1708300959
			ME	10:01	10:03	31	21	10	30	-23.50	-37.84	62.1	GUA1708301001
	S2	-21.57	MD	10:12	10:13	18	8	6	13	0.64	0.81	78.4	GUA1708301012
			ME	10:13	10:14	20	14	5	18	-1.62	-3.40	47.8	GUA1708301013
	S3	-21.57	MD	10:26	10:28	24	18	7	24	0.04	2.26	1.7	GUA1708301026
			ME	10:28	10:30	22	17	6	22	3.82	1.40	50.0	GUA1708301028
	S4	-21.57	MD	10:41	10:43	18	10	9	18	-4.24	-5.30	80.0	GUA1708301041
			ME	10:43	10:44	16	10	6	15	-0.85	-1.41	59.9	GUA1708301043
	S5	-21.57	MD	11:03	10:05	25	19	6	24	-2.63	-3.16	83.3	GUA1708301103
			ME	11:05	11:06	23	20	3	22	1.46	2.51	58.1	GUA1708301105
	S6	-21.57	MD	11:28	11:29	15	8	6	13	1.71	2.98	57.5	GUA1708301128
			ME	11:30	11:30	13	11	3	13	-0.45	-1.44	31.3	GUA1708301130
	S7	-21.57	MD	11:39	11:40	16	10	7	16	0.46	1.00	46.6	GUA1708301139
			ME	11:41	11:43	15	11	2	12	-0.10	-0.23	42.1	GUA1708301141
	S8	-21.57	ME	12:01	12:02	12	9	4	12	1.61	2.65	60.6	GUA1708301201
			MD	12:06	12:08	16	9	5	13	-1.58	-2.90	54.6	GUA1708301206
Vazante	S1	-21.57	MD	14:18	14:20	21	14	7	20	8.59	17.02	50.5	GUA1708301418
			ME	14:20	14:22	23	15	7	21	6.59	14.02	47.0	GUA1708301420
	S2	-21.57	MD	14:28	14:29	14	9	6	14	-0.77	-1.00	76.6	GUA1708301428
			ME	14:29	14:30	14	7	6	12	-2.08	-4.00	52.0	GUA1708301429
	S3	-21.57	MD	14:42	14:44	21	19	2	20	-2.43	-4.43	54.9	GUA1708301442
			ME	14:45	14:47	21	17	5	21	-1.46	-4.09	35.6	GUA1708301445

Campanha 3

	Seção	Dec. Mag.	Começo Margem	Início	Fim	Nr total de perfis	Nr final de perfis	Perfis (do - ao)		Vazão medida	Vazão calculada	% medido	Nome Arquivo
Enchente	S1	-21.60	MD	11:59	12:01	25	12	11	22	3.17	7.20	44.10%	GUA1711121159
			ME	12:01	12:03	22	10	11	20	2.68	3.71	72.40%	GUA1711121201
	S2	-21.60	MD	12:09	12:11	18	10	8	17	1.50	3.51	42.8	GUA1711121209
			ME	12:12	12:13	18	9	8	16	0.56	1.77	31.4	GUA1711121212
	S3	-21.60	MD	12:23	12:25	26	19	8	26	-3.02	-3.49	86.4	GUA1711121223
			ME	12:25	12:26	21	13	8	20	-11.57	-16.57	69.8	GUA1711121225
	S4	-21.60	MD	12:38	12:40	27	14	13	26	-5.25	-7.28	72.1	GUA1711121238
			ME	12:40	12:41	15	11	5	15	-4.31	-6.78	63.6	GUA1711121240
	S5	-21.60	MD	12:56	12:58	23	14	9	22	-0.88	-2.93	30	GUA1711121256
			ME	13:00	13:02	19	15	5	19	-2.68	-5.75	46.6	GUA1711121300
	S6	-21.60	MD	13:15	13:18	33	10	23	32	3.05	6.40	47.7	GUA1711121315
			ME	13:18	13:19	14	8	7	14	3.34	6.30	53	GUA1711121318
	S7	-21.60	MD	13:25	13:26	9	4	6	9	1.03	3.09	33.4	GUA1711121325
			ME	13:31	13:32	11	5	6	10	1.39	3.90	35.7	GUA1711121331
	S8	-21.60	MD	13:37	13:38	13	7	6	12	3.76	5.88	63.9	GUA1711121337
			ME	13:38	13:39	14	8	5	12	3.58	5.74	62.4	GUA1711121338
Vazante	S1	-21.60	MD	17:23	17:25	30	14	10	23	45.29	69.96	64.7	GUA1711121723
			ME	17:25	17:28	33	22	11	32	53.20	84.37	63.1	GUA1711121725
	S2	-21.60	MD	17:33	17:34	10	4	6	9	5.81	11.87	49	GUA1711121733
			ME	17:34	17:35	7	6	2	7	7.03	12.51	56.2	GUA1711121734
	S3	-21.60	MD	17:44	17:46	27	21	6	26	44.87	66.80	67.2	GUA1711121744
			ME	17:47	17:49	23	18	6	23	49.85	73.37	67.9	GUA1711121747
	S4	-21.60	MD	17:59	18:00	17	12	6	17	27.32	46.61	58.6	GUA1711121759
			ME	18:01	18:02	17	12	5	16	27.81	46.92	59.3	GUA1711121801
	S5	-21.60	MD	18:21	18:22	25	15	10	24	18.58	29.34	63.3	GUA1711121819
			ME	18:22	18:24	25	13	12	24	19.30	25.42	75.9	GUA1711121822
	S6	-21.60	MD	18:37	18:28	18	7	10	16	9.06	19.49	46.5	GUA1711121837
			ME	18:39	18:40	11	5	7	11	7.55	17.72	42.6	GUA1711121839
	S7	-21.60	MD	18:44	18:44	9	4	6	9	1.02	3.07	33.1	GUA1711121844
			ME	18:46	18:46	8	6	1	6	0.23	1.61	14.3	GUA1711121846
	S8	-21.60	MD	18:53	18:54	19	7	9	15	11.06	16.96	65.2	GUA1711121853
			ME	18:54	18:55	9	6	3	8	9.51	15.55	61.1	GUA1711121854

Campanha 4

	Seção	Dec. Mag.	Começo Margem	Início	Fim	Nr total de perfis	Nr final de perfis	Perfis (do - ao)	Vazão medida	Vazão calculada	% medido	Nome Arquivo
Enchente	S1	-21.60	MD	14:44	14:46	28	13	11 23	-27.15	-34.10	79.6	GUA1711181444
			ME	14:47	14:48	21	11	10 20	-25.26	-31.29	80.8	GUA1711181447
	S2	-21.60	ME	14:57	14:58	16	10	5 14	-2.97	-4.82	61.7	GUA1711181457
			MD	14:59	15:00	14	9	5 13	-2.12	-4.38	48.3	GUA1711181459
	S3	-21.60	MD	15:09	15:11	24	18	7 24	-31.63	-42.62	74.2	GUA1711181509
			ME	15:11	15:13	26	19	7 25	-39.53	-55.24	71.6	GUA1711181511
	S4	-21.60	MD	15:23	15:26	36	9	27 35	-21.23	-34.37	61.8	GUA1711181523
			ME	15:26	15:27	14	9	5 13	-22.28	-34.87	63.9	GUA1711181526
	S5	-21.60	MD	15:44	15:46	18	12	6 17	-5.89	-9.51	61.9	GUA1711181544
			ME	15:46	15:48	20	14	5 18	-17.27	-23.97	72	GUA1711181546
	S6	-21.60	MD	15:59	16:01	18	10	8 17	-2.80	-5.92	47.4	GUA1711181559
			ME	16:00	16:01	16	10	7 16	-2.63	-3.96	66.3	GUA1711181600
	S7	-21.60	MD	16:06	16:07	14	7	8 14	-0.07	-0.59	12	GUA1711181606
			ME	16:08	16:09	12	7	4 10	0.38	0.86	44.3	GUA1711181608
	S8	-21.60	MD	16:15	16:16	13	9	5 13	-3.10	-7.99	38.8	GUA1711181615
			ME	16:16	16:17	14	10	5 14	-4.86	-8.14	59.7	GUA1711181616
Vazante	S1	-21.60	MD	19:02	09:03	20	13	6 18	41.98	60.09	69.9	GUA1711181902
			ME	19:04	19:05	24	15	10 24	39.29	62.06	63.3	GUA1711181904
	S2	-21.60	MD	19:10	19:11	15	7	9 15	5.60	10.88	51.5	GUA1711181910
			ME	19:11	19:11	10	7	3 9	9.23	17.33	53.2	GUA1711181911
	S3	-21.60	MD	19:20	19:23	28	19	7 25	36.29	49.19	73.8	GUA1711181920
			ME	19:23	19:25	23	19	5 23	32.65	43.92	74.3	GUA1711181923
	S4	-21.60	MD	19:34	19:35	17	12	5 16	16.10	27.90	57.7	GUA1711181934
			ME	19:35	19:37	27	12	16 27	18.19	29.68	61.3	GUA1711181935
	S5	-21.60	MD	19:53	19:55	29	20	9 28	6.32	10.88	58.1	GUA1711181953
			ME	19:55	19:56	20	15	6 20	4.76	8.70	54.7	GUA1711181955
	S6	-21.60	MD	20:09	20:11	15	9	6 14	4.57	10.51	43.4	GUA1711182009
			ME	20:11	20:12	9	5	5 9	6.58	14.48	45.5	GUA1711182011
	S7	-21.60	MD	20:18	20:19	14	7	8 14	1.18	3.57	33	GUA1711182018
			ME	20:19	20:20	13	5	7 11	0.34	1.21	27.7	GUA1711182019
	S8	-21.60	MD	20:26	20:27	17	9	8 16	5.52	10.39	51.2	GUA1711182026
			ME	20:28	20:29	16	9	6 14	7.84	12.48	62.8	GUA1711182028

Campanha 5

	Seção	Dec. Mag.	Começo Margem	Início	Fim	Nr total de perfis	Nr final de perfis	Perfis (do - ao)		Vazão medida	Vazão calculada	% medido	Nome Arquivo
Vazante	S1	-21.63	MD	11:02	11:04	23	11	9	19	45.48	69.19	65.7	GUA1802181102
			ME	11:06	11:08	21	11	10	20	42.57	65.92	64.6	GUA1802181106
	S2	-21.63	MD	11:15	11:16	11	4	8	11	2.35	5.02	46.9	GUA1802181115
			ME	11:16	11:17	13	8	5	12	1.74	3.54	49.0	GUA1802181116
	S3	-21.63	MD	11:27	11:29	23	19	4	22	40.71	61.47	66.2	GUA1802181127
			ME	11:29	11:30	19	14	6	19	39.51	56.35	70.1	GUA1802181129
	S4	-21.63	MD	11:43	11:45	20	13	8	20	28.09	44.03	63.8	GUA1802181143
			ME	11:45	11:46	16	11	5	15	23.01	36.43	63.2	GUA1802181145
	S5	-21.63	MD	12:06	12:08	21	16	6	21	23.46	28.32	82.8	GUA1802181206
			ME	12:08	12:09	19	17	3	19	26.71	34.51	77.4	GUA1802181208
	S6	-21.63	MD	12:31	12:32	10	7	4	10	12.12	25.22	48.1	GUA1802181231
			ME	12:32	12:33	16	5	12	16	9.09	16.44	55.3	GUA1802181232
	S7	-21.63	MD	12:44	12:46	17	7	11	17	1.41	4.77	29.5	GUA1802181244
			ME	12:46	12:47	13	8	4	11	1.77	4.25	41.6	GUA1802181246
	S8	-21.63	MD	12:55	12:56	16	8	7	14	15.31	25.20	60.7	GUA1802181255
			ME	12:57	12:59	17	8	7	14	12.48	20.79	60.0	GUA1802181257
Enchente	S1	-21.63	MD	16:47	16:49	25	11	14	24	-26.47	-37.95	69.8	GUA1802181647
			ME	16:50	16:51	20	10	9	18	-23.48	-35.17	66.8	GUA1802181650
	S2	-21.63	MD	16:57	16:58	13	10	4	13	-3.20	-5.76	55.6	GUA1802181657
			ME	16:59	17:00	18	9	9	17	-5.20	-10.41	50.0	GUA1802181659
	S3	-21.63	MD	17:09	17:10	21	15	6	20	-21.33	-31.15	68.5	GUA1802181709
			ME	17:10	17:11	22	18	5	22	-26.87	-36.30	74.0	GUA1802181710
	S4	-21.63	MD	17:21	17:22	22	13	10	22	-9.26	-15.51	59.8	GUA1802181721
			ME	17:23	17:24	15	11	5	15	-12.06	-20.51	58.8	GUA1802181723
	S5	-21.63	MD	17:41	17:43	22	16	6	21	2.31	3.06	75.7	GUA1802181741
			ME	17:43	17:44	16	12	4	15	2.02	3.17	63.8	GUA1802181743
	S6	-21.63	MD	17:59	18:00	16	10	5	14	4.63	8.11	57.1	GUA1802181759
			ME	18:00	18:01	17	9	9	17	3.13	6.09	51.4	GUA1802181800
	S7	-21.63	MD	18:10	18:11	13	7	7	13	1.70	4.59	37.1	GUA1802181810
			ME	18:11	18:13	23	8	15	22	1.71	3.68	46.4	GUA1802181811
	S8	-21.63	MD	18:23	18:24	20	8	11	18	2.87	4.54	63.3	GUA1802181823
			ME	18:24	18:25	19	8	11	18	2.44	4.27	57.1	GUA1802181824

Campanha 6

	Seção	Dec. Mag.	Começo Margem	Início	Fim	Nr total de perfis	Nr final de perfis	Perfis (do - ao)		Vazão medida	Vazão calculada	% medido	Nome Arquivo
Enchente	S1	-21.63	MD	11:53	11:55	22	11	10	20	8.61	15.11	57.0	GUA1802241153
			ME	11:55	11:57	21	13	8	20	5.38	11.92	45.1	GUA1802241155
	S2	-21.63	MD	12:04	12:05	15	11	4	14	0.89	2.39	37.3	GUA1802241204
			ME	12:06	12:06	13	8	5	12	-1.48	-1.93	76.5	GUA1802241206
	S3	-21.63	MD	12:15	12:17	24	14	11	24	7.19	13.81	52.1	GUA1802241215
			ME	12:17	12:19	21	16	6	21	6.11	9.55	64.0	GUA1802241217
	S4	-21.63	MD	12:29	12:30	16	9	8	16	7.27	13.08	55.6	GUA1802241229
			ME	12:30	12:31	16	9	7	15	8.42	15.18	55.5	GUA1802241230
	S5	-21.63	MD	12:50	12:52	22	20	3	22	10.15	14.00	72.5	GUA1802241250
			ME	12:52	12:54	19	17	3	19	10.27	15.07	68.1	GUA1802241252
	S6	-21.63	MD	13:07	13:08	10	7	3	9	4.94	9.11	54.2	GUA1802241307
			ME	13:08	13:09	12	6	7	12	5.58	10.81	51.6	GUA1802241308
	S7	-21.63	MD	13:16	13:17	14	5	10	14	1.19	2.89	41.2	GUA1802241316
			ME	13:17	13:18	7	4	3	6	1.35	2.94	45.8	GUA1802241317
	S8	-21.63	MD	13:25	13:26	13	6	6	11	3.57	6.14	58.2	GUA1802241325
			ME	13:26	13:27	13	8	3	10	1.06	1.51	69.8	GUA1802241326
Vazante	S1	-21.63	MD	17:56	17:57	21	12	8	19	25.26	42.34	59.7	GUA1802241756
			ME	17:58	17:59	20	13	6	18	22.12	38.28	57.8	GUA1802241758
	S2	-21.63	MD	18:05	18:06	13	5	8	12	1.26	2.38	52.6	GUA1802241805
			ME	18:06	18:07	8	4	3	6	0.96	2.79	34.4	GUA1802241806
	S3	-21.63	MD	18:15	18:18	33	17	16	32	18.54	31.19	59.4	GUA1802241815
			ME	18:18	18:20	21	14	6	19	9.42	17.94	52.5	GUA1802241818
	S4	-21.63	MD	18:29	18:30	14	12	6	17	11.09	18.07	61.4	GUA1802241829
			ME	18:30	18:31	14	9	4	12	10.09	19.66	51.3	GUA1802241830
	S5	-21.63	MD	18:48	18:50	34	14	20	33	13.67	18.02	75.8	GUA1802241848
			ME	18:51	18:52	19	16	4	19	13.54	19.91	68.0	GUA1802241851
	S6	-21.63	MD	19:04	19:05	11	7	5	11	5.89	11.20	52.6	GUA1802241904
			ME	19:05	19:06	9	5	5	9	5.99	12.02	49.8	GUA1802241905
	S7	-21.63	MD	19:12	19:13	7	5	3	7	1.59	3.77	42.3	GUA1802241912
			ME	19:13	19:14	8	4	4	7	1.74	3.44	50.7	GUA1802241913
	S8	-21.63	MD	19:19	19:20	10	5	5	9	5.37	7.96	67.5	GUA1802241919
			ME	19:20	19:21	10	5	4	8	5.02	8.92	56.3	GUA1802241920

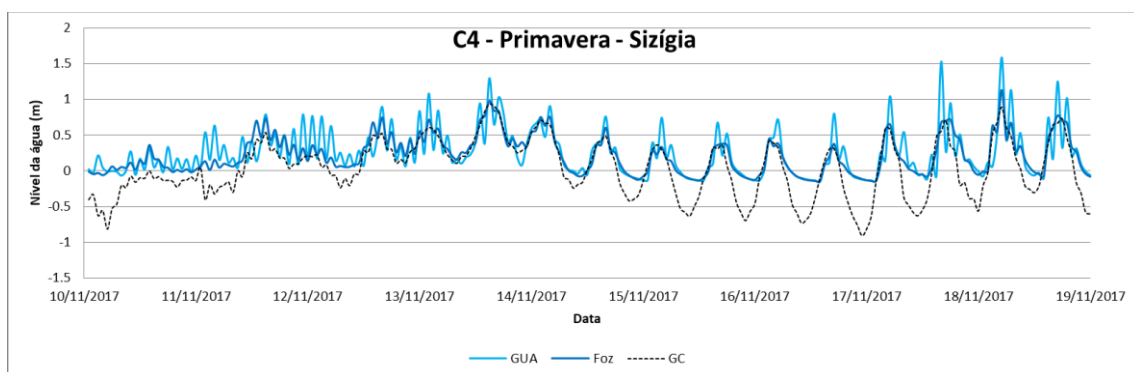
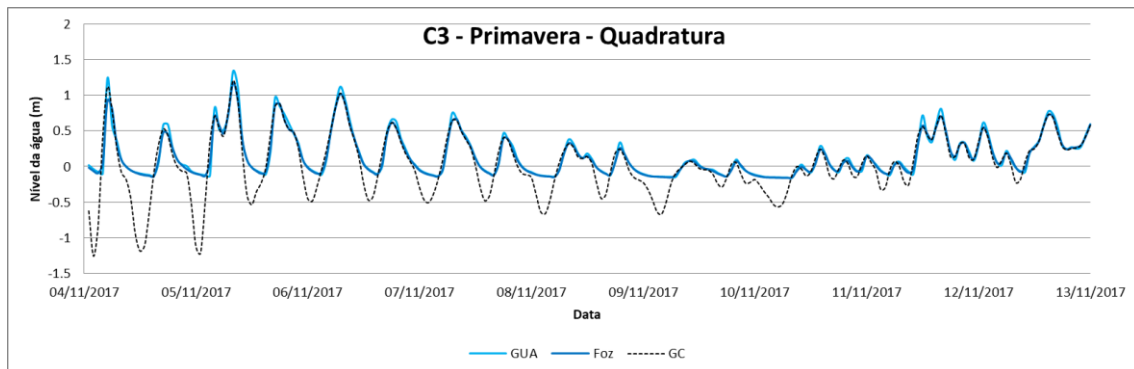
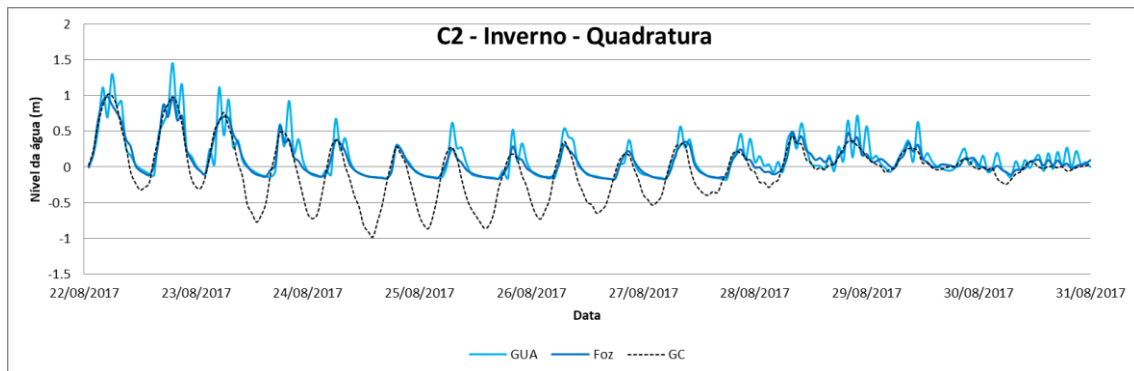
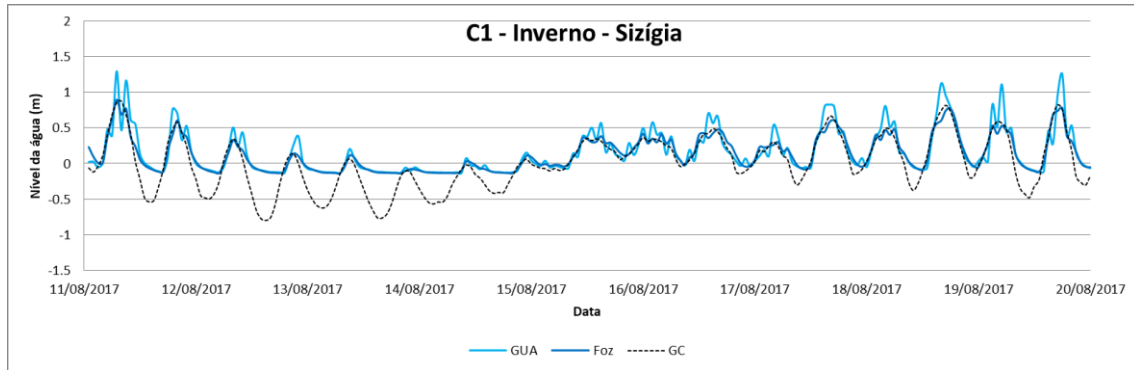
Campanha 7

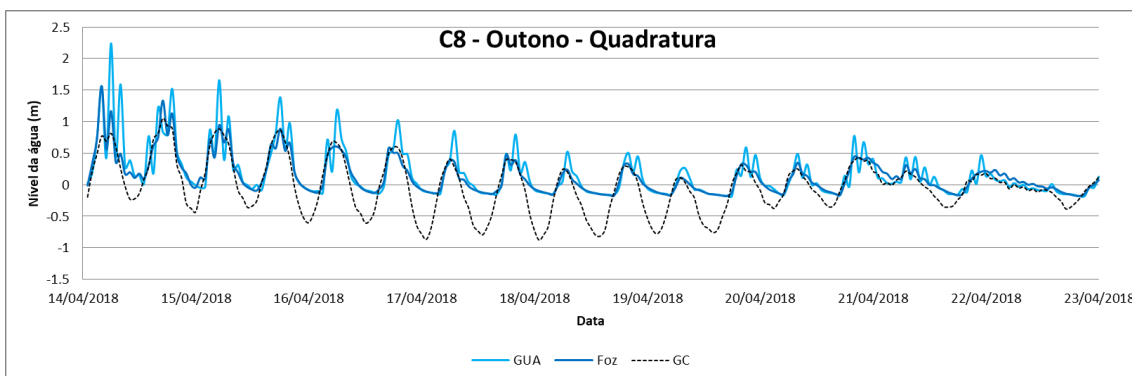
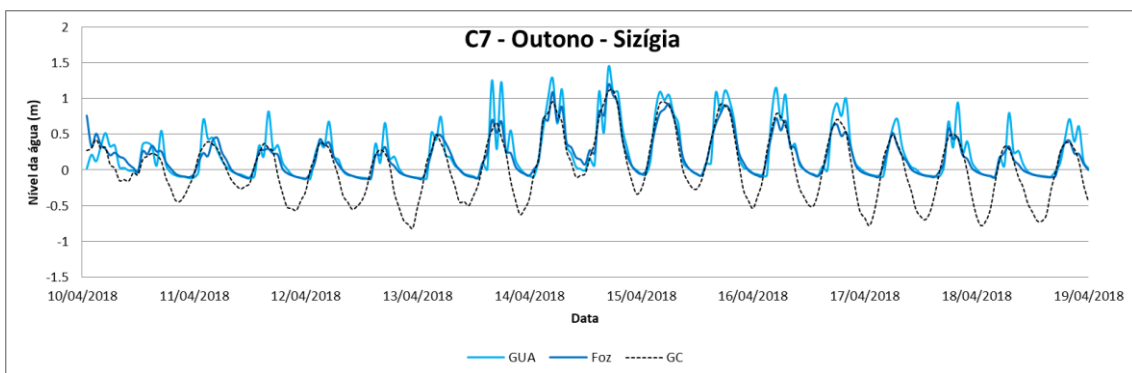
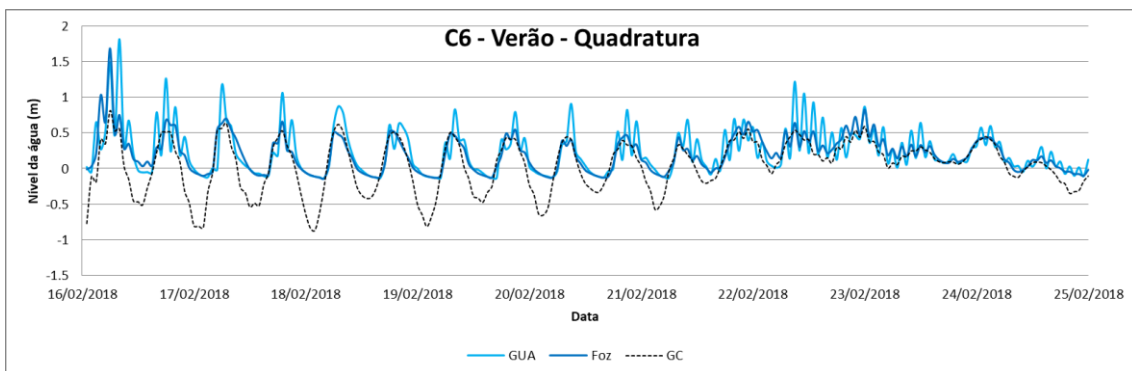
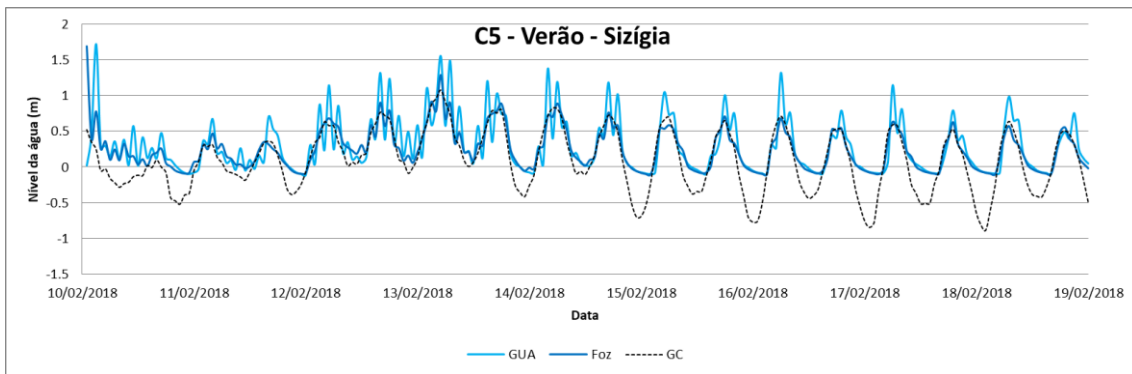
	Seção	Dec. Mag.	Começo Margem	Início	Fim	Nr total de perfis	Nr final de perfis	Perfis (do - ao)	Vazão medida	Vazão calculada	% medido	Nome Arquivo
Vazante	S1	-21.65	MD	10:59	11:00	22	14	9 22	15.54	28.80	54	GUA1804181059
			ME	11:04	11:05	17	11	6 16	17.18	26.18	65.6	GUA1804181104
	S2	-21.65	MD	11:11	11:12	10	4	6 9	1.89	4.11	46.1	GUA1804181111
			ME	11:12	11:13	11	6	6 11	1.79	3.94	45.5	GUA1804181112
	S3	-21.65	MD	11:22	11:24	21	18	4 21	16.21	26.73	60.7	GUA1804181122
			ME	11:24	11:25	21	19	2 20	19.26	29.64	65	GUA1804181124
	S4	-21.65	MD	11:37	11:38	15	8	7 14	8.46	15.99	52.9	GUA1804181137
			ME	11:38	11:40	15	10	2 11	10.26	17.42	58.9	GUA1804181138
	S5	-21.65	MD	11:58	11:59	16	14	2 15	5.04	5.11	98.6	GUA1804181158
			ME	11:59	12:01	17	15	2 16	9.31	9.96	93.5	GUA1804181159
	S7	-21.65	MD	12:25	12:26	7	5	2 6	4.35	10.45	41.6	GUA1804181225
			ME	12:26	12:27	10	8	3 10	5.24	12.14	43.2	GUA1804181226
	S7	-21.65	-	-	-	-	-	- -	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	- -	-	-	-	-
	S8	-21.65	MD	12:43	12:44	11	6	5 10	5.71	9.35	61.1	GUA1804181243
			ME	12:44	12:45	20	4	4 7	6.51	10.70	60.8	GUA1804181244
Enchente	S1	-21.65	MD	17:19	17:20	16	10	6 15	-40.61	-62.83	64.6	GUA1804181719
			ME	17:21	17:22	20	14	6 19	-40.18	-61.82	65	GUA1804181721
	S2	-21.65	MD	17:27	17:28	11	4	6 9	-4.37	-9.08	48.1	GUA1804181727
			ME	17:32	17:33	12	5	7 11	-5.45	-9.14	59.6	GUA1804181732
	S3	-21.65	MD	17:46	17:17	23	17	6 22	-36.80	-52.59	70	GUA1804181746
			ME	17:48	17:50	23	14	8 21	-34.04	-49.20	69.2	GUA1804181748
	S4	-21.65	MD	18:00	18:01	16	9	8 16	-20.70	-32.82	63.1	GUA1804181800
			ME	18:03	18:05	16	8	7 14	-22.87	-36.87	62	GUA1804181803
	S5	-21.65	MD	18:21	18:22	62	13	4 16	-11.91	-16.23	73.4	GUA1804181821
			ME	18:23	18:25	19	14	6 19	-12.77	-13.92	91.7	GUA1804181823
	S6	-21.65	MD	18:38	18:39	11	8	3 10	-4.95	-11.15	44.3	GUA1804181838
			ME	18:44	18:45	12	6	6 11	-0.70	-4.57	15.3	GUA1804181844
	S7	-21.65	MD	18:50	18:51	9	6	3 8	-1.09	-3.24	33.5	GUA1804181850
			ME	18:51	18:52	9	7	2 8	1.25	2.16	58.1	GUA1804181851
	S8	-21.65	ME	19:00	19:01	15	7	9 15	3.08	3.33	92.5	GUA1804181900
			MD	19:04	19:05	14	10	5 14	1.46	2.27	64.1	GUA1804181904

Campanha 8

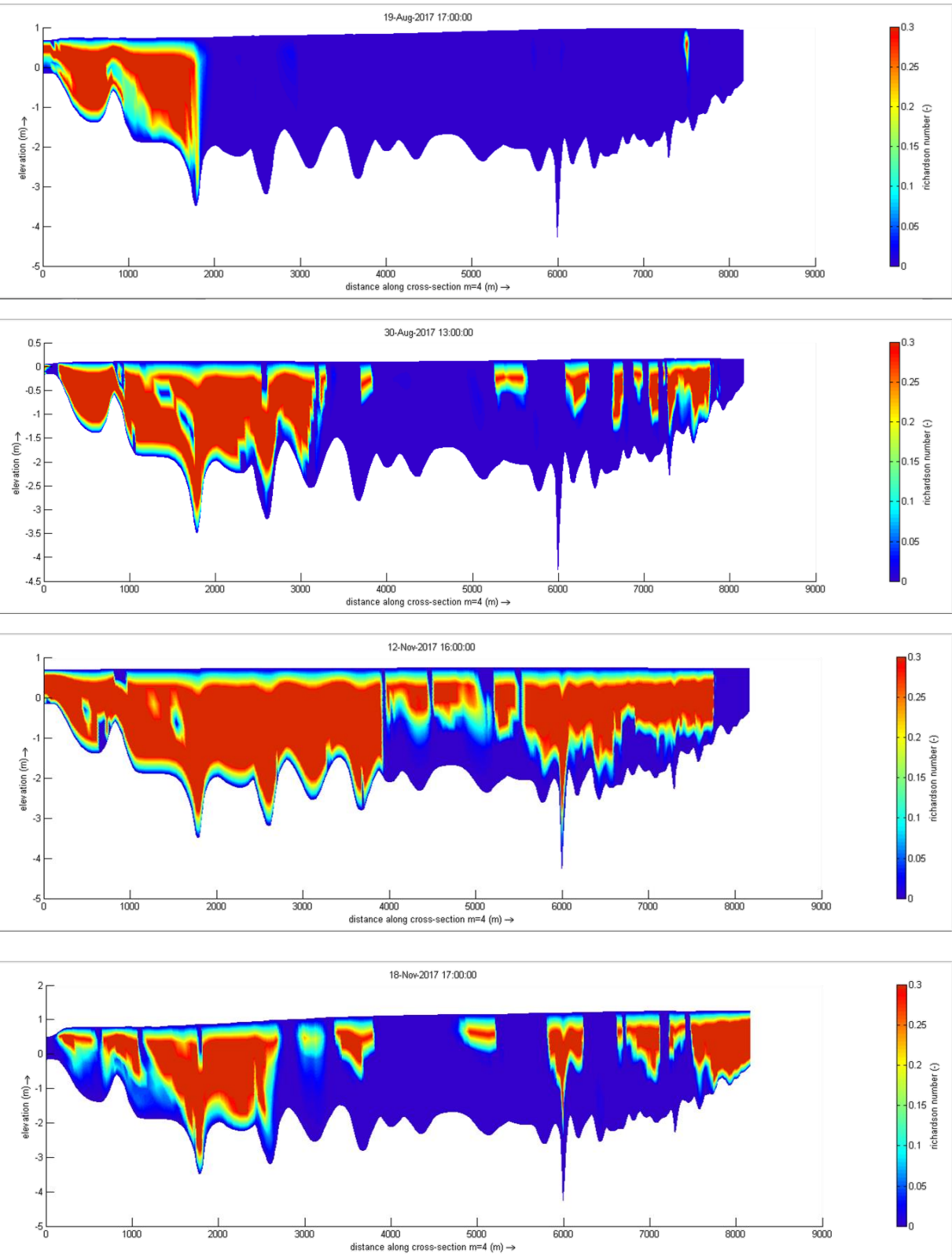
	Seção	Dec. Mag.	Começo Margem	Início	Fim	Nr total de perfis	Nr final de perfis	Perfis (do - ao)		Vazão medida	Vazão calculada	% medido	Nome Arquivo
Enchente	S1	-21.65	MD	12:56	12:57	22	12	9	20	-13.73	-24.81	55.3	GUA1804221256
			ME	12:58	12:59	17	10	6	15	-6.27	-13.68	45.8	GUA1804221258
	S2	-21.65	MD	13:04	13:05	11	6	6	11	-0.70	-1.11	62.5	GUA1804221304
			ME	13:05	13:05	9	5	4	8	-0.67	-1.08	62.2	GUA1804221305
	S3	-21.65	MD	13:16	13:17	21	18	4	21	-8.36	-12.06	69.3	GUA1804221316
			ME	13:18	13:20	19	14	6	19	-4.67	-8.46	55.2	GUA1804221318
	S4	-21.65	MD	13:28	13:29	14	8	7	14	-7.95	-14.82	53.6	GUA1804221328
			ME	13:29	13:30	14	8	6	13	-2.04	-5.05	40.4	GUA1804221329
	S5	-21.65	MD	13:46	13:47	17	14	4	17	-5.65	-9.21	61.3	GUA1804221346
			ME	13:47	13:48	16	13	3	15	4.46	5.92	75.4	GUA1804221347
	S6	-21.65	MD	14:00	14:01	11	8	4	11	-3.39	-8.41	40.3	GUA1804221400
			ME	14:01	14:02	10	5	5	9	2.34	4.44	52.6	GUA1804221401
	S7	-21.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			ME	14:08	14:09	7	4	3	6	0.91	1.34	67.4	GUA1804221408
	S8	-21.65	ME	14:17	14:18	10	5	5	9	1.97	3.98	49.5	GUA1804221417
			MD	14:18	14:19	15	9	4	12	1.96	4.39	44.6	GUA1804221418
Vazante	S1	-21.65	MD	16:50	16:51	18	11	7	17	8.69	15.05	57.7	GUA1804221650
			ME	16:51	16:53	19	17	3	19	11.82	21.24	55.6	GUA1804221651
	S2	-21.65	MD	16:57	16:58	10	5	5	9	-0.34	-0.67	50.5	GUA1804221657
			ME	16:58	16:59	9	4	6	9	0.61	1.04	59	GUA1804221658
	S3	-21.65	MD	17:07	17:09	21	18	4	21	9.01	14.71	61.3	GUA1804221707
			ME	17:09	17:11	21	16	5	20	17.94	27.87	64.4	GUA1804221709
	S4	-21.65	MD	17:19	17:20	14	8	6	13	1.16	3.14	37	GUA1804221719
			ME	17:20	17:21	12	8	3	10	4.39	9.11	48	GUA1804221720
	S5	-21.65	MD	17:36	17:37	17	12	5	16	4.33	5.36	80.7	GUA1804221736
			ME	17:38	17:39	17	14	3	16	6.73	10.03	67.1	GUA1804221738
	S6	-21.65	MD	17:51	17:52	11	6	4	9	1.41	3.34	42.3	GUA1804221751
			ME	17:53	17:54	12	6	7	12	3.87	7.88	49.1	GUA1804221753
	S7	-21.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			ME	18:00		9	4	4	7	0.10	0.34	29.2	GUA1804221800
	S8	-21.65	MD	18:08	18:09	9	5	4	8	3.50	5.43	64.6	GUA1804221808
			ME	18:09	18:10	11	6	5	10	2.13	3.54	60.2	GUA1804221809

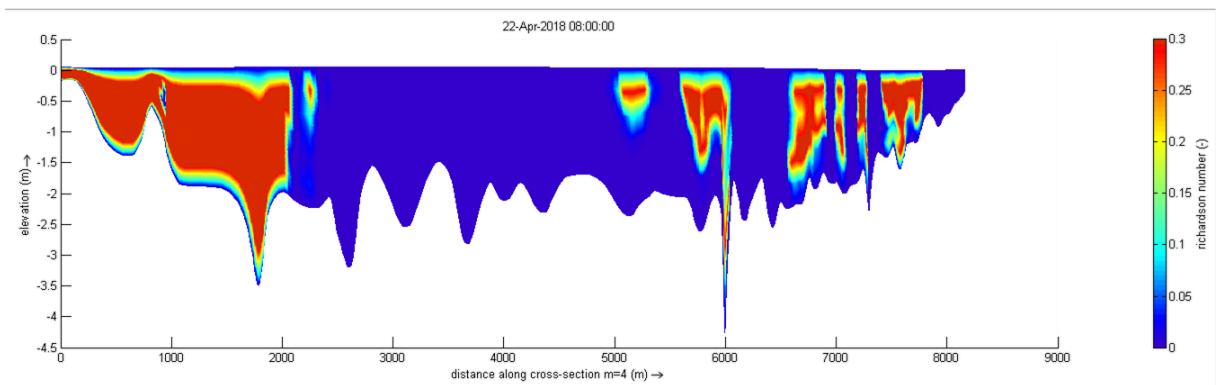
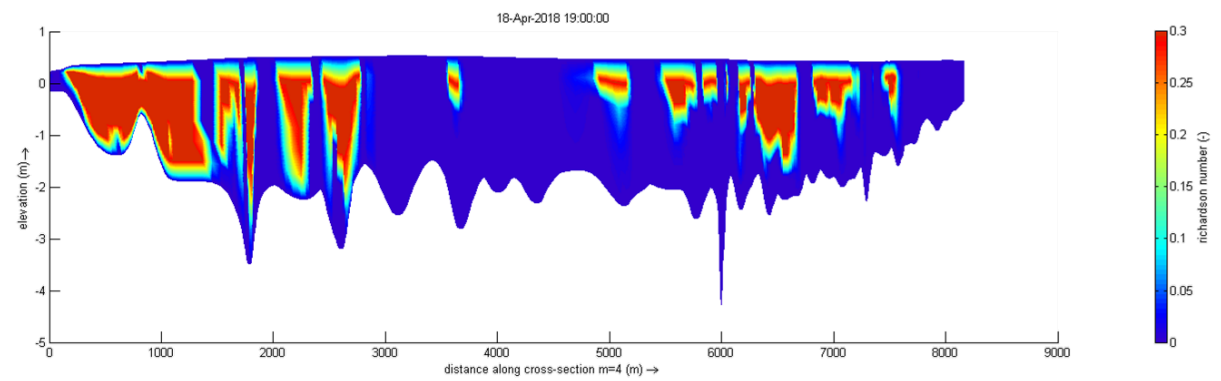
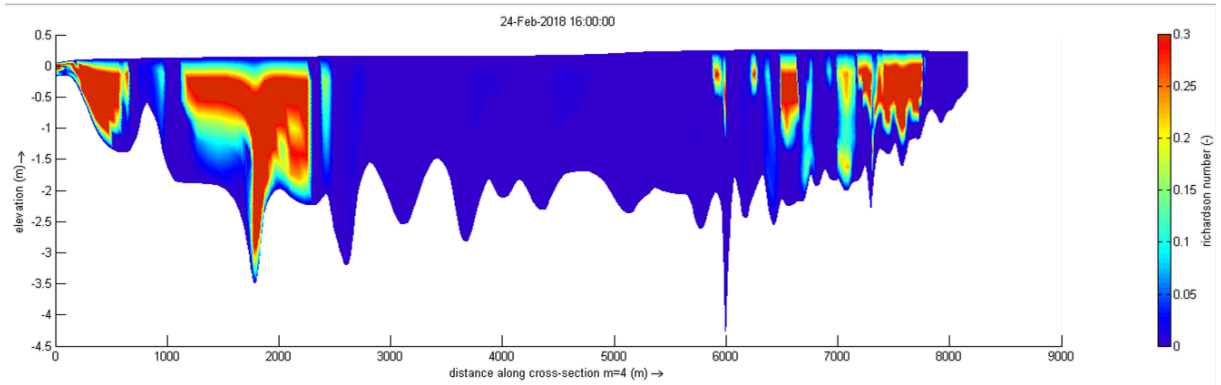
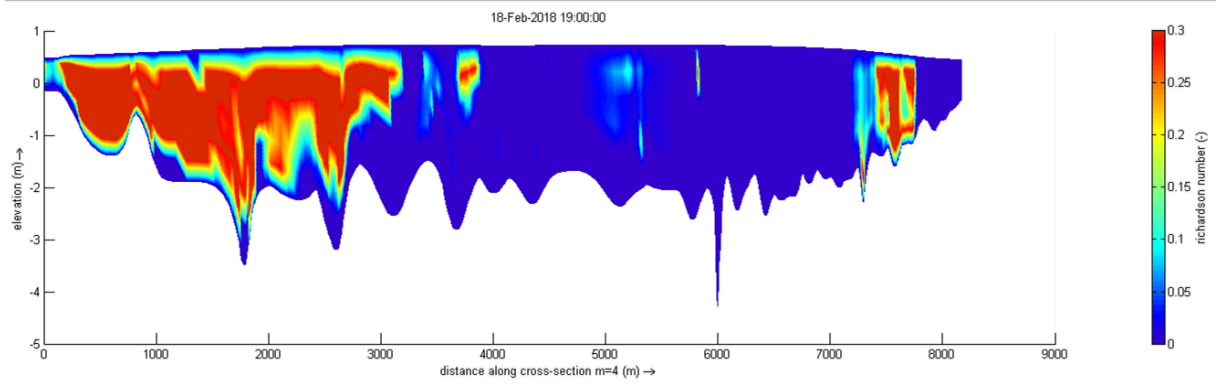
Apêndice 3: Variação do nível do mar durante o período do modelo), em três pontos do estuário (Ponto (2, 7) da GC, e (4, 17 e 4, 397) do domínio GUA) ao longo do período das simulações (sup). Detalhe da variação do nível do dia anterior e do dia em que foi realizada a coleta (inf).





Apêndice 4: Representação do número de Richardson para cada simulação, no dia é horário que foram realizadas as coletas.





ANEXO

Anexo 1

Rio Guaratuba

13/01/2019

SigRH

Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo

Posicionar o ponto de saída da bacia hidrográfica por:

☐ Coordenadas Geográficas	☒ Coordenadas UTM
---	--

Dados de entrada:

Área da bacia hidrográfica (km ²):	58,85
Longitude do Meridiano Central:	45 °

Coordenadas UTM:

Norte (m):	7375596,00
Este (m):	410936,00

Calcular

Resultados

Precipitação anual média (mm):	2999,9
Região hidrológica:	B ▼
Região hidrológica (parâmetro C):	X ▼
Latitude:	23° 43' 41"
Longitude:	45° 52' 25"
Norte (m):	7375596,000
Este (m):	410936,000

Recalcular

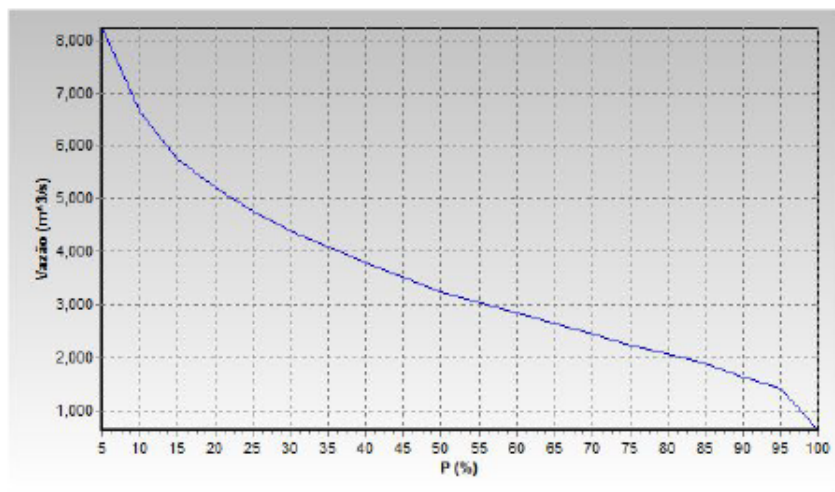
Resultado 1: Vazão média de longo termo

Vazão média pluviométrica (m ³ /s):	3,827
--	-------

Resultado 2: Curva de Permanência

Vazão para "P (%)" de permanência (m³/s):

P (%)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95	100
Q (m ³ /s)	8,228	6,636	5,759	5,228	4,784	4,412	3,804	3,238	2,851	2,449	2,250	2,086	1,906	1,646	1,420	0,631



Resultado 3: Volume de regularização

Volume necessário para se regularizar "Qf" com risco "R (%)" de probabilidade de não atendimento em um ano qualquer (10^6 m^3):

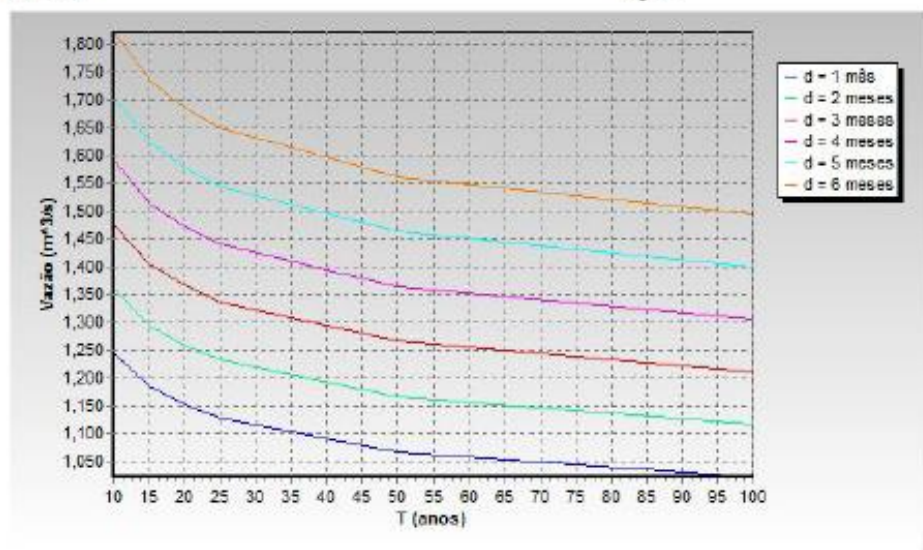
Vazão firme "Qf" (m^3/s):

T (anos)	10	15	20	25	50	100
R (%) = 100 / T	10,00	6,67	5,00	4,00	2,00	1,00
Volume (10^6 m^3)	3,486	4,187	4,627	4,975	5,915	6,735
Dur. critica (meses)	3,390	3,808	4,061	4,256	4,769	5,202

Resultado 4

Vazão mínima anual de "d" meses consecutivos com "T" anos de período de retorno (m^3/s):

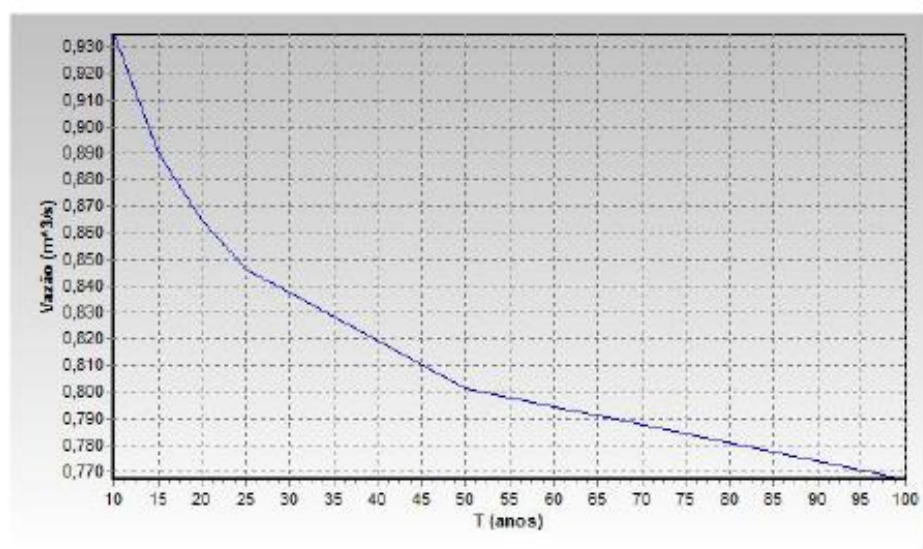
T (anos)	d = 1 mês	d = 2 meses	d = 3 meses	d = 4 meses	d = 5 meses	d = 6 meses
10	1,246	1,362	1,477	1,593	1,708	1,823
15	1,186	1,296	1,406	1,516	1,626	1,736
20	1,153	1,260	1,367	1,473	1,580	1,687
25	1,128	1,233	1,337	1,442	1,546	1,651
50	1,069	1,167	1,266	1,365	1,464	1,563
100	1,023	1,117	1,212	1,307	1,402	1,496



Resultado 5: Q_{7,T}

Vazão mínima anual de 7 dias consecutivos com "T" anos de período de retorno: $Q_{7,T}$ (m³/s):

T (anos)	10	15	20	25	50	100
Q (m ³ /s)	0,935	0,890	0,865	0,846	0,801	0,767



Rio Perequê-Mirim

13/01/2019

SigRH

Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo

Posicionar o ponto de saída da bacia hidrográfica por:

☐ Coordenadas Geográficas

☒ Coordenadas UTM

Dados de entrada:

Área da bacia hidrográfica (km ²):	26,02
Longitude do Meridiano Central:	45 °

Coordenadas UTM:

Norte (m):	7373659,86
Este (m):	408461,85

Calcular

Resultados

Precipitação anual média (mm):	2846,0
Região hidrológica:	B ▼
Região hidrológica (parâmetro C):	X ▼
Latitude:	23° 44' 43"
Longitude:	45° 53' 53"
Norte (m):	7373659,860
Este (m):	408461,650

Recalcular

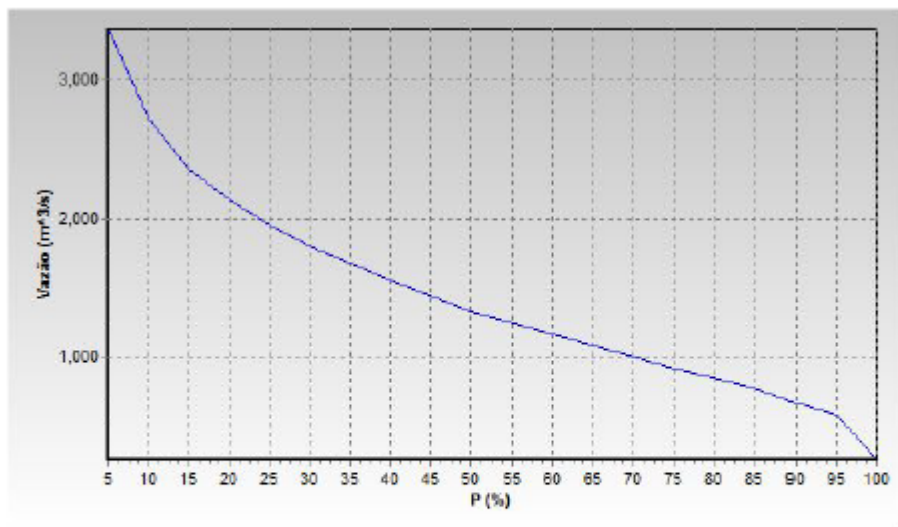
Resultado 1: Vazão média de longo termo

Vazão média plurianual (m ³ /s):	1,566
---	-------

Resultado 2: Curva de Permanência

Vazão para "P (%)" de permanência (m³/s):

P (%)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95	100
Q (m ³ /s)	3,367	2,715	2,357	2,139	1,957	1,805	1,556	1,325	1,167	1,002	0,921	0,853	0,780	0,673	0,581	0,258



Resultado 3: Volume de regularização

Volume necessário para se regularizar "Qf" com risco "R (%)" de probabilidade de não atendimento em um ano qualquer (10^6 m^3):

Vazão firme "Qf" (m^3/s): **0,783**

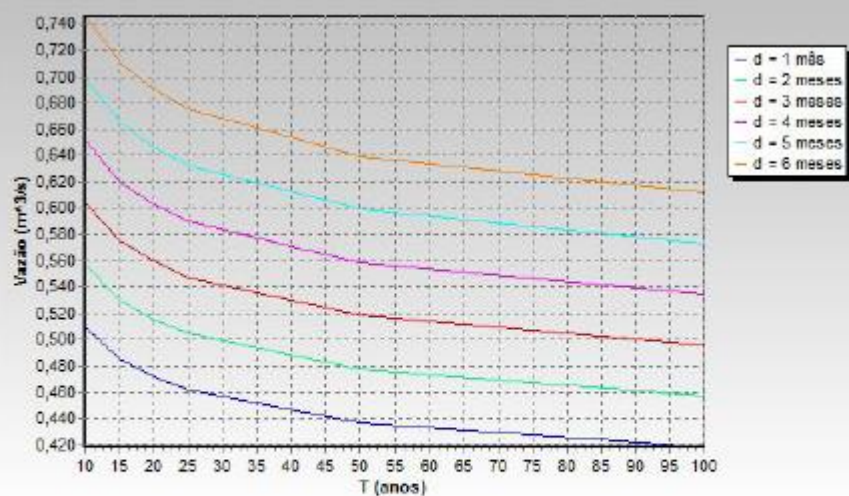
T (anos)	10	15	20	25	50	100
R (%) = 100 / T	10,00	6,67	5,00	4,00	2,00	1,00
Volume (10^6 m^3)	1,426	1,713	1,893	2,036	2,420	2,756
Dur. crítica (meses)	3,390	3,808	4,061	4,256	4,769	5,202

Recalcular

Resultado 4

Vazão mínima anual de "d" meses consecutivos com "T" anos de período de retorno (m^3/s):

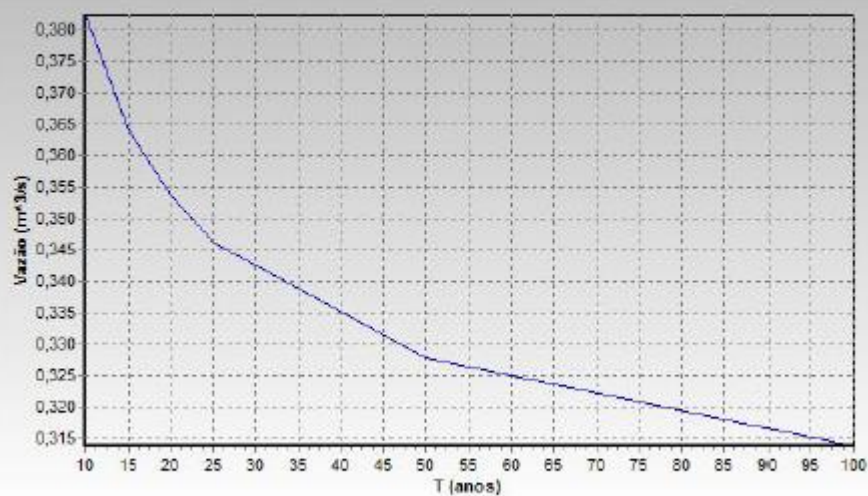
T (anos)	d = 1 mês	d = 2 meses	d = 3 meses	d = 4 meses	d = 5 meses	d = 6 meses
10	0,510	0,557	0,604	0,652	0,699	0,746
15	0,485	0,530	0,575	0,620	0,665	0,710
20	0,472	0,515	0,559	0,603	0,647	0,690
25	0,462	0,504	0,547	0,590	0,633	0,675
50	0,437	0,478	0,518	0,559	0,599	0,640
100	0,418	0,457	0,496	0,535	0,574	0,612



Resultado 5: Q_{7,T}

Vazão mínima anual de 7 dias consecutivos com "T" anos de período de retorno: $Q_{7,T}$ (m³/s):

T (anos)	10	15	20	25	50	100
Q (m ³ /s)	0,382	0,364	0,354	0,346	0,328	0,314



Rio Vermelho

13/01/2019

SigRH

Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo

Posicionar o ponto de saída da bacia hidrográfica por:

☐ Coordenadas Geográficas

☒ Coordenadas UTM

Dados de entrada:

Área da bacia hidrográfica (km ²):	42,03
Longitude do Meridiano Central:	45 °

Coordenadas UTM:

Norte (m):	7375152,00
Este (m):	410913,00

Calcular

Resultados

Precipitação anual média (mm):	2893,4
Região hidrológica:	B ▼
Região hidrológica (parâmetro C):	X ▼
Latitude:	23° 43' 55"
Longitude:	45° 52' 26"
Norte (m):	7375152,000
Este (m):	410913,000

Recalcular

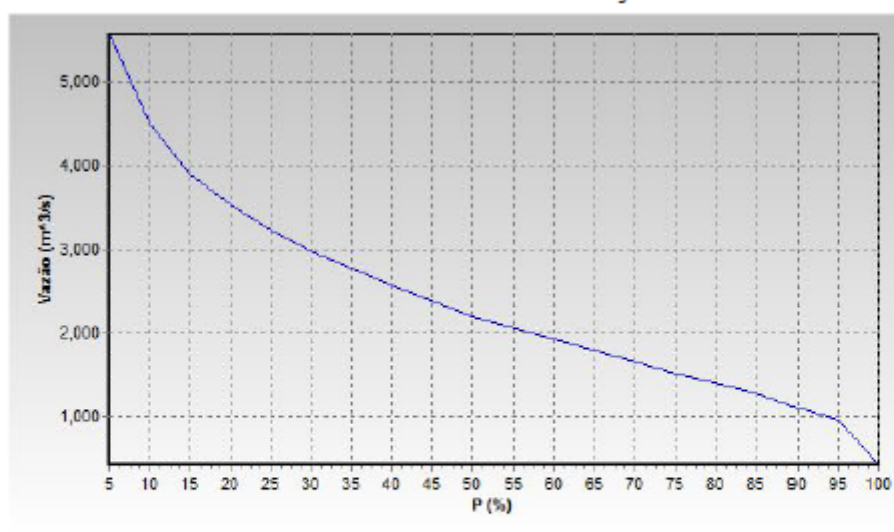
Resultado 1: Vazão média de longo termo

Vazão média plurianual (m ³ /s):	2,592
---	-------

Resultado 2: Curva de Permanência

Vazão para "P (%)" de permanência (m³/s):

P (%)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95	100
Q (m ³ /s)	5,573	4,495	3,901	3,541	3,240	2,989	2,576	2,193	1,931	1,659	1,524	1,413	1,291	1,115	0,962	0,428



Resultado 3: Volume de regularização

Volume necessário para se regularizar "Qf" com risco "R (%)" de probabilidade de não atendimento em um ano qualquer (10^6 m^3):

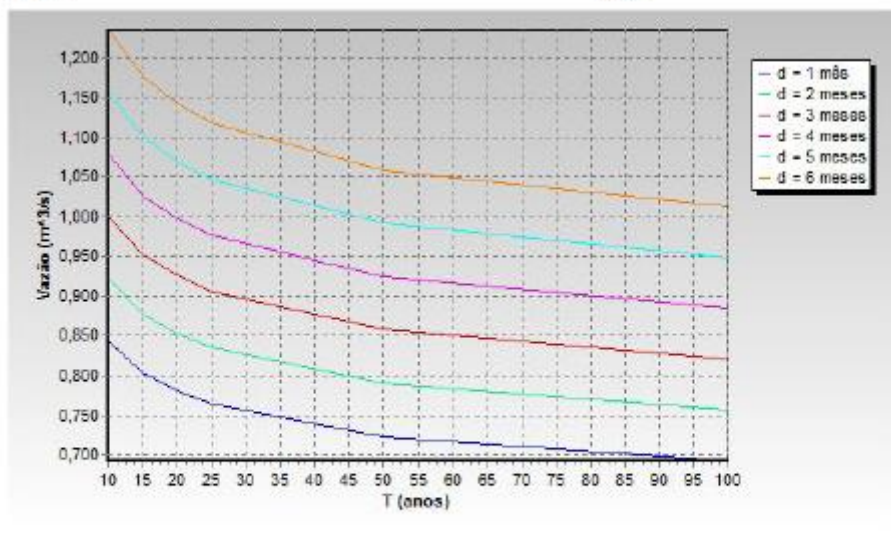
Vazão firme "Qf" (m^3/s):

T (anos)	10	15	20	25	50	100
R (%) = 100 / T	10,00	6,67	5,00	4,00	2,00	1,00
Volume (10^6 m^3)	2,361	2,836	3,134	3,370	4,006	4,562
Dur. crítica (meses)	3,390	3,808	4,061	4,256	4,769	5,202

Resultado 4

Vazão mínima anual de "d" meses consecutivos com "T" anos de período de retorno (m^3/s):

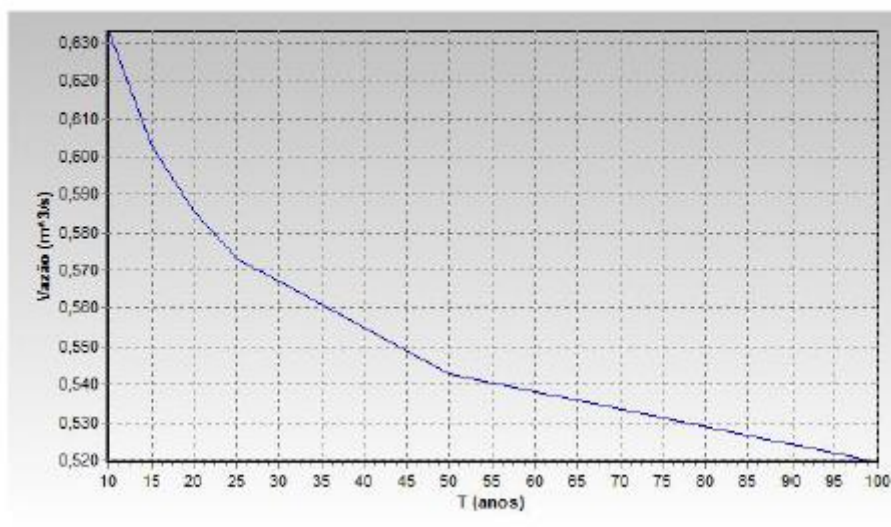
T (anos)	d = 1 mês	d = 2 meses	d = 3 meses	d = 4 meses	d = 5 meses	d = 6 meses
10	0,844	0,922	1,001	1,079	1,157	1,235
15	0,804	0,878	0,952	1,027	1,101	1,176
20	0,781	0,853	0,926	0,998	1,070	1,143
25	0,764	0,835	0,906	0,977	1,047	1,118
50	0,724	0,791	0,858	0,925	0,992	1,059
100	0,693	0,757	0,821	0,885	0,949	1,014



Resultado 5: Q_{7,T}

Vazão mínima anual de 7 dias consecutivos com "T" anos de período de retorno: $Q_{7,T}$ (m³/s):

T (anos)	10	15	20	25	50	100
Q (m ³ /s)	0,633	0,603	0,586	0,573	0,543	0,520



Confluência rio Guaratuba e rio Vermelho

17/02/2019

SigRH

Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo

Posicionar o ponto de saída da bacia hidrográfica por:

☐ Coordenadas Geográficas ☒ Coordenadas UTM

Dados de entrada:

Área da bacia hidrográfica (km ²):	100,88
Longitude do Meridiano Central:	45°

Coordenadas UTM:

Norte (m):	7375344
Este (m):	410410

Calcular

Resultados

Precipitação anual média (mm):	2999,6
Região hidrológica:	B ▼
Região hidrológica (parâmetro C):	X ▼
Latitude:	23° 43' 49"
Longitude:	45° 52' 44"
Norte (m):	7375344,000
Este (m):	410410,000

Recalcular

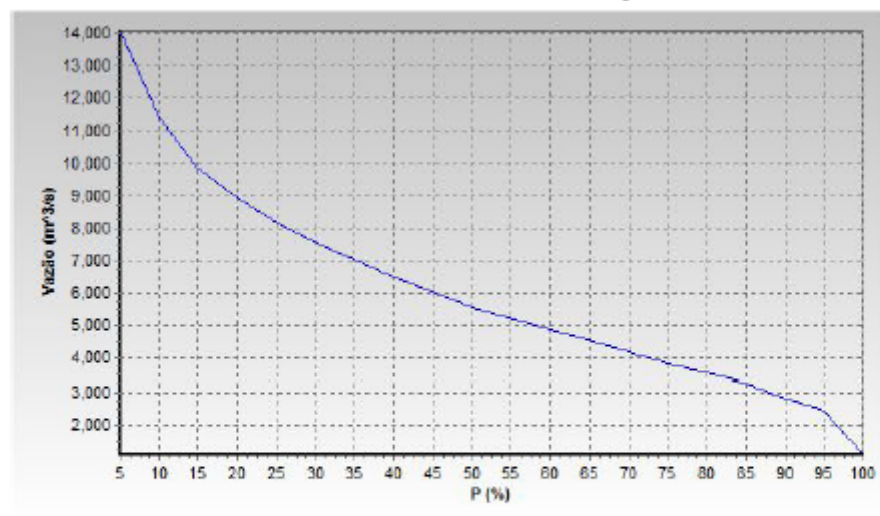
Resultado 1: Vazão média de longo termo

Vazão média plurianual (m ³ /s):	6,559
---	-------

Resultado 2: Curva de Permanência

Vazão para "P (%)" de permanência (m³/s):

P (%)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95	100
Q (m ³ /s)	14,102	11,373	9,871	8,959	8,199	7,562	6,520	5,549	4,886	4,198	3,857	3,575	3,266	2,820	2,433	1,082



Resultado 3: Volume de regularização

Volume necessário para se regularizar "Qf" com risco "R (%)" de probabilidade de não atendimento em um ano qualquer (10^6 m^3):

Vazão firme "Qf" (m^3/s): **3,279**

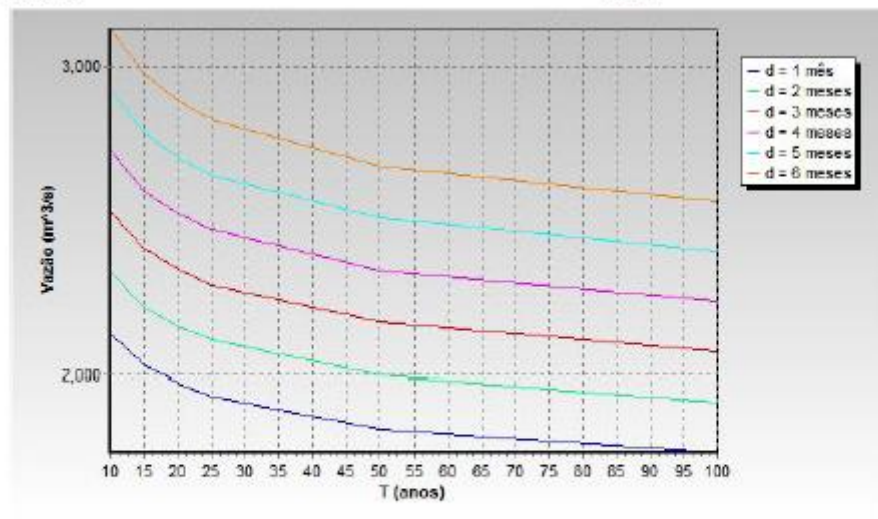
T (anos)	10	15	20	25	50	100
R (%) = 100 / T	10,00	6,67	5,00	4,00	2,00	1,00
Volume (10^6 m^3)	5,974	7,176	7,930	8,527	10,137	11,543
Dur. crítica (meses)	3,390	3,808	4,061	4,256	4,769	5,202

Recalcular

Resultado 4

Vazão mínima anual de "d" meses consecutivos com "T" anos de período de retorno (m^3/s):

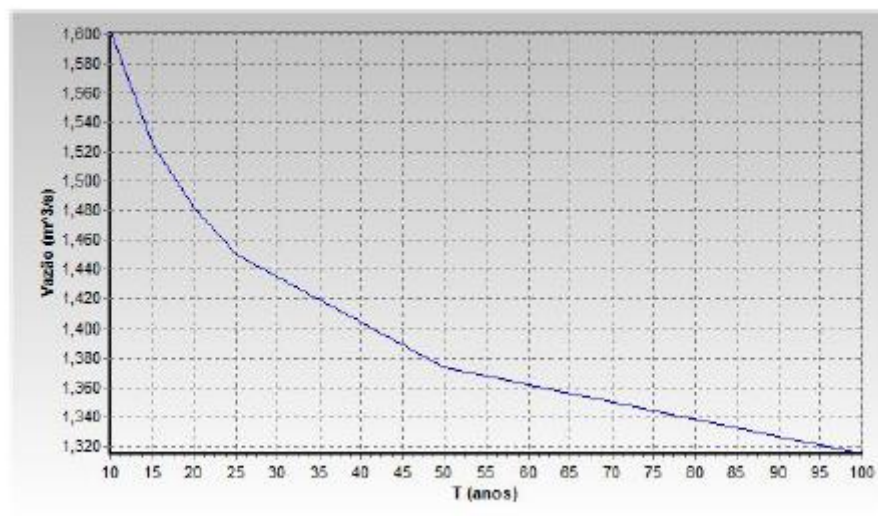
T (anos)	d = 1 mês	d = 2 meses	d = 3 meses	d = 4 meses	d = 5 meses	d = 6 meses
10	2,136	2,334	2,532	2,730	2,927	3,125
15	2,034	2,222	2,410	2,598	2,787	2,975
20	1,976	2,159	2,342	2,525	2,708	2,891
25	1,934	2,113	2,292	2,471	2,650	2,829
50	1,831	2,001	2,171	2,340	2,510	2,679
100	1,753	1,915	2,078	2,240	2,402	2,565



Resultado 5: Q_{7,T}

Vazão mínima anual de 7 dias consecutivos com "T" anos de período de retorno: $Q_{7,T}$ (m³/s):

T (anos)	10	15	20	25	50	100
Q (m ³ /s)	1,602	1,525	1,482	1,450	1,374	1,315



Foz do Estuário

13/01/2019

SigRH

Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo

Posicionar o ponto de saída da bacia hidrográfica por:

☐ Coordenadas Geográficas	☒ Coordenadas UTM
---	--

Dados de entrada:

Área da bacia hidrográfica (km ²):	126,9
Longitude do Meridiano Central:	45 °

Coordenadas UTM:

Norte (m):	7373274,00
Este (m):	408748,00

Calcular

Resultados

Precipitação anual média (mm):	2846,0
Região hidrológica:	B ▼
Região hidrológica (parâmetro C):	X ▼
Latitude:	23° 44' 56"
Longitude:	45° 53' 43"
Norte (m):	7373274,000
Este (m):	408748,000

Recalcular

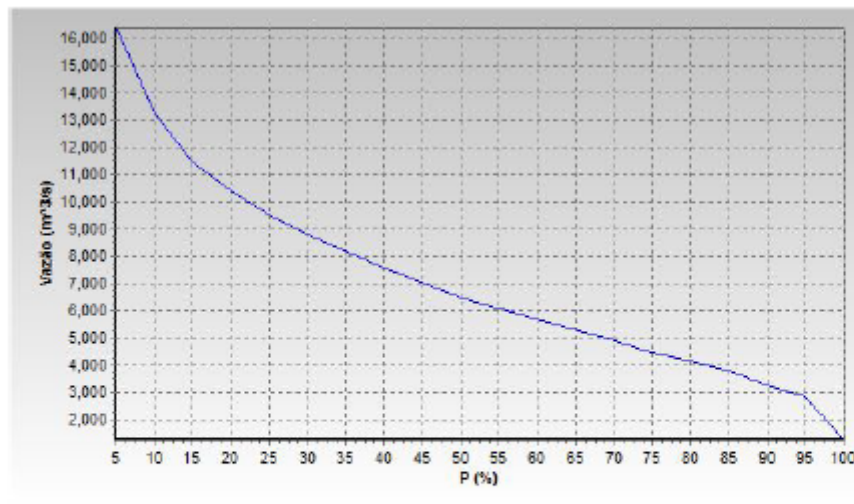
Resultado 1: Vazão média de longo termo

Vazão média plurianual (m ³ /s):	7,637
---	-------

Resultado 2: Curva de Permanência

Vazão para "P (%)" de permanência (m³/s):

P (%)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95	100
Q (m ³ /s)	16,419	13,242	11,493	10,432	9,546	8,805	7,591	6,461	5,689	4,887	4,490	4,162	3,803	3,284	2,833	1,260



Resultado 3: Volume de regularização

Volume necessário para se regularizar "Qf" com risco "R (%)" de probabilidade de não atendimento em um ano qualquer (10^6 m^3):

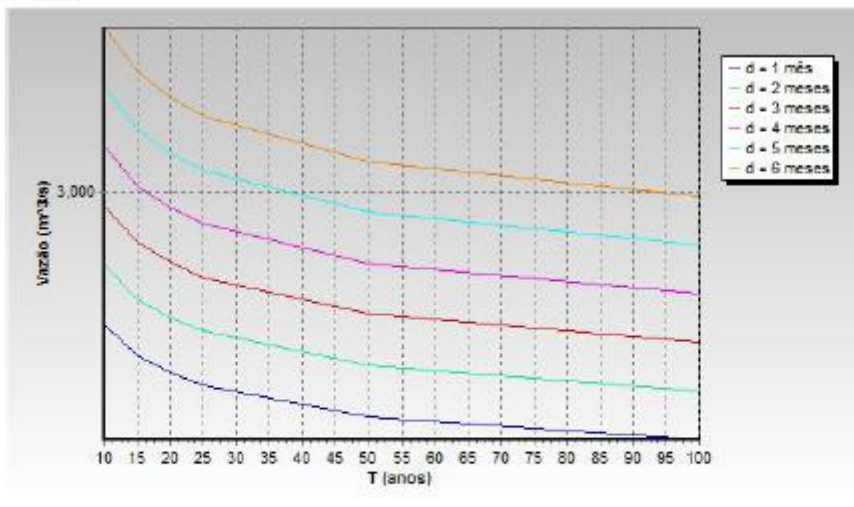
Vazão firme "Qf" (m^3/s):

T (anos)	10	15	20	25	50	100
R (%) = 100 / T	10,00	6,67	5,00	4,00	2,00	1,00
Volume (10^6 m^3)	6,955	8,356	9,233	9,928	11,803	13,440
Dur. critica (meses)	3,390	3,808	4,061	4,256	4,769	5,202

Resultado 4

Vazão mínima anual de "d" meses consecutivos com "T" anos de período de retorno (m^3/s):

T (anos)	d = 1 mês	d = 2 meses	d = 3 meses	d = 4 meses	d = 5 meses	d = 6 meses
10	2,487	2,717	2,948	3,178	3,408	3,639
15	2,368	2,587	2,806	3,025	3,245	3,464
20	2,301	2,514	2,727	2,940	3,153	3,366
25	2,252	2,460	2,669	2,877	3,086	3,294
50	2,132	2,330	2,527	2,725	2,922	3,120
100	2,041	2,230	2,419	2,608	2,797	2,986



Resultado 5: Q_{7,T}

Vazão mínima anual de 7 dias consecutivos com "T" anos de período de retorno: $Q_{7,T}$ (m³/s):

T (anos)	10	15	20	25	50	100
Q (m ³ /s)	1,865	1,776	1,726	1,689	1,599	1,531

