### ANA MARIA DE SOUZA HAYTSMANN

Estudo da hidrodinâmica e do aporte terrígeno proveniente do rio Ribeira de Iguape e sua influência no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) com o uso da modelagem e indicadores biogeoquímicos

> Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de oceanografia, área de Oceanografia Química.

> Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elisabete de Santis Braga da Graça Saraiva

Co-orientador: Prof. Dr. Joseph Harari

SÃO PAULO 2018

### Universidade de São Paulo Instituto Oceanográfico

Estudo da hidrodinâmica e do aporte terrígeno proveniente do rio Ribeira de Iguape e sua influência no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) com o uso da modelagem e indicadores biogeoquímicos

Ana Maria de Souza Haytsmann

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências,Programa de oceanografia, área de Oceanografia Química.

Versão Corrigida

Julgada em\_\_\_/ /

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Conceito

Conceito

Conceito

# Sumário

Agrad	lecimentos	V
Resur	mo	viii
Abstra	act	ix
Lista	de Figuras	X
Lista o	de Tabelas	XV
Lista o	de Abreviações	xvii
Lista o	de Equações	xix
1.	Introdução	01
1.1	Sistemas Estuarinos	01
1.2	Indicadores de aporte terrígeno	03
1.3	A Modelagem Numérica	06
2.	Objetivo geral	08
2.1	Objetivos específicos	
3.	Área de estudo	09
3.1	Localização e configuração geográfica	09
3.3	Clima	11
3.4	Circulação	12
3.5	Aporte terrígeno	12
3.6	Contexto sócio-econômico	13
4.	Materiais e métodos	15
4.1	Dados climatológicos	15
4.1.1	Pluviosidade e temperatura do ar	15
4.1.2	Marés	15
4.1.3	Nível do mar	15

4.2	Caracterização da coluna de água	16			
4.2.1	Amostragem	.16			
4.2.2	Temperatura da água	17			
4.2.3	Salinidade	17			
4.2.4	Oxigênio Dissolvido	17			
4.2.5	Potencial Hidrogeniônico	18			
4.2.6	Material particulado em suspensão	19			
4.2.7	Fósforo inorgânico dissolvido	20			
4.2.8	Silício inorgânico dissolvido	.20			
4.3	Vazão	21			
4.4	Batimetria	21			
4.5	Modelo Delft3D®	. 21			
4.5.1	Aquisição de dados	. 22			
4.5.1.1 Grade					
4.5.1.	4.5.1.2 Batimetria 23				
4.5.1.	4.5.1.3 Forçantes24				
4.5.1.	3.1 Marés	24			
4.5.1.	3.2 Vento	25			
4.5.1.	3.3 Nível Médio do Mar	. 25			
4.5.1.	3.4 Temperatura da água e salinidade	.25			
4.5.1.	3.5 Indicadores de aporte terrígeno	26			
4.5.2	Tratamento dos dados	.26			
4.5.2.	1 Simulação hidrodinâmica 2D	.26			
4.5.2.	1.5.2.2. Simulação hidrodinâmica 3D26				
4.5.2.	2.1. Validação do modelo hidrodinâmico	27			

4.5.2.	3. Modelagem da dispersão do aporte terrígeno	.29
4.5.2.	3.1. Validação do modelo geoquímico	31
5.	Resultados e discussão	.33
5.1	Dados climatológicos	.33
5.2	Variação da maré	.35
5.3	Nível médio do mar	.37
5.4	Vazão	41
5.5	Dados hidrogeoquímicos	47
5.5.1	Amostragem de março (final de verão)	48
5.5.1.	1 Bifurcação do baixo Ribeira	.51
5.5.1.	2 Mathias	54
5.5.1.	3 Valo Grande	57
5.5.2	Amostragem de agosto (inverno)	59
5.5.2.	1 Bifurcação	.61
5.5.2.	2 Mathias	64
5.5.2.	3 Valo Grande	66
5.6	Modelo Hidrodinâmico	. 69
5.6.1	Março	.70
5.6.2	Agosto	79
5.6.3	Validação	. 89
5.6.3.	1 Março	89
5.6.3.	2 Agosto	. 94
5.7	Modelo geoquímico -WAQ	101
5.7.1	Validação	117
5.7.1.	1 Silicato Dissolvido	117

5.7.1.2	2 Fosfato Dissolvido	129
5.7.1.3	3 Material inorgânico em suspensão	120
6.	Conclusão	122
7.	Referências Bibliográficas	126

#### Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, meu melhor amigo e companheiro, por estar ao meu lado em todos os momentos, me guiando e iluminando.

À minha família, por todo carinho e apoio mesmo tão longe. Meu eterno porto seguro são vocês. Em especial ao meu pai Carlos e meus avós Osvaldo e Natália, que desde o início estão me apoiando e me incentivando a seguir meu sonho de trabalhar com os oceanos.

Ao meu esposo, amigo e companheiro Gustavo, por estar sempre ao meu lado, me incentivando e ajudando. Seu amor e alegria fizeram essa trajetória ser muito mais leve.

À querida prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elisabete de Santis Braga, por toda compreensão, orientação, ajuda e companheirismo, não medindo esforços para este trabalho acontecer. Muito obrigada pela confiança em mim depositada para fazer esse trabalho. Sou muito grata pela sua amizade, pelos conselhos e todo suporte que me deste, tanto dentro quanto fora da vida acadêmica.

Ao prof. Dr. Joseph Harari, por ter me acolhido no seu laboratório há 7 anos e desde então sempre esteve me orientando e ajudando no que é preciso. Muito obrigada por tudo!

Aos meus amigos Alex, Eloah e Leonardo, que são aqueles amigos mais chegados que um irmão. Minha segunda família aqui em São Paulo, estando presentes em todo o tempo, sempre à disposição.

À minha galerinha 10, meus amigos de longa data de BH, em especial Débora, Lara e Raquel, minhas eternas companheiras que mesmo à distância estão presentes comigo.

Aos meus amigos da igreja, Calvin, Fernando, João, Jorge Juliana, Jully, Karina e Karol por todo carinho, suporte e companheirismo. Vocês são presentes de Deus na minha vida.

Aos amigos Douglas, Hugo, Lucas, Patrícia e Talia por sempre me incentivarem a continuar e por estarem presentes nos momentos difíceis.

Ao professor Luíz e toda galera do Muay Thai, que me ajudaram a desestressar e ter um dia mais produtivo depois dos treinos, valeu time!

Ao Dr. Vítor Chiozzini, por todos os ensinamentos, ajuda nas coletas e análises no laboratório, e principalmente pela amizade. Ao Msc. Samuel Hora Yang, por todos esses anos de amizade, sempre muito prestativo, não medindo esforços para ajudar nas simulações e sempre tirando minhas dúvidas.

Ao Dr. Iuri Baldaconi, pela ajuda mais que importante nos dados de vazão, aprendi muito com você. Obrigada por estar disponível, mesmo estando tão ocupado na sua fase final do doutorado, me sinto muito grata e honrada por poder contar contigo.

Ao Tiago Cortez, pela grande ajuda com a fase final da simulação com o Delft3D®, principalmente pela paciência quando o modelo não estava funcionando de jeito nenhum!

À equipe LABNUT, Amanda, Beatriz, Bruno S., Bruno P., Caio, Carolina, Chiara, Giovana, Gláucia, Henrique, Leonardo, Luma, Renata e Victor. Muito obrigada pelo companheirismo, coletas, análises de campo e principalmente pelas boas risadas e amizade.

Ao prof. Dr. Eduardo Siegle, por ter disponibilizado os equipamentos de batimetria, pela ajuda nos tratamentos dos dados e também à toda equipe do seu laboratório (LDC), em especial à Débora Alves, por ter sido de grande ajuda nos campos e nas coletas de batimetria.

Aos técnicos do IOUSP Gilberto e Edilson, nas coletas dos dados de batimetria, por todo esforço e comprometimento nas coletas, sempre com muito bom humor e disposição. Ao Carlo pelo auxílio nas coletas de batimetria e a Raiana por ter ajudado na parte inicial do projeto e nos cálculos de vazão.

À toda equipe do Laboratório de Instrumentação Oceanográfica (Lio-IOUSP), em especial ao Chico, Fred, Henrique e Wilson Natal, por todo o suporte nas coletas de vazão e processamento dos dados, sou muito grata por tudo o que fizeram.

Ao pessoal do setor de transportes, Claudio, Felipe e Roberto, sempre muito alegres e prestativos, muito obrigada por toda ajuda.

Ao DERSA, em Iguape, por ter disponibilizado o espaço para a análise das coletas e por ceder um lugar para Albacora ficar.

À toda tripulação do Albacora, Adriano, Clóvis, Evandiro, Sérgio e Ulisses. Muito obrigada pela disposição, ajuda nas coletas, boas conversas e comida maravilhosa. Sr. Nhô, sua cuca está no meu coração!

A todos os funcionários da base de pesquisa "Dr. João de Paiva Carvalho", me recepcionando até de madrugada! Vocês são demais.

Ao Éder e Ricardo pela ajuda com as instalações dos softwares e todos os pepinos que a gente tinha com os computadores.

Ao pessoal da secretaria de pós-graduação, Ana Paula, Daniel e Letícia, por todo auxílio nesse tempo.

Ao pessoal da biblioteca, em especial o Wagner e a Marta, pelo auxílio nas referências bibliográficas.

Ao CNPq pelo apoio financeiro com a bolsa de mestrado.

Ao Instituto Oceanográfico pela auxílio financeiro e infraestrutura para os trabalhos de campo.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

#### Resumo

O complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape vem sofrendo diversos impactos antrópicos desde à abertura do canal artificial Valo Grande, que alterou significativamente o setor Norte do sistema com o aumento da influência fluvial. O assoreamento da região, vem sendo um problema recorrente, impactando a pesca, o turismo e a navegação. Este trabalho visa entender a dispersão do aporte terrígeno na região a partir da modelagem numérica, com dados atualizados, para melhor reprodução da simulação no estuário. Os resultados do modelo mostraram altas concentrações dos componentes biogeoquímicos no setor Norte do sistema e baixa influência da maré, ocasionando alta retenção destes elementos na região. O setor Sul apresentou baixa influência do rio e alta influência marinha, com valores de silicato e fosfato dissolvidos e matéria inorgânica em suspensão dentro do esperado para um sistema estuarino preservado. O modelo apresentou um bom comportamento para a região, com bons resultados hidrodinâmicos e de qualidade da água. Ressalta-se a importância de um contínuo monitoramento da região e o uso de modelo para acompanhar o desenvolvimento geomorfológico e as alterações biogeoquímicas do estuário para auxiliar em medidas preventivas com o intuito de minimizar o impacto antrópico no sistema.

Palavras-chave: Estuários, aporte terrígeno, biogeoquímica, modelagem numérica, Delft3D, vazão, silício, fósforo.

#### Abstract

The estuarine-lagoon complex of Cananéia-Iguape has suffered several anthropic impacts since the opening of the Valo Grande artificial channel, which significantly altered the northern sector of the system with the increase of fluvial influence. The silting up of the region has been a recurrent problem, impacting fishing, tourism and navigation. This work aims to understand the dispersion of the terrigenous contribution in the region with numerical modeling and updated data, for better reproduction of the simulation in the estuary. The results of the model showed high concentrations of the biogeochemical components in the northern sector of the system and low tidal influence, causing high retention of these elements in the region. The southern sector showed low river influence and high marine influence, with expected values of dissolved silica and phosphate and inorganic suspended matter for a preserved estuarine system. The model showed a good behavior for the region, with good hydrodynamic and water quality results. It is emphasized the importance of continuous monitoring of the region and the use of a model to monitoring the geomorphological development and the biogeochemical alterations of the estuary to assist in preventive measures with the intention of minimizing the anthropic impact in the system.

Key words: Estuaries, terrigenous contribution, biogeochemistry, numerical modeling, Delft3D, flow, silicon, phosphorus.

# Lista de Figuras

Figura 1. Complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (de acordo com Bonetti e Miranda 1997)09
Figura 2. Pontos da amostragem nos campos (Google Earth acesso: 20/10/2017)17 Figura 3. Grade C de Arakawa (Fonte: Modificado de Harari, 2015)
Figura 4. Grade computacional criada para as simulações hidrodinâmicas, utilizada no modelo 2D
Figura 5. Grade computacional criada para as simulações hidrodinâmicas em 3D 23
Figura 6. Batimetria da região com dados de campo 24
Figura 7. Posição dos pontos de observação dentro da grade
Figura 8. Posição dos pontos de validação para o WAQ marcados em estrela 32
Figura 9. Variação da temperatura (°C) do ar em Iguape na última quinzena de março (INMET)
Figura 10. Precipitação (mm) em Iguape na última quinzena de março (INMET)34
Figura 11. Variação da temperatura (°C) do ar em agosto (INMET)34
Figura 12. Precipitação (mm) em Iguape em agosto (INMET)35
Figura 13. Variação da maré (em m) nos dias 29 (a) e 30 (b) de março de 2017 36
Figura 14. Variação da maré (em m) nos dias dia 23 (a) e 24(b) de agosto de 201737
Figura 15. Distribuição do nível médio do mar (em cm), no dia 29 de março de 2017, na ponte Mathias (curso natural do Rio Ribeira) em Iguape (SP)
Figura 16. Distribuição do nível médio do mar (em cm), no dia 29 de março de 2017, no Valo Grande, em Iguape (SP)
Figura 17. Distribuição do nível médio do mar (em cm) na ponte Mathias(Iguape-SP), no dia 30 de março de 2017
Figura 18. Distribuição do nível médio do mar (em cm), no Valo Grande (Iguape-SP), dia 30 de março de 2017
Figura 19. Nível médio do mar na ponte Mathias dia 23 de agosto de 2017 (em cm) 
Figura 20. Nível médio do mar na ponte Mathias dia 24 de agosto de 2017 (em cm) 40
Figura 21. Vazão, em $m^3/s$ , observada na bifurcação (azul), no Valo Grande (vermelho) e no Mathias (azulão), no dia 29 de março de 2017

Figura 22. Vazão, em $m^3/s$ , observada na bifurcação (azul), no Valo Grande (vermelho) e no Mathias (azulão), no dia 30 de março de 2017
Figura 23. Vazão em $m^3/s$ , observada na bifurcação (azul), no Valo Grande (vermelho) e no Mathias (azulão), no dia 23 de agosto de 2017 4
Figura 24. Vazão em $m^3/s$ , observada na bifurcação (azul), no Valo Grande (vermelho) e no Mathias (azulão), no dia 24 de agosto de 2017
Figura 25. Variação da salinidade (a), pH (b) e oxigênio dissolvido (c) no ponto Bifurcação no dia 29 de março de 2017
Figura 26. Variação do Silicato (a), Fosfato (b), Material em Suspensão (c) e Turbidez (d) no dia 29 de março de 2017 no ponto bifurcação 54
Figura 27. Variação da temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH no dia 29 de março de 2017 no ponto Mathias55
Figura 28. Variação do silicato (a), fosfato (b) dissolvidos, material em suspensão (c) e turbidez (d) no dia 29 de março de 2017 no ponto Mathias
Figura 29. Variação de temperatura (a), salinidade (b), oxigênio dissolvido (c) e pH (d) no dia 29 de março de 2017 no ponto Valo Grande5
Figura 30. Variação do silicato (a), fosfato (b), material em suspensão (c) e turbidez (d) no dia 29 de março no Valo Grande 59
Figura 31. Variação da temperatura (a), salinidade (b), pH (c) e oxigênio dissolvido (d) no ponto Bifurcação em 23 de agosto de 2017
Figura 32. Variação do fosfato (a), silicato dissolvidos (b) e material em suspensão (c) no ponto bifurcação no dia 23 de agosto de 2017 63
Figura 33. Variação da temperatura (a), salinidade (b), pH (c) e oxigênio dissolvido (d) no ponto Mathias no dia 23 de agosto de 201 65
Figura 34. Variação do fosfato (a), silicato dissolvidos (b) e material em suspensão (c) no ponto Mathias no dia 23 de agosto de 201766
Figura 35. Variação da temperatura (a), salinidade (b), pH (c) e oxigênio dissolvido (d) no ponto Valo Grande no dia 23 de agosto de 201767
Figura 36. Variação do fosfato (a), silicato dissolvidos (b) e material em suspensão (c) no ponto Valo Grande no dia 24 de agosto de 2017
Figura 37. Intensidade e direção das correntes no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 29 de março de 2017, às 4h (a) e 8h (b) obtido pelo modelo Delft3D®
Figura 38. Salinidade no complexo sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 29 de março de 2017, às 4h(a) e 8h(b) obtido pelo modelo Delft3D® 72

Figura 44. Salinidade no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 24 de agosto de 2017 às 10h (a) e 12h (b). obtido pelo modelo Delft3D® ......81

Figura 48. Salinidade do complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 24 de agosto de 2017 às 10h (a) e 12h (b) obtido pelo modelo Delft3D® ...... 87

Figura 49. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores do nível médio do mar (m) do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período correspondente a março de 2017 nos pontos 12 (a), 15 (b) e 16 (c) ......91

Figura 56. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores das componentes norte/sul de velocidade do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período correspondente a agosto de 2017 nos pontos 12 (a), 15 (b) e 16 (c) ......100

Figura 60. Concentração do silicato dissolvido  $(gSi/m^3)$  no mês de agosto de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bugio [superfície (a) e fundo (b)], Icapara [superfície (c) e fundo (d)], Cananeia 1 [superfície (e) e fundo (f)] e Trapandé [superfície (g) e fundo (h)] ......107

Figura 63. Concentração do fosfato dissolvido  $(gPO_4/m^3)$  no mês de agosto de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bifurcação [superfície (a) e

fundo (b)], Valo Grande [superfície (c) e fundo (d)], Mathias [superfície (e) e fundo (f)] e Ilha Comprida [superfície (g) e fundo (h)] .....110

Figura 66. Concentração da matéria inorgânica em suspensão  $(g/m^3)$  no mês de março de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Cananéia 1 [superfície (a) e fundo (b)], Trapandé [superfície (c) e fundo (d)], Bugio [superfície (e) e fundo (f)] e Icapara [superfície (g) e fundo (h)] ......113

Figura 67. Concentração da matéria inorgânica em suspensão  $(g/m^3)$  no mês de agosto de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bifurcação [superfície (a) e fundo (b)], Valo Grande [superfície (c) e fundo (d)], Mathias [superfície (e) e fundo (f)] e Ilha Comprida [superfície (g) e fundo (h)] ......114

# Lista de Tabelas

Tabela RMAE	1:	Classificação	dos	erros	de	acordo	com	a 28
Tabela 2.	Proces	sos e parâmetro	s consider	ados na m	nodelage	m		30
Tabela 3. modelo F	Localiz LOW	ação geográfica	dos ponto	s de moni	torament	o do model	o WAQ e	30
Tabela 4.	Coorde	enadas geográfic	as dos po	ntos para v	validação	o do modelo	wAQ	32
Tabela 5.	Estatís	tica das mediçõe	es de vazã	o no Rio R	libeira de	e Iguape ( <i>m</i>	2 <sup>3</sup> /s)	42
Tabela 6.	Porcer	ntagem da desca	rga líquida	i que vai p	ara cada	braço do ri	o Ribeira.	43
Tabela 7. março de	Dados 2017	físico e químicos	s da água	(superfície	e fundo	) na amostr	agem de	49
Tabela 8. 2017	Dados	hidrogeoquímico	os nos três	setores d	o Rio Rit	peira, em m	arço de	51
Tabela 9. 2017	Estatís	tica descritiva do	os dados fí	sicos e qu	ímicos d	as coletas o	de agosto	de 60
Tabela 10 de 2017 .	). Estat	ística descritiva d	los dados	hidrobioge	eoquímic	os das cole	tas de ago	osto 61
Tabela 1 <sup>°</sup> de 2017 .	1. Resu	ltados da validaç	ão do moc	delo hidrod	linâmico	no ponto 12	2 em març	ço 90
Tabela 12 de 2017 .	2. Resu	ltados da validaç	ão do moc	delo hidrod	linâmico	no ponto 18	5 em març	ço 90
Tabela 13 de 2017 .	3. Resu	ltados da validaç	ão do moc	delo hidrod	linâmico	no ponto 16	6 em març	ço 91
Tabela 14 de 2017 .	4. Valida	ação dos resultad	dos do mo	delo hidro	dinâmico	no ponto 1	2 em ago	sto 95
Tabela 15 de 2017 .	5. Valida	ação dos resultad	dos do mo	delo hidro	dinâmico	no ponto 1	5 em ago	sto 96
Tabela 16 de 2017 .	6. Valida	ação dos resultad	dos do mo	delo hidro	dinâmico	no ponto 1	6 em ago	sto 96
Tabela 17 que alcar	7. Porce içam o	entagem da conce setor sul do CEL	entração c CI	los elemer	ntos prov	enientes do	o Rio Ribe	ira 117
Tabela 18 estuarino	3. Valida -laguna	ação do silicato d r de Cananéia-Ig	lissolvido e uape (SP)	em março	de 2017	(gSi/m <sup>3</sup> ),	no comple	exo 118

Tabela 19. Validação do silicato dissolvido em agosto de 2017 ( $gSi/m^3$ ), r	no complexo
estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP)	118
Tabela 20. Validação do fosfato dissolvido $(gPO_4/m^3)$ , em março de 2017	$(gPO_4/m^3),$
no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP)	119

# Lista de Abreviações

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
CELCI	Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DELTARES	Nederland Instituut voor Nationale en Internationale Delta Vraagstukken
DGPS	Differential Global Positioning System
FLOW	Flow Module
IAGUSP	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geogragia e Estatística
IOUSP	Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
LABNUT	Laboratório de Nutrientes, Micronutrientes e Traços nos Oceanos
LABSIP	Laboratório de Simulação e Previsão Numérica
MASTER	Laboratório de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais
MATLAB	Matrix Laboratory
MIPS	Material Inorgânico Particulado em Suspensão
MOPS	Material Orgânico Particulado em Suspensão
MPS	Material Particulado em Suspensão
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OD	Oxigênio Dissolvido
Р	Fósforo
S	Salinidade
Т	Temperatura
рН	Potencial Hidrogeniônico
POM	Princeton Ocean Model

Si Silício

UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

WAQ Water Quality Module

# Lista de Equações

Equação 1: Cálculo do MPS	19
Equação 2: Cálculo do MIPS	19
Equação 3: Cálculo do MOPS	19
Equação 04: Validação pelo RMAE	.27
Equação 05: Validação pelo AMSE	. 28
Equação 06: Validação pelo RMS	28
Equação 07: Validação pelo Index of agrément	28
Equação 08: Validação a partir do coeficiente de Pearson	29

# 1. INTRODUÇÃO

A análise multidisciplinar de ambientes costeiros complexos como os estuários sempre foi um desafio para a comunidade científica, principalmente devido aos programas de pesquisa que são desenvolvidos em linhas específicas (MIRANDA *et al.*, 2012). Integrar o conhecimento físico ao biogeoquímico demanda uma metodologia adequada para a compreensão do sistema estuarino como um todo. Analisar o comportamento hidrodinâmico de um estuário e efeitos biogeoquímicos associados constitui o principal objetivo e desafio deste trabalho.

### **1.1 SISTEMAS ESTUARINOS**

Os estuários são sistemas costeiros extremamente complexos, que podem ser definidos de diversas maneiras, sempre com intuito de abranger as características e processos essenciais, assim como o contexto que o sistema está inserido (MIRANDA *et al.,* 2012). No contexto deste estudo pode-se usar a definição de Dionne (1963):

"O estuário é uma reentrância do mar, que atinge o vale de um rio até o limite de influência da maré, sendo geralmente subdividido em três setores: a) estuário inferior ou marinho, com ligação livre com o oceano aberto; b) estuário médio, sujeito à intensa mistura da água do mar com a água fluvial; c) um estuário superior ou fluvial, caracterizado por água doce mas sujeito à influência diária da maré."

Com uma salinidade variando de 0 a 35, os estuários são considerados ecossistemas costeiros transicionais onde os parâmetros físicos e químicos apresentam uma ampla variação espacial e temporal em pequena escala (LAM-HOAI *et al.,* 2006; ELLIOTT & QUINTINO, 2007; DAUVIN & RUELLET, 2009; ARAÚJO, 2017). Nestes ambientes a salinidade junto com o movimento da variação da maré são consideradas as principais forçantes e possui um papel fundamental na estrutura e características funcionais da biota.

Uma grande variedade de espécies procuram esses ambientes para se reproduzirem devido à alta concentração de matéria orgânica e nutrientes, por ser um local com águas calmas que absorvem o impacto das ondas da praia, por ter menor turbulência que os rios, além de oferecer um habitat estruturalmente complexo resultando em um aumento na taxa de sobrevivência, protegendo-os contra predadores (JENKINS & WHEATLEY, 1998; BECK *et al.*, 2001; BLOOMFIELD & GILLANDERS, 2005; ELLIOT & HEMINGWAY, 2008; SCHAFFLER *et al.*, 2013). De acordo com Beck *et al.* (2001) essas características fazem com que os estuários forneçam a inúmeras espécies 4 fatores que contribuem para o recrutamento de adultos: (1) maior abundância/densidade, (2) maior crescimento, (3) sobrevivência de juvenis e (4) contribuição para populações adultas, caracterizando este sistema como um berçário natural.

Os processos físicos, químicos, biológicos e geológicos nos estuários são extremamente complexos e agem conjuntamente no sistema, tornando-os importantes reatores biogeoquímicos e renovadores de águas e, consequentemente, muito vulneráveis a alterações da qualidade da água (BRAGA, 1995; GESAMP, 1995; BIANCHI, 2007; MIRANDA *et al.*, 2012).

Por serem locais abrigados, os estuários são propícios para a instalação de portos, atividade pesqueira e turismo, constituem uma importante via de acesso para o interior do continente, possuem fácil captação de água doce nas suas proximidades e tem capacidade natural de renovar suas águas periódica e sistematicamente, devido à influência da maré. Todas essas características fazem com que os estuários sejam regiões economicamente viáveis para o desenvolvimento, sendo que 60% das grandes cidades do mundo estão localizadas nesses sistemas, representando uma das regiões mais valiosas do nosso Planeta (GEOPHYSICS STUDY COMMITTEE, 1977).

Mesmo sendo um ambiente de grande importância como ecossistema e também para o homem, os estuários foram negligenciados nas pesquisas por muitos anos tanto pelos limnologistas que não tinham interesse devido ao efeito da salinidade e marés, como pelos cientistas marinhos que tinham maior preocupação com fenômenos oceânicos. No entanto, nas últimas quatro décadas os estuários têm sido reconhecidos como ecossistemas próprios, aumentando assim as pesquisas científicas nas regiões estuarinas (ELLIOTT & WHITFIELD, 2011).

A partir destes estudos tem-se visto que a intensa utilização do solo com a agricultura, pavimentação, construção, alteração nos cursos fluviais e obras portuárias intensificam a concentração natural de sedimentos ao longo dos cursos d'água devido ao processo erosivo, reduzindo a integridade desses ecossistemas (DE JONGE *et al.*, 2002; SMITH *et al.*, 2003). Esse processo pode ocasionar uma sedimentação no estuário que, ao preenchê-lo gradualmente torna-se uma ameaça, expulsando a água do mar do sistema, a qual é essencial na sua formação, podendo transformar o sistema em um rio forçado por maré. Além disso, a entrada de substâncias estranhas, associada a essa sedimentação tem um potencial de encurtar a vida geológica e a saúde biológica do estuário (KENNISH, 2002; SEITZINGER *et al.*, 2005; STATHAM, 2012; MIRANDA *et al.*, 2012; MOORE *et al.*, 2013).

A magnitude do impacto da poluição nos ambientes marinhos irá variar de acordo com as características da hidrodinâmica estuarina, como o grau de conectividade com o ambiente marinho, a abertura da barra e o tamanho do rio assim como o seu fluxo que irão influenciar no tempo de residência da água, na temperatura, taxa de sedimentação e carga de poluição no estuário. A poluição estuarina pode modificar a composição dos organismos, alterando as condições ambientais. (MITCHELL et al., 1999; MIRANDA *et al.*, 2012).

### **1.2 INDICADORES DE APORTE TERRÍGENO**

O material rochoso proveniente da crosta continental sofre processos de intemperismo ao longo do tempo. Este intemperismo pode ser físico ou químico. A segregação e fragmentação das rochas, gerando a separação dos grãos minerais, é feita pelo intemperismo físico. Esse processo é consequência de variações de temperatura, evaporação e congelamento da água inserida no material rochoso entre outros fatores em que não há mudança química do mineral. Por sua vez, o intemperismo químico irá envolver a alteração química dos minerais devido à dissolução, hidratação, hidrólise, complexação e reações de oxirredução. Os processos de intemperismo geram um manto de alteração *in situ*. Este material está sujeito ao transporte, o que faz dele uma partícula

sedimentar (FAIRBRIDGE, 1968; TOLEDO; OLIVEIRA; MELFI, 2009; BIANCHI, 2007; CHRISTOPHERSON, 2012; HALL *et al.*, 2012). O sedimento pode ser carreado por grandes distâncias, onde neste processo seu tamanho pode ser diminuído e sua composição mineralógica alterada.

O transporte de partículas de sedimentos em fluxos de água pode ser em suspensão ou no substrato, onde o modo de transporte irá depender do tamanho do material e das condições do fluxo. Em teoria há três modos de transporte: (1) rolamento ou deslizamento, (2) saltamento e (3) partícula em suspensão. Quando a velocidade do fluxo excede o valor crítico para o início do movimento a partícula se move por rolamento ou deslizamento. A medida que o valor desta velocidade aumenta temos esta partícula se movendo em pequenos saltos e posteriormente podendo se mover juntamente ao fluxo (VAN RIJN, 1984).

Em regiões estuarinas o fluxo do rio que deságua no sistema é restrito a um canal, resultando em velocidades razoavelmente altas e turbulentas. Esta característica faz com que os rios sejam mais eficientes no transporte de sedimentos que os estuários e oceanos. Rios mais largos tem turbulência e velocidade suficientes para transportar partículas de diferentes tamanhos. Partículas com até 2  $\mu$ m são carreadas uniformemente na coluna d'água; já as com tamanhos em torno de 20  $\mu$ m (silte) tem uma tendência maior de estar em regiões mais profundas na coluna enquanto que partículas de 200  $\mu$ m (areia fina) são transportadas principalmente no quarto final da coluna d'água. As partículas que estão em torno de 2000  $\mu$ m (areia grossa) são transportadas no fundo pelo substrato (GIBBS, 1977).

Os estuários são reconhecidos como regiões de agradação de sedimentos. Ele funciona como um filtro dos materiais continentais provenientes do rio, tendo sua eficiência dependente do tamanho do estuário e da força dos movimentos de circulação (SCHUBEL; CARTER, 1984). A circulação de água residual estuarina tende a garantir que sedimentos finos fiquem retidos na zona de máxima turbidez estuarina. Estes sedimentos finos também podem ser transportados em suspensão onde assume-se que a circulação residual destes sedimentos é similar a circulação residual da água estuarina (KIRBY; PARKER, 1984).

É de grande importância entender o fluxo de sedimentos em suspensão continente-oceano e sua retenção em regiões estuarinas, tanto para analisar a

dinâmica de sedimentação como para avaliar potenciais riscos de poluição, métodos de dragagem compatíveis com os processos naturais e aprender a desviar ou diminuir a turbidez prejudicial nas regiões de colheita de frutos do mar (Gibbs, 1984). Os comportamentos de modelos de material em suspensão são conceitos desenvolvidos de forma teórica, laboratorial e em trabalho de campo. A maior parte dos modelos consistem em 4 fases distintas de comportamento: erosão, transporte, deposição e consolidação (KIRBY; PARKER, 1984).

Como forma de avaliar a dispersão de aporte terrígeno no sistema podese usar além do material em suspensão, indicadores biogeoquímicos como o silício (Si) e fósforo (P) dissolvidos.

O elemento silício (Si) constitui 28% da crosta terrestre e é o segundo elemento mais abundante da Terra (WEDEPOHL, 1995). Em sistemas aquáticos o Si é liberado através do intemperismo químico e físico, lixiviação do solo, erosão natural e antrópica. É transportado ao meio aquático tanto na fase particulada (> 0,45  $\mu$ m) nas formas de sílica litogênica (LSi) ou sílica biogênica (BSi) quanto na fase dissolvida na forma de silicato dissolvido (DSi). O aumento da sua solubilidade é diretamente proporcional ao aumento de temperatura e pH da água. Porém o efeito inverso ocorre na presença de agentes quelantes e alguns metais, que costuma ter em excesso em ambientes poluídos (BERNER, 1992; NELSON *et al.*, 1995; ITTEKKOT, 2006; BASTOS, 2014).

Assim como o Si, o fósforo (P) também tem sua origem proveniente da crosta continental com abundância de 0,1% do total dos elementos sendo 95% das formas minerais representadas pela apatita (BIANCHI, 2007). Este elemento está disponível principalmente na forma de fosfatos que podem ser insolúveis ou solúveis, não sendo encontrado em sua forma elementar. Sua entrada no sistema aquático é proveniente do intemperismo das rochas liberando íon fosfato, erosão natural e antrópica, como ocupação indevida do solo, incremento das descargas de fontes domésticas, industriais e agrícolas (STRICKLAND & PARSONS, 1968; PAGLIOSA *et al.*, 2005; SCIGLIANO, 2016).

Ao entrarem nos estuários, tanto o material dissolvido quanto o particulado estão sujeitos a drásticas modificações devido a intensa mistura da água marinha e fluvial, o que ocasiona um forte gradiente de forças iônicas, que afeta a concentração de ambos. Por ser um ambiente altamente dinâmico há uma grande variabilidade na concentração e composição do material particulado suspenso devido às variações de salinidade, pH e condições redox, o que resulta em processos de adsorção-dessorção, absorção, precipitação-dissolução, complexação e interações biológicas. Estes processos são essenciais no controle e particionamento de espécies químicas em ambientes estuarinos (GIBBS, 1967; GIBBS, 1973; FÖRSTNER, PATCHINEELAM, 1980; FÖRSTNER, SALOMONS, 1980; MARTIN, WHITFIELD, 1983; LACERDA, 1983; BASKARAN, SANTSCHI, 1993; HERMAN, HEIP, 1999; SHOLKOVITZ, SZYMCZAK, 2000; FAIN *et al.*, 2001; TURNER, MILLWARD, 2002).

O P e Si na forma dissolvida, presente em águas superficiais, dentro da camada eufótica possuem papel como nutrientes principais. Porém, quando seu aporte ao sistema hídrico é muito grande, sua remoção por processos biológicos é imperceptível e esses elementos, nas formas dissolvidas e particuladas acabam evidenciando os processos de aporte, transporte e espalhamento no sistema, funcionando como indicadores dos mesmos, sendo úteis nos estudos de modelagem para avaliar a dispersão desse material.

### **1.3 A MODELAGEM NUMÉRICA**

Um modelo numérico é a forma representativa de algum objeto ou sistema em uma linguagem computacional, com o objetivo de entender seu comportamento perante diferentes entradas e forçantes (FRAGOSO JÚNIOR; FERREIRA & MARQUES, 2009).

De acordo com Sampaio (2011), os modelos são ferramentas integradoras, que servem para se ter uma visão dinâmica dos processos que ocorrem em ambientes altamente complexos, sendo utilizados na navegação, controle de dragagens, análise de descarga de efluentes por emissários submarinos, entre outros.

A modelagem numérica não só permite resolver equações que descrevem fenômenos físicos, mas também se apresenta como uma ferramenta para experimentos relativos aos processos que interagem e são observados nos oceanos (HARARI, 1989).

Os modelos numéricos hidrodinâmicos podem ser classificados como gerais ou específicos. Os modelos gerais sintetizam diversos processos físicos de maneira conjunta e adotam hipóteses simplificadoras e parametrizações dos processos de menor escala. Um exemplo de modelo geral seria um modelo de circulação geral dos oceanos, que irá considerar de maneira conjunta todas as componentes da circulação, como os ventos, marés, variações de densidade devido a temperatura e salinidade. Já os modelos específicos são caracterizados por estudar os fenômenos de forma individual, isolando-os de outros processos. Pode-se usar como exemplo um modelo de circulação de maré, que irá desprezar os ventos, a densidade e considerar apenas as marés como componente da circulação (HARARI, 2015).

Nas análises de dispersão de aporte terrígeno e nutrientes dissolvidos, os modelos servem como excelentes ferramentas para avaliar o transporte ao longo do tempo, de forma tridimensional e com alta precisão, como visto em diversos trabalhos recentes (HU et al., 2009; LOS *et al.*, 2014; GUO *et al.*, 2015; ZHANG, 2015; YANG, 2016; XU *et al.*, 2017).

## 2. OBJETIVO GERAL

O presente estudo visa contribuir à avaliação de impacto ambiental, com o uso da modelagem numérica e indicadores biogeoquímicos sob as formas dissolvida e particulada, introduzidos no sistema estuarino-lagunar de Cananeialguape, composto por uma porção estuarina bastante alterada por intervenções humanas e outra mais preservada, de modo a evidenciar processos naturais e antrópicos de uma forma dinâmica.

## 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter dados recentes e implementar informações ambientais para alimentar a modelagem a ser aplicada no complexo estuarino-lagunar em estudo, destacando a obtenção de dados de batimetria, os quais compõem uma base padronizada para o desenvolvimento da modelagem.
- Utilizar o software Delft3D® em alta resolução, que oferece possibilidade de simulações das condições ambientais em sistemas costeiros, com a finalidade de auxiliar na gestão e preservação ambiental, bem como em medidas de mitigação em caso de acidentes ambientais.
- Aperfeiçoar os dados de vazão em três segmentos do baixo rio Ribeira de Iguape (setor do rio antes da bifurcação para o Valo Grande, no Valo Grande e no leito normal em direção ao mar).
- Fazer uso de indicadores biogeoquímicos em diferentes partições, dissolvida (Si e P) e particulada (MPS), como ferramenta para avaliação de impactos por aportes terrígenos, com aplicação no modelo numérico Delft3D®, ajustado ao complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP).
- Estabelecer as forçantes hidrodinâmicas e as fontes de substâncias, bem como seus graus de atuação em cada subárea de estudo dentro do sistema, de modo a contribuir nos ajustes da modelagem.
- Avaliar a efetiva contribuição que a modelagem de parâmetros biogeoquímicos pode fornecer à gestão ambiental e às previsões de alterações em toda a região de estudo.

## 3. ÁREA DE ESTUDO

### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO GEOGRÁFICA

O complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (CELCI) está localizado no extremo sul do estado de São Paulo, fazendo divisa com o estado do Paraná entre as latitudes de 24°50 a 25°40' S e longitudes de 47°20' a 48°20' W.

A região compreende parte do continente e abrange quatro ilhas: Cananéia, Cardoso, Comprida e Iguape que são separadas por sistemas de canais lagunares e rios: Canal de Ararapira, Baía de Trapandé, Mar de Cubatão, Mar de Cananéia, Mar Pequeno, Valo Grande e Rio Ribeira de Iguape. O sistema possui 3 conexões com o oceano: uma ao norte, a barra do Icapara e duas ao sul, a barra de Cananéia e do Ararapira.

A fisiografia da região é caracterizada por uma extensa (100 km) e larga (40-50 km) planície costeira, recortada por longos (75 km) e estreitos canais (0,2-3 km) aproximadamente paralelos à costa, separados do oceano pela Ilha Comprida e tendo como limites ao norte (Serra de Iguape) e ao sul (Ilha do Cardoso) pontões de embasamento cristalino (BARCELLOS *et al.*, 2005).

O CELCI faz parte do Mosaico de Unidades de Conservação do Lagamar, reconhecido como Zona Núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica desde 1992 e como Sítio do Patrimônio Natural da Humanidade desde 1999 pela UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) (UNESCO, 2011).



Figura 1. Complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (de acordo com Bonetti e Miranda 1997).

### 3.2. A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE

A Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira ocupa as porções sudeste do estado de São Paulo e leste do Paraná, entre as latitudes 23°50' e 25°30' S e longitudes de 46°50' e 50° 00' W. Com uma área total de 24980 km2, 62% está dentro do estado de São Paulo e 38% no estado do Paraná (DAEE, 1998).

O Rio Ribeira é o único rio na região que deságua no oceano. Com uma extensão de 470 km desde sua nascente localizada na Serra de Paranapiacaba até sua foz na cidade de Iguape, o desnível é de mais de 90 metros (CBH - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL, 2007).

Próximo à jusante do rio, na região de Iguape, parte do fluxo do Rio Ribeira foi desviado para o mar Pequeno devido à construção do canal artificial do Valo Grande no período do Brasil Império, com a função de facilitar o transporte de cargas até o porto localizado no Mar Pequeno que era responsável pelo escoamento dos produtos agrícolas e minerais produzidos no continente (MORAES, 1997).

Escavado em planície arenosa, o canal tinha inicialmente 5 metros de largura, porém o carreamento do material terrestre do seu leito e de suas margens, principalmente em circunstâncias de inundação do rio alargou o canal, iniciando o processo de assoreamento do porto e alterando as características físicas, químicas e ecológicas do mar Pequeno. Em 1978 com mais de 250 metros de largura e 8 metros de profundidade o canal foi fechado através da construção da barragem. Essa barragem foi fechada e reaberta seguidas vezes, e desde 1995 encontra-se aberta (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL, 2008b). Atualmente estima-se que a maior parte do fluxo do Rio Ribeira é desviada para o mar Pequeno através do Valo Grande (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL, 2008b).

Segundo Bérgamo (2000) a vazão média do Rio Ribeira de Iguape está em torno de 770  $m^3/s$ , com média mensal máxima de 1741  $m^3/s$  em março e mínima de 101  $m^3/s$  em agosto. Este foi um dos mais recentes autores a divulgar a vazão estimada do Rio Ribeira de Iguape.

#### 3.3 CLIMA

O clima do litoral sul de São Paulo é caracterizado como tropical úmido, com chuvas intrinsicamente relacionadas com as estações do ano, onde os verões são chuvosos e os invernos secos (CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO, 1999).

A região está sob a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é caracterizada por uma faixa semipermanente, com direção NW-SE, de condensação e nebulosidade, que separa as regiões de domínio de massas de ar equatoriais e tropicais ao norte das dominadas por massas tropicais e polares ao sul (SATYAMURTI *et al.*, 1998).

A região de Iguape tem temperatura média anual na ordem de 21,5°C, com precipitação média anual de 1.653 mm. A temperatura média mensal no inverno é pouco inferior a 18°C e no verão não ultrapassa os 25°C (BÉRGAMO, 2000).

Em Cananeia o valor médio anual da temperatura do ar é de 21,4 °C, onde em fevereiro ocorre a média mensal mais alta (25,2°C) e em julho a mais baixa (17,7°C) (CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO, 1999).

### 3.4 CIRCULAÇÃO

Estudos de Miyao (1977) mostraram que a circulação na região estuarina de Cananéia-Iguape é forçada principalmente pela maré astronômica que entra pelas barras de Icapara e de Cananéia. No caso de Cananéia foi indicada uma maior entrada, devido à maior profundidade da Barra; em Icapara há uma entrada da maré menos acentuada devido ao assoreamento da região. Entretanto, há poucos dados sobre o assoreamento e entrada de água pela Barra de Icapara.

Este estuário foi classificado, no período em que o Valo Grande estava fechado, como um canal raso, fracamente estratificado, forçado por marés semidiurnas com amplitudes médias de 1,2 m na sizígia e 0,25 m na quadratura (MESQUITA, HARARI, 1983; MIYAO *et al.*, 1986; MIYAO, HARARI, 1989). Depois da abertura do canal e o consequente aumento da introdução de água doce, o norte do sistema estuarino passou a ser caracterizado como parcialmente misturado e altamente estratificado (Miranda *et. al*, 1995; Bérgamo, 2000).

As correntes na região estuarina apresentam assimetria entre as camadas de superfície e de fundo, considerando os instantes de reversão de maré, sendo que as correntes são mais intensas na superfície na maré vazante, e no fundo durante a maré enchente (MIYAO, 1977; MIRANDA *et al.*, 1995).

### **3.5 APORTE TERRÍGENO**

Após a construção do Valo Grande houve um grande carreamento de material terrestre do seu leito e de suas margens, escavando e trazendo uma grande quantidade de materiais em suspensão e sedimento (TESSLER, 2001), iniciando um processo de assoreamento em toda a região que se estende até os presentes dias.

A descarga de sólidos proveniente do Valo Grande indo diretamente ao mar Pequeno é estimada em 1.000.000  $m^3/ano$  (GEOBRÁS, 1966). Essa quantidade de material sendo transportando também contribui para um aumento do aporte nutrientes e contaminantes para o sistema (CHIOZZINI *et al.*, 2008).

Trabalhos mais recentes na região de estudo mostram valores de fosfato dissolvido, ao norte do sistema, variando de 1,06 mg/L a 3,0 mg/L (OLIVEIRA *et al.* 2006) e valores de silicato dissolvido variando de 113,67 e 193,42  $\mu$ M (BRAGA, 1995; BASTOS, 2014; BRAGA & CHIOZZINI, 2008; ESCHRIQUE, 2011).

#### 3.6 CONTEXTO SÓCIO-ECONÔMICO

Os primeiros habitantes da região, chamados de sambaquieiros, habitaram no período de 8 a 12 mil anos atrás. Registros arqueológicos mostram que estes povos se alimentavam de recursos marinhos como peixes, ostras e mariscos (AB'SÁBER, BESNARD, 1953; COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL, 2008b). Tempos depois, tribos indígenas se estabeleceram na porção litorânea e ao longo dos rios. Devido a chegada da esquadra do navegador Martim Afonso de Souza à região, o território foi tomado pela coroa portuguesa (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL, 2008b).

A partir do período colonial, vilarejos começaram a se formar na costa litorânea de Iguape e Cananéia, começando a exercer atividades na agricultura e na pesca. A partir do descobrimento de jazidas de ouro na serra de Paranapiacaba o desenvolvimento disparou por um curto período de tempo onde numerosos estaleiros se estabeleceram no local, formando uma importante indústria de construção naval. No início do século XVIII, a economia do ciclo do ouro entrou em declínio, devido a descoberta de ouro em Minas Gerais, que fez com que os mineradores se deslocassem da região litorânea (GEOBRÁS, 1966; DIEGUES, 1973). Com isso a região voltou a se especializar na agricultura, principalmente em arroz e sua produtividade e desenvolvimento permaneceu alta até meados do século XIX, o que foi um dos motivos para abertura do canal do Valo Grande, interligando o rio ribeira de Iguape ao Mar Pequeno para facilitar o escoamento da mercadoria (DIEGUES, 1973). De acordo com Braga (1998) a

abolição da escravatura provocou um encarecimento na produção dos produtos, provocando o início do declínio deste ciclo econômico.

No início do século XX o desenvolvimento nas plantações de banana e chá começaram a ganhar destaque na região devido ao trabalho de imigrantes japoneses. Atualmente essa produção está nas mãos de pequenos produtores e é a principal atividade econômica da região do Vale do Ribeira. Na parte litorânea a pesca exerce um papel fundamental na economia das comunidades locais (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL, 2008b).

Além da agricultura e da pesca, o turismo é uma forte fonte de renda para a região principalmente em alta temporada e épocas comemorativas das cidades, como a festa da Tainha em Cananeia e as festas do Bom Jesus, em Iguape que é tradição da cidade desde o século XVIII (GEOBRÁS, 1966).

O município de Cananéia, ao sul do sistema, possui 12.226 habitantes, onde 10.436 estão em área urbana. A cidade tem é uma área total de 1.243  $km^2$  e densidade demográfica de 9,84  $hab. km^{-2}$ . Já o município de Iguape, ao norte do sistema, possui 28.841 habitantes, onde 24.687 moram em áreas urbanas. Possui uma área total de 1.977  $km^2$  e densidade demográfica de 14,59  $hab. km^{-2}$ , sendo o maior município do estado de São Paulo, abrigando a maior área remanescente da Mata Atlântica no país (IBGE, 2011).

A cidade de Ilha Comprida possui 9.025 habitantes, sendo que 100% dos residentes são de área urbana. Possui área total de 188  $km^2$  e densidade demográfica de 47,9  $hab.km^{-2}$  (IBGE, 2011).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS

### 4.1.1 PLUVIOSIDADE E TEMPERATURA DO AR

Os dados de temperatura do ar e pluviosidade foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em <u>www.inmet.gov.br/</u> acessado dos dias 28 de outubro a 20 de novembro de 2017.

### 4.1.2 MARÉS

As previsões fornecidas pela Tábua de marés do IOUSP (<u>www.mares.io.usp/tabua</u>) foram utilizados para a programação dos trabalhos de campo. Os dados são produzidos pelo Laboratório de Processos Temporais e Oceânicos MAPTOLAB/IOUSP.

### 4.1.3 NÍVEL DO MAR

Durante o trabalho de campo, para a correção dos dados de vazão, foi medido o nível do mar em diversos pontos de amostragem, com uso de uma régua e um fio de prumo, pelos técnicos do Laboratório de Instrumentação Oceanográfica (Lio-USP).

### 4.2. CARACTERIZAÇÃO DA COLUNA DE ÁGUA

### 4.2.1. AMOSTRAGEM

A amostragem no sistema foi realizada no verão, nos períodos de 27 a 31 de março de 2017, e no inverno, dos dias 21 a 25 de agosto de 2017. Para complementar os dados de batimetria ocorreu uma saída de campo nos dias 17 a 20 de outubro de 2017.

A embarcação Albacora, 3 barcos de alumínio tipo "chatinha" e um *jet ski* do Laboratório de Dinâmica Costeira (LDC) do Instituto Oceanográfico da USP foram utilizados para aquisição de dados e amostras de água. Para execução de parte das análises químicas e tratamento das amostras, foi utilizada a estrutura da base Sul de pesquisa "Dr. João de Paiva Carvalho" do IOUSP localizada em
Cananéia e também a estrutura do Desenvolvimento Rodoviário S/A (DERSA) em Iguape. As demais análises químicas ocorreram no Laboratório de Biogeoquímica de nutrientes, micronutrientes e traços nos oceanos (LABNUT-IOUSP).

Neste estudo a coleta de amostras foram realizadas na região norte do sistema, em setores discriminados a seguir (Fig. 2).

Os setores são:

i) Rio Ribeira de Iguape (antes da bifurcação do rio em Iguape);

*ii)* Valo Grande;

*iii)* **Rio Ribeira de Iguape** (após a bifurcação, leito natural do Rio em direção ao mar) aqui também chamado de **Mathias**, devido a ponte que está localizada neste setor;

As coletas foram feitas em um ciclo de maré (12 horas), em um intervalo de duas horas entre as amostragens, simultaneamente nos três setores acima, na superfície e no fundo.

Os parâmetros hidroquímicos (oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico, salinidade, material particulado em suspensão, fósforo e silício inorgânico) foram coletados com garrafas tipo van Dorn.



Figura 2. Pontos da amostragem nos campos (Google Earth acesso: 20/10/2017).

#### 4.2.2 TEMPERATURA DA ÁGUA

Para a determinação da temperatura da água *in situ* foi utilizado o termômetro digital, com precisão de 0,01 °C.

#### 4.2.3 SALINIDADE

As alíquotas para determinar salinidade foram coletadas diretamente da garrafa de van Dorn, em frascos de borosilicato âmbar, totalmente preenchidos e fechados hermeticamente por uma tampa rosqueável e conservadas ao abrigo da luz e em local fresco até o momento da análise. A salinidade foi determinada pelo método indutivo a partir do salinômetro da marca Beckman®, modelo RS-10 que possui uma precisão de  $\pm$  0,001. O equipamento foi calibrado com o material de referência de água do mar padrão, IAPSO *Ocean Scientific International*®, a partir do método descrito por Grasshoff *et al.* (1999). Os cálculos para conversão da condutividade em salinidade foram feitos de acordo com as equações descritas por Fofonoff e Millard (1983).

#### 4.2.4. OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

O Oxigênio Dissolvido (OD) é o primeiro parâmetro a ser coletado da garrafa amostradora com o uso de um redutor de fluxo para evitar a formação de bolhas. A amostra de água foi coletada com garrafa do tipo van Dorn na embarcação pequena e retirada com um redutor de fluxo para evitar a formação de bolhas e consequentemente contaminar a amostra. Foram utilizados frascos em borosilicato com tampas mergulhadoras de junta esmerilhada, que possuem o volume interno previamente calibrados. As amostras foram fixadas com 1,0 mL de cloreto de manganês II e 1,0 mL de iodeto de potássio alcalino a partir de dispenseres com prolongadores que introduzem os reagentes abaixo do filme de água, sendo tampadas, agitadas e conservadas em local escuro e fresco até o momento da análise. As concentrações de oxigênio dissolvido foram determinadas por titulação iodométrica desenvolvido por Winkler de 1888, descrito por Grasshoff et. al (1999) utilizando o titulador automático Titrando-Metrohm®. O método apresenta precisão de 0,01  $cm^3 dm^{-3}$  para concentrações

de até 2  $cm^3 dm^{-3} \pm 0,02 \ cm^3 dm^{-3}$  (AMNIOT; CHAUSSEPIED, 1983; GRASSHOFF *et al.*, 1999). Os cálculos da porcentagem de saturação de OD foram realizados com auxílios de tabelas e fórmulas descritas em Aminot e Chaussepied (1983).

## 4.2.5. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Logo após a coleta de amostra para determinação do oxigênio dissolvido, foi amostrado uma alíquota para a determinação do pH, obedecendo os mesmos procedimentos de amostragem para o oxigênio dissolvido. As amostras foram armazenadas em frascos de borosilicato de boca larga e juntas esmerilhadas, sem adição de reagentes. A análise foi feita antes de 8 horas da amostragem por meio de um potenciômetro portátil marca Thermo Orion® modelo P-210 que possui um eletrodo de vidro e um termômetro, com precisão de  $\pm$  0,001. Os valores foram corrigidos com base na diferença da temperatura da amostra no período da coleta e no momento da análise, de acordo com Aminot e Chaussepied (1983).

### 4.2.6 MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

A determinação do material particulado em suspensão (MPS) seguiu o método gravimétrico descrito por Strickland e Parsons (1968). Coletou-se 2 litros de água diretamente da garrafa de van Dorn em frasco de polietileno, o qual foi armazenado sob refrigeração e ao abrigo da luz até o momento em que foram filtradas com uso de bomba de vácuo, mantendo o máximo de 10 mm de mercúrio, utilizando-se membranas de microfibra de borosilicato da marca Whatman® GF/F com 0,45  $\mu m$  de porosidade nominal e 47 mm de diâmetro, previamente calcinadas em mufla a 450 °C por 4 horas e depois pesados em balança analítica (m1). Os filtros obtidos na filtração das amostras foram armazenados e colocados num dessecador com sílica gel em um freezer a -20°C até o momento em que foram levados a uma estufa e secos a 60°C, resfriados em dessecador e depois pesados novamente (m2). Com isso o valor do MPS é obtido pela equação 1:

$$MPS = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Equação 1: Cálculo do MPS

Onde:

MPS - concentração de material particulado em suspensão;

 $m_1$  - Massa do filtro novo e seco;

 $m_2$  - Massa do filtro seco após a filtração, com o material retido;

V - Volume de amostra filtrado (L);

Após este procedimento os filtros foram calcinados a 450 °C por 4 horas e colocados no dessecador até atingir a temperatura ambiente para serem novamente pesados, chegando na  $m_3$ . Assim podemos obter a massa de material inorgânico particulado em suspensão (equação 2) e do material orgânico particulado em suspensão (equação 3):

$$\mathsf{MIPS} = \frac{m_3 - m_1}{V}$$

Equação 2: Cálculo do MIPS

$$MOPS = \frac{m_2 - m_3}{V}$$

Equação 3: Cálculo do MOPS

Onde:

MIPS - concentração de material inorgânico particulado em suspensão; MOPS - concentração de material orgânico particulado em suspensão;  $m_1$  - Massa do filtro novo e seco;  $m_2$  - Massa do filtro seco após a filtração, com o material retido;  $m_3$  - Massa do filtro após a calcinação;

V - Volume de amostra filtrado;

As massas  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  foram obtidas em uma balança analítica com 0,1 mg de precisão.

# 4.2.7 FÓSFORO INORGÂNICO DISSOLVIDO

As amostras para determinação do fosfato, principal forma de PID, foram obtidas a partir da água filtrada para MPS. As concentrações de fósforo inorgânico dissolvido foram determinadas de acordo com a técnica espectrofotométrica descrita em Grasshoff *et al.* (1999). As absorbâncias foram

lidas no espectrofotômetro Thermo Scientific® Evolution 201, em 880 nm, apresentando precisão de  $\pm$  0,02 µmol L<sup>-1</sup> P- PO<sub>4</sub><sup>3</sup>.

# 4.2.8 SILÍCIO INORGÂNICO DISSOLVIDO (SID)

Os teores de silicato dissolvido, a principal forma de SID nas amostras de água, foram determinados segundo o método descrito por Grasshoff *et al.* (1999), que se baseia na formação do ácido sílico-molíbdico, quando a amostra é tratada com solução de molibdato. Após 5 minutos da adição do molibdato, a amostra é tratada com ácido oxálico agitada e após 1 minuto é adicionado ácido ascórbico, que provoca a redução do silicato, formando um composto azul. É necessário o acréscimo de ácido oxálico antes do redutor, para impedir a interferência dos íons fosfato. Absorbância foi medida em 810 nm, utilizando espectrofotômetro Genesis2®. O limite de detecção do método em cubetas de 1 cm de trajeto óptico é de 0,1  $\mu mol/L$  e apresenta intervalo de confiança de 95%.

#### 4.3. VAZÃO

As medidas utilizadas para o cálculo de vazão foram obtidas com o uso do ADCP da SonTek® de 500 khz, durante um ciclo completo de maré, em 3 pontos estabelecidos (antes da bifurcação, no Valo Grande e na ponte Mathias). Os dados registrados pelo ADCP correspondem à soma da vazão do rio mais a vazão da maré. Para retirar o efeito da maré, foi feito um tratamento que consiste na média dos valores obtidos em um ciclo completo de maré (Fig. 2).

#### 4.4. BATIMETRIA

O levantamento batimétrico foi realizado usando um ecobatímetro da marca *Garmin 526*s acoplado a um *jet ski* e numa chatinha. A correção dos dados obtidos foi feita com o DGPS *Trimble 5700 LT*.

O espaçamento da malha batimétrica aplicada no trecho do rio foi de 90 a 100 metros, enquanto que no estuário a malha variou entre 200 e 400 metros.

Para a correção dos dados foram marcados 4 pontos com o DGPS:

1. Valo Grande (- 24° 42' 04.2217" S; - 47°34'02.96903" W)

2. Ponte Mathias (-24°38'09.49156" S; -47°30'06.67595" W)

- 3. Toca do Bugio (-24°41'23.73076" S; -47°30'59.13847" W)
- Base de pesquisa Dr. João de Paiva Carvalho (-25° 0.949'S; 47° 55.580'W)

#### 4.5 MODELO Delft3D®

O Delft3D® é um modelo de acesso livre desenvolvido pela *Netherland Instituut voor Nationale en Internationale Delta Vraagstukken* (DELTARES) que é amplamente usado para simulações numéricas, determinando variações espaço-temporais e interações de fenômenos hidrodinâmicos com a ecologia, dispersão de materiais e sedimentos, em ambientes naturais (principalmente em regiões costeiras, como praias, estuários e rios) e também em canais artificiais (como portos e docas) (Yang, 2016). O modelo possui seis módulos: hidrodinâmico, morfológico, ondas, qualidade da água, ecológico e rastreamento de partículas (DELTARES, 2013a).

#### 4.5.1. AQUISIÇÃO DOS DADOS

#### 4.5.1.1. GRADE

Ao utilizar o modelo Delft3D foi implantada uma grade computacional em coordenadas esféricas (graus) para cobrir a região de interesse. Foi criada uma grade regular tipo C de Arakawa (Fig. 3), adequada para representar os gradientes de elevação e os divergentes de velocidade na área de interesse (MESINGER, ARAKAWA, 1976; HARARI, 2015).

A grade possui 217 por 1071 células, sendo inclinada 40° no sentido antihorário, tendo espaçamento horizontal variando de 50 m dentro do sistema estuarino a 1 km em direção ao mar aberto (Fig. 4); na vertical foram adotadas 5 camadas sigma.

Como a grade teve um número muito grande de células (232.407 células) só foi possível fazer processamentos em 2D. Para aplicar o modelo 3D, a grade foi diminuída, no número de células e na resolução adotada nas regiões de menor interesse deste estudo, resultando em uma grade 237 por 793 células (total de 187.941 células) (Fig. 5).



Figura 3. Grade C de Arakawa (Fonte: Modificado de Harari, 2015).



Figura 4. Grade computacional criada para as simulações hidrodinâmicas, utilizada no modelo 2D.



Figura 5. Grade computacional criada para as simulações hidrodinâmicas em 3D.

#### 4.5.1.2 BATIMETRIA

Além dos dados batimétricos coletados no campo, foram utilizados os dados registrados em folhas de bordo disponibilizados pelo LDC (Laboratório de Dinâmica Costeira).

O modelo DELFT3D possui o aplicativo QUICKIN que é utilizado para geração, manipulação e interpolação de variáveis com dependência no espaço, como a batimetria (PEREIRA, 2003). A partir desse programa foi possível gerar a batimetria para a grade, a partir dos dados já disponibilizados.

Como os dados batimétricos obtidos possuem uma resolução menor que a grade construída, foi utilizado o método triangular para interpolação, onde uma rede de triangulação é adotada, de modo que os vértices sejam os valores amostrais e os lados dos triângulos tenham o menor comprimento possível, visando se atingir uma boa resolução dos valores interpolados (Fig. 6).

Na parte da grade que corresponde à região mais ao norte do Rio Ribeira de Iguape foi estipulado um valor constante de 8 metros de profundidade para o processamento do modelo, pois não há dados de batimetria nessa área.



Figura 6. Batimetria da região com dados de campo.

## 4.5.1.3 FORÇANTES

No modelo hidrodinâmico são necessários parâmetros que atuem como forçantes da circulação, na superfície do mar e nos contornos laterais abertos (Harari, 2015). Neste trabalho foram utilizadas como forçantes: marés, nível médio do mar e perfis verticais de temperatura e salinidade (nos contornos abertos da grade) e tensão de cisalhamento do vento na superfície do mar.

## 4.5.1.3.1 MARÉS

Os dados de marés dos contornos foram obtidos pelo software *Delft Dashboard*, que acessa o banco de dados do modelo *Oregon State University TOPEX/Poseidon Global Inverse Solution* (TPXO), versão 7.2. O *Delft Dashboard* é um software que possui interface gráfica independente, acoplada à suíte de modelagem do DELFT3D, com o intuito de auxiliar na criação de modelos novos, bem como na realização de cálculos e análises oceanográficas avançadas (DELTARES, 2014).

O Osu TOPEX/Poseidon Global Inverse Solution (TPXO) é um modelo oceânico global de marés, que resolve as equações de maré de Laplace, incluindo a assimilação de dados obtidos por meio de altimetria, do satélite TOPEX/Poseidon (EGBERT *et al.*, 1994).

#### 4.5.1.3.2 VENTO

Os dados de vento para região de estudo foram obtidos no banco de dados do modelo atmosférico do *National Center for Environmental Prediction (NCEP) / National Center for Atmospheric Research* (NCAR), administrado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), disponível em <u>https://www.esrl.noaa.gov/</u>, e resultados do CFS – Climate Forecast System - version 2, disponíveis em <u>https://rda.ucar.edu/datasets/ds093.1/</u>.

## 4.5.1.3.3. NÍVEL MÉDIO DO MAR

Os dados de elevação do nível do mar para os contornos da grade foram obtidos no banco de dados do COPERNICUS MARINE ENVIRONMENT MONITORING SERVICE (CMEMS), disponíveis em <u>http://marine.copernicus.eu/</u>.

## 4.5.1.3.4 TEMPERATURA DA ÁGUA E SALINIDADE

Os valores de temperatura e salinidade foram obtidos no banco de dados do CMEMS Global Analysis Forecast, disponíveis em http://marine.copernicus.eu / .

#### 4.5.1.3.5. INDICADORES DE APORTE TERRÍGENO

Para avaliar a dispersão do aporte terrígeno proveniente do Rio Ribeira de Iguape foram utilizados os dados de silicato e fosfato dissolvidos e material em suspensão, coletados em campo.

#### 4.5.2 TRATAMENTO DOS DADOS

As simulações hidrodinâmicas foram realizadas através do módulo *Delft3D*® – *FLOW*, que consiste em um programa de simulação hidrodinâmica multidimensional que calcula fluxos e fenômenos de transporte resultantes da ação de forçantes meteorológicas e de marés (DELTARES, 2014). As equações hidrodinâmicas do escoamento e do transporte de substâncias são resolvidas através do método de diferenças finitas (GREGÓRIO, 2009) permitindo a simulação de transportes resultantes de marés, descargas fluviais e efeitos meteorológicos, incluindo o efeito de diferenças de densidade devido a vazões fluviais e gradientes horizontais dos campos de temperatura e salinidade (LUIJENDIJK, 2001).

## 4.5.2.1 SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA 2D

As simulações hidrodinâmicas em 2D foram realizadas no FLOW do Delft3D® tendo a maré como única forçante. Foram selecionadas todas as 11 componentes de maré disponíveis (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, Mf, Mm e Ssa), visando a obtenção dos melhores resultados. Foram simulados apenas 2 meses, para avaliação da grade e dos seus parâmetros..

Os resultados de saída foram as elevações da maré e as correntes de maré médias na coluna d'água.

## 4.5.2.2 SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA 3D

Nas simulações hidrodinâmicas em 3D, foram considerados 5 níveis de profundidade equi-espaçados, em camadas sigma. Como forçantes foram utilizadas as 11 componentes da maré, elevação do nível médio do mar, dados de temperatura e salinidade (nos contornos abertos da grade), tensão de cisalhamento (na superfície) e os dados de vazão, temperatura e salinidade do Rio Ribeira de Iguape.

Foi utilizada a condição de contorno o tipo Riemann que tem como principal vantagem a reflexão mínima nas bordas (DELTARES, 2014).

As condições iniciais foram geradas a partir de distribuições dos valores de nível do mar, correntes, temperatura e salinidade do COPERNICUS MARINE ENVIRONMENT MONITORING SERVICE (CMEMS), disponíveis em <u>http://marine.copernicus.eu/</u>, de modo a deixar o modelo "aquecido" para o processamento.

Foram simulados os meses de março e agosto de 2017, que correspondem aos períodos das coletas de campo. Os resultados de saída do modelo 3D foram: elevação do nível do mar, componentes (U e V) da velocidade das correntes, temperatura e salinidade, nas cinco camadas sigma.

# 4.5.2.2.1. VALIDAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO

A validação de um modelo corresponde a um procedimento que tem como objetivo comparar os resultados obtidos com outro conjunto de dados para a mesma região, sejam dados *in situ* ou produzidos por outro modelo previamente validado, para inferir a qualidade dos resultados obtidos na simulação (Harari, 2015).

Os resultados da simulação hidrodinâmica 3D foram validados com valores do nível médio do mar com os modelos CMEMS.

Foram utilizados cinco métodos matemáticos para a validação do modelo hidrodinâmico, descritos a seguir:

1. Relative Mean Absolute Error (RMAE) (WALSTRA et al., 2001):

$$RMAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |dado_i - modelo_i|}{\sum_{i=1}^{n} |dado_i|}$$

Equação 04: Validação pelo RMAE

O RMAE ideal é nulo. A tabela 1 mostra a classificação dos valores dos erros.

ERRO PERCENTUAL (RMAE) (%)	QUALIFICAÇÃO
RMAE < 20	Excelente
20 < RMAE < 40	Bom
40 < RMAE < 70	Razoável
70 < RMAE < 100	Ruim
RMAE > 100	Péssimo

Tabela 1: Classificação dos erros de acordo com a RMAE

2. Absolute Mean Statistic Error (WILLMOTT, 1982):

$$E_{abs} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |dado_i - modelo_i|$$

Equação 05: Validação pelo AMSE

Este parâmetro calcula o desvio médio entre os resultados do modelo e as observações. O desvio médio ideal é zero. A unidade do erro é a mesma que a do dado.

3. Root-Mean-Square Statistic Error (WILLMOTT, 1982):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (dado_i - modelo_i)^2}$$

Equação 06: Validação pelo RMS

Assim como o parâmetro anterior, também apresenta o desvio médio entre os resultados do modelo e as observações. O desvio médio ideal é nulo.

4. Willmott & Wicks (1980 apud WILLMOTT, 1982) definiram o Coeficiente Skill:

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n} (dado_{i} - modelo_{i})^{2}}{\sum_{i=1}^{n} (|modelo_{i} - \overline{dado}| + |dado_{i} - \overline{dado}|)^{2}} \right]$$

Equação 07: Validação pelo Index of agreement

Onde  $\overline{dado}$  = média do dado.

De acordo com Willmott & Wicks com valores de d >> 0,5 a modelagem possui significativa redução de erros, ou seja, o valor ideal de d é 1.

 Coeficiente de Correlação de Pearson (SPIEGEL & STEPHENS, 1999):

$$R = \frac{cov(dado, modelo)}{\sigma_D \sigma_M}$$

Equação 08: Validação a partir do coeficiente de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson é um parâmetro de dependência linear entre os resultados do modelo e as observações (FIEDLER, 2015). O numerador é a covariância entre as séries de dados e do modelo, enquanto que o denominador é o produto dos desvios padrão dessas séries. O coeficiente de correlação ideal é igual a 1.

## 4.5.2.3. MODELAGEM DA DISPERSÃO DO APORTE TERRÍGENO

Para a simulação da dispersão dos nutrientes (Si e P) e material em suspensão foram utilizados os resultados da modelagem hidrodinâmica no FLOW, os quais foram inseridos no módulo de qualidade da água *Delft3D – Water Quality Module* (WAQ), juntamente com os dados coletados em campo.

O WAQ é um módulo do Delft3D® que resolve a equação da advecçãodifusão-decaimento a partir dos resultados do FLOW, permitindo grande flexibilidade na escolha de substâncias químicas a serem modeladas (DELTARES, 2018).

Na tabela 2 são definidos os princípios ativos de cada elemento modelado, de acordo com o objetivo do estudo.

Substâncias calculadas	Parâmetros de saída	Processos ativos			
<ul> <li>Orto-fosfato (<i>PO</i><sub>4</sub>)</li> <li>Silício dissolvido (Si)</li> <li>Material inorgânico em Suspensão</li> </ul>	<ul> <li>Orto-fosfato dissolvido</li> <li>Si dissolvido</li> </ul>	<ul> <li>Composição</li> <li>Ad(De)sorção do fósforo</li> <li>Mineralização do Si</li> <li>Troca de calor com a superfície da água</li> </ul>			

Tabela 2. Processos e parâmetros considerados na modelagem.

A taxa de adsorção do fosfato foi definida como 0,03 – como sugerido por Yang (2016); os dados iniciais de fosfato e silicato foram zerados para que se possibilitasse a visualização dos resultados com maior detalhamento da influência do Rio Ribeira na região.

Para a análise estatística de séries temporais das variáveis envolvidas na modelagem hidrodinâmica e de qualidade da água, foram selecionados 17 pontos de monitoramento (Fig. 7). A localização dos pontos foi determinada de maneira que fosse possível analisar a dispersão dos elementos de estudo ao longo do sistema e sua concentração em cada setor do estuário (Tab. 3).

Ponto	Latitude	Longitude	Profundidade (m)			
Mar aberto Iguape (13)	-24,726707	-47,441868	10,32			
Mar aberto Cananeia (12)	-25,008154	-47,823639	11,38			
Mar aberto Trapandé (14)	-25,072512	-47,887066	9,36			
Mar aberto Ilha Comprida (15)	-24,863731	-47,610863	16,40			
Mar aberto Rio (16)	-24,784483	-47,504166	15,08			
Mar aberto Icapara (17)	-24,692186	-47,381233	10,44			
Cananeia 1	-24,917179	-47,836243	3,26			
Cananeia 2	-25,017607	-48,008347	0,50			
Cananeia 3	-24,903788	-47,868538	7,47			
Trapandé	-25,050688	-47,922886	4,69			
Ilha Comprida	-24,801056	-47,679131	2,36			
Bugio	-24,700106	-47,478371	3,33			
Icapara	-24,666292	-47,410576	2,56			
Mathias	-24,620626	-47,488831	4,55			
Valo Grande	-24,696186	-47,567699	8,99			
Bifurcação	-24,667445	-47,602848	8,00			
Início Rio	-24,667459	-47,697330	8,00			

Tabela 3. Localização geográfica dos pontos de monitoramento do modelo WAQ e modelo FLOW.



Figura 7. Posição dos pontos de observação dentro da grade.

## 4.5.2.3.1 VALIDAÇÃO DO MODELO GEOQUÍMICO

O WAQ foi validado para Si, P e material inorgânico em suspensão, na camada de superfície em relação aos pontos amostrados *in situ* em disponíveis no banco de dados do LABNUT-IOUSP.

Para a validação do WAQ, não foi possível utilizar os mesmos métodos usados na validação do FLOW pois não há séries temporais disponíveis no banco de dados. Portanto a validação foi apenas qualitativa, feita pela comparação das ordens de grandeza dos valores obtidos pelo modelo e os valores das amostragens *in situ* (Fig. 8 e Tab.4) realizadas pelo Projeto "Estudo ambiental de sistemas costeiros expostos a importantes ações antrópicas na região sudeste por meio de ferramentas biogeoquímicas (FEBIOGEOQUIM-CNPq 478890/2011-7) do LabNut-IOUSP. O WAQ será considerado válido caso a ordem de grandeza coincida em pelo menos em 50% das comparações envolvendo todos os componentes modelados (YANG, 2016).





Tabela 4. Coordenadas geográficas dos pontos para validação do modelo WAQ

Delft3D-WAQ	FeBioGeoQuim	Distância entre
	(LABNUT-IOUSP)	os pontos (km)
Bifurcação	R3	3,69
	(-24,6764 -47,5677)	
Valo Grande	R4	1,5
	(-24,6926 -47,5532)	
Cananeia_1	6	8,03
	(-24,9853 -47,8091)	
Trapandé	11	2,41
	(-25,0701 -47,9333)	

# 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

# 5.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS

O mês de março de 2017 caracterizou-se como um período típico de verão subtropical (SATYAMURTI *et al.*, 1998; BÉRGAMO, 2000), com temperaturas variando entre 22°C e 28°C e altos índices de pluviosidade (Máx. 119 mm). A temperatura média do ar da última quinzena de março ficou em torno dos 26°C como pode ser visto na figura 9. O máximo da temperatura do ar registrado foi de 32°C e a mínima foi de 19°C.



Figura 9. Variação da temperatura (°C) do ar em Iguape na última quinzena de março (INMET).

Uma semana antes do trabalho de campo a pluviosidade na região chegou a 119 m (Fig. 10) e nos dias seguintes permaneceu entre 4 e 15 mm. Nos dias do campo, a temperatura variou entre 22°C e 26°C enquanto a precipitação variou entre 4 e 12 mm por dia.

A partir desses resultados poderia se esperar uma vazão um pouco maior que a média da região nos registros durante o trabalho de campo e consequentemente, maiores valores de material em suspensão, silicato e fosfato dissolvidos presentes no corpo hídrico como contribuição do Rio Ribeira principalmente devido à alta precipitação no período anterior as coletas e a contínua pluviosidade nos dias do trabalho de campo, que em teoria iria aumentar a velocidade do rio e causar maior transporte do material terrígeno no entorno das margens.



Figura 10. Precipitação (mm) em Iguape na última quinzena de março (INMET).

Durante o mês de agosto, o clima esteve bem típico do inverno na região (BÉRGAMO, 2000), com a temperatura média de 19°C, mínima de 11°C e máxima de 26°C segundo o INMET (Fig. 11).



Figura 11. Variação da temperatura (°C) do ar em agosto (INMET).

Em relação à pluviosidade (Fig. 12), os valores observados estiveram em acordo com o esperado para a estação de inverno: longos períodos de estiagens e baixo índice de precipitação. No período de realização do trabalho de campo (21 a 25 de agosto) ocorreu a maior precipitação (18 mm no dia 23 de agosto); nos dias onde ocorreram eventos de chuva, a precipitação ficou entre 4 e 12 mm ao dia.



Figura 12. Precipitação (mm) em Iguape em agosto (INMET).

## 5.2 VARIAÇÃO DA MARÉ

Para um melhor aproveitamento do campo e interpretação dos resultados é de extrema importância conhecer a variação da maré. Devido ao grande assoreamento que ocorre na região, alguns pontos do estuário apresentam zonas extremamente rasas, só podendo ser atravessados em momentos de maré alta. Por isso foi adotada uma logística antes do campo para calcular o tempo exato da travessia desses pontos assoreados, para evitar o encalhe da embarcação.

Apesar de ser uma região de micro-maré, com variações menores que 2 metros entre a baixa-mar e a preamar, a oscilação da maré dentro do estuário ocasiona significativas variações na salinidade, entrada e saída de elementos e na hidrodinâmica do local (LAM-HOAI *et al.*, 2006; ELLIOTT & QUINTINO, 2007; DAUVIN & RUELLET, 2009; ARAÚJO, 2017). Saber em que momento está a amplitude da maré no momento da coleta é de extrema importância na análise dos próximos resultados. Por isso será feita uma breve descrição da maré nos dias de coleta das duas campanhas de 2017. Nos dois dias de coleta em março (dias 29 e 30) a maré teve sua preamar por volta das 4 h e 17 h (Figs. 13a e 13b), com uma diferença de 45 minutos entre os dois dias. A baixa-mar se teve às 9h e 22h.



Figura 13. Variação da maré (em m) nos dias 29 (a) e 30 (b) de março de 2017.

Na segunda campanha os horários de baixa-mar e preamar foram bem parecidos com os da primeira, com preamar por volta das 4 h e 17h e baixa-mar por volta das 9h e 22h (Figs 14a e 14b).



Figura 14. Variação da maré (em m) nos dias dia 23 (a) e 24(b) de agosto de 2017.

# 5.3. NÍVEL MÉDIO DO MAR

O nível médio do mar foi medido visando estudar o comportamento da dinâmica da entrada e saída de águas nos pontos de estudo, para melhor entendimento dos resultados de vazão obtidos.

Nas duas campanhas de 2017 foi observado o mesmo efeito verificado por Souza (2015) em campanhas anteriores na mesma região, que é o efeito do atraso da maré rio acima, chamado de co-oscilação da maré (DEFANT, 1960; MIRANDA *et al.*, 2012), que corresponde à propagação da maré em forma de ondas longas de gravidade, que tem um atraso e uma atenuação da amplitude em relação à maré oceânica na mesma região. Tanto em março quanto em agosto foi notado um atraso de mais de 3 horas na baixa-mar na altura da ponte do Mathias (Figs. 15, 17, 19 e 20) enquanto que na preamar o atraso é um pouco menor, em torno de 1h30 a 2h. No Valo Grande só foram obtidos os dados de nível médio do mar apenas na primeira campanha, pois ocorreram problemas técnicos para registro deste dado na segunda campanha.



Figura 15. Distribuição do nível médio do mar (em cm), no dia 29 de março de 2017, na ponte Mathias (curso natural do Rio Ribeira) em Iguape (SP).



g

Figura 16. Distribuição do nível médio do mar (em cm), no dia 29 de março de 2017, no Valo Grande, em Iguape (SP).

Pode-se ver que no Valo o atraso na baixa-mar ocorreu de forma similar ao Mathias, enquanto que na preamar os valores vistos na tábua são condizentes com as medições (Figuras 16 e18).



Figura 17. Distribuição do nível médio do mar (em cm) na ponte Mathias(Iguape-SP), no dia 30 de março de 2017.



Figura 18. Distribuição do nível médio do mar (em cm), no Valo Grande (Iguape-SP), dia 30 de março de 2017.



Figura 19. Nível médio do mar na ponte Mathias dia 23 de agosto de 2017 (em cm).





## 5.4. VAZÃO

Rios que desembocam no mar recebem influência da variação da maré em sua jusante, o que faz com que a vazão varie ao longo do tempo de acordo com a entrada e saída da maré na região (BUSCHMAN *et al.*, 2009). Como foi mostrado por Souza (2015), há forte influência da maré no Rio Ribeira, atingindo vários quilômetros em direção a montante, o que dificulta a medição da vazão real do rio, já que várias componentes de velocidade atuam constantemente à jusante.

Uma das alternativas para se medir a vazão sem a interferência da maré consiste em realizar a medição em um setor do rio não atingido pela maré. A dificuldade apresentada por essa alternativa na região é que não se estaria considerando a vazão de outros rios que se encontram com o Rio Ribeira nas áreas mais próximas à foz estuário, obtendo-se assim um valor subestimado. Por isso, foi necessário realizar a medida o mais próximo possível do estuário, para ter um resultado mais alinhado com o objetivo do estudo. Devido à bifurcação do rio, com um braço para o Valo Grande e outro para o braço original, foram posicionados 3 pontos de coletas de dados (um antes da bifurcação e um em cada braço do rio) em um ciclo completo de maré, para verificar o comportamento da vazão em cada trecho.

Souza (2015), mostrou que a vazão obtida com o uso de correntômetro apresenta erros nessa região, pois os dados são baseados em dados pontuais na seção do rio, cujos valores não coincidiam com a resultante total. Além disso, havia o problema da variação constante da batimetria em função da maré. Por isso, no presente estudo foi utilizado o ADCP para realização das medidas, como feito em outros estudos estuarinos (MUSTE *et al.*, 2004; BUSCHMAN *et al.*, 2009; SASSI *et al.*, 2013, SCHULZ & GERKEMA, 2018), de modo a se obter maior precisão em relação à velocidade resultante na seção batimétrica para o cálculo da descarga líquida.

Os valores de vazão obtidos em março (final de verão) foram maiores do que em agosto (Tab. 5) como previsto para o período chuvoso. Os valores mínimos e máximos de vazão, que correspondem à estofa de maré enchente e vazante respectivamente, foram bem mais intensos no inverno do que no verão, o que pode ser confirmado pelos desvios padrão. Isso pode ser devido às marés meteorológicas que ocorrem com mais intensidade na região no período de inverno, devido às frentes frias, o que pode ser evidenciado no modelo numérico.

Em agosto, ocorreram problemas técnicos na medição, sendo que os resultados de vazão no Valo Grande apresentaram um erro maior, devido ao intervalo de tempo entre as medições, e também devido a falhas apresentadas

pelo aparelho quando operado em áreas muito rasas. O ADCP mais adequado para uso em água rasas seria o de 1200 khz, porém o disponível para o trabalho era um modelo de 500 khz, o que explica essa dificuldade. Na tabela 5, o valor mínimo observado no Valo Grande não acompanhou a realidade observada visualmente, pois apesar da vazão diminuir consideravelmente devido à maré enchente, os valores registrados pelo equipamento foram menores que nos outros pontos no mesmo horário.

Os valores médios de vazão do Rio Ribeira (dados obtidos antes da bifurcação do Rio) foram de 609, 88  $m^3/s$  em março, e de 556,33  $m^3/s$  em agosto. Os valores de vazão no braço natural do rio (Mathias) sempre foram maiores do que aqueles obtidos no Valo Grande.

		Março		Agosto			
	Bifurcação	Valo	Mathias	Bifurcação	Mathias		
		Grande			Grande		
Mínimo	100,90	66,86	18,95	134,13	0,26	125,08	
Média	609,88	192,46	386,86	556,33	144,83	467,00	
Máximo	979,45	289,09	781,69	874,83	583,48	874,83	
Desvio Padrão	204,18	67,53	204,18	219,73	129,65	212,65	

Tabela 5. Estatística das medições de vazão no Rio Ribeira de Iguape  $(m^3/s)$ 

Partindo-se da premissa de que a vazão antes da bifurcação é igual a soma da vazão de cada braço do Rio (MIRANDA *et al.*, 2012), os valores de vazão obtidos no Valo Grande somados aos do braço natural do rio devem ser iguais aos valores obtidos antes da bifurcação, em cada período. A tabela 6 apresenta as porcentagens da vazão do Valo Grande e do Mathias em relação aos valores obtidos antes da bifurcação. O somatório das porcentagens atingiu 95,76% em março e, 113,32% em agosto. Os valores, apesar de não atingirem exatos 100%, estão bem próximos dos valores esperados, considerando um erro maior em agosto, devido às dificuldades nas medições no Valo Grande, mencionadas anteriormente.

Ao contrário do que foi apresentado por diversos autores em trabalhos anteriores (BÉRGAMO, 2000; COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL, 2008b), os resultados obtidos neste trabalho mostram que a maior parte da vazão do Rio Ribeira de Iguape permanece em seu trajeto inicial. Uma possível explicação para este resultado estaria no fato de que, apesar do Valo Grande receber menor volume de água comparado ao seu braço natural, a velocidade das correntes no canal é bem mais alta, o que provoca uma considerável erosão e carreamento de substâncias neste trecho. Durante o trabalho de campo foi possível observar a dificuldade em cruzar o canal por chatinha, devido às fortes correntes no local.

Com o uso do modelo proposto, a hidrodinâmica fluvial e estuarina será melhor compreendida e avaliada. O que pode ser constatado com as medições de campo é que a vazão no braço natural do rio representa quase 70% da vazão observada antes da bifurcação no verão, e chega a quase 90% no inverno.

	Março	Agosto
Valo Grande	30,38 %	25,57 %
Mathias	65,38 %	87,75 %
Total	95,76 %	113,32 %

Tabela 6. Porcentagem da descarga líquida que vai para cada braço do rio Ribeira

Avaliando as medições obtidas nos 3 pontos de coleta em cada dia, das 8 horas até as 20 horas, pode-se se verificar a variação da vazão ocasionada pelo efeito da maré (Figs. 21 a 24).

Comparando a figura 21 com as figuras 15 e 16 pode-se observar que por volta das 8 horas o nível médio do mar estava no ponto 0 da curva, começando sua descida. Esse ponto é onde a velocidade de maré vazante está mais alta, o que é representado na vazão, com valores no seu ponto máximo (904  $m^3/s$  antes da bifurcação e 672  $m^3/s$  no Mathias). A partir do momento que o nível do mar passa do ponto 0 sua velocidade começa a ficar cada vez menor até chegar no ponto de virada por volta de 12h no Mathias e às 11h no Valo Grande. No gráfico de vazão isso também é representado pela queda do valor da vazão ao longo do tempo. A partir desses horários a maré torna-se enchente, o que faz com que a vazão diminua cada vez mais chegando no mínimo de vazão por volta das 15h, onde no nível médio do mar o gráfico encontra-se no seu ponto 0. Isto significa que a velocidade de maré enchente está no seu valor máximo. Vale ressaltar que, mesmo com a velocidade de maré enchente no seu ponto máximo, a vazão continua sendo positiva. Ou seja, a velocidade resultante do rio não

muda de direção, apenas sua magnitude é acentuada ou minimizada. À medida que a velocidade de maré enchente vai diminuindo ao longo do tempo a vazão vai aumentando.

O efeito explicado anteriormente pode ser observado também nas figuras 22, 23 e 24 juntamente com as figuras 17 e 18 (correspondentes ao dia 30 de março) e 19 e 20 (correspondente ao dia 23 de agosto), respectivamente.



Figura 21. Vazão, em  $m^3/s$ , observada na bifurcação (azul), no Valo Grande (vermelho) e no Mathias (azulão), no dia 29 de março de 2017.



Figura 22. Vazão, em  $m^3/s$ , observada na bifurcação (azul), no Valo Grande (vermelho) e no Mathias (azulão), no dia 30 de março de 2017.

Nos gráficos de vazão do período do verão (Figs. 21 e 22) pode-se observar o que foi apresentado nas tabelas 5 e 6, em relação ao volume de água em cada braço do rio após a bifurcação. O braço natural do rio, na maior parte do tempo de observação, concentrou o maior valor de vazão, exceto no momento de velocidade máxima de maré enchente, onde o Valo Grande superou o observado no Mathias. Uma possível explicação para essa observação seria que como a velocidade do Valo Grande é muito superior ao Mathias, nesse momento, a resultante da velocidade com a maré junto com sua batimetria fazem com que a vazão se torne maior do que a resultante do braço natural, apesar da batimetria do braço natural ser efetivamente maior.

Em agosto (Figs 23 e 24), devido aos problemas técnicos que ocorreram durante as medidas no Valo Grande, os resultados não serão apresentados com tanta precisão como os apresentados em março, mas ainda assim, a tendência observada nos fenômenos foi a mesma.



Figura 23. Vazão em  $m^3/s$ , observada na bifurcação (azul), no Valo Grande (vermelho) e no Mathias (azulão), no dia 23 de agosto de 2017.

Como foi apresentado nas tabelas 5 e 6, pode-se observar, nos gráficos, que os valores de vazão no inverno foram menores que os obtidos no verão sendo que, a vazão no Mathias sempre foi maior que no Valo Grande.



Figura 24. Vazão em  $m^3/s$ , observada na bifurcação (azul), no Valo Grande (vermelho) e no Mathias (azulão), no dia 24 de agosto de 2017.

Comparando os resultados medidos antes da bifurcação (vazão total do Rio Ribeira chegando ao sistema) com os dados estimados por Bérgamo (2000), pode-se verificar que os valores estimados para o Rio ao longo dos anos diferem com os dados medidos. Para o mês de março, Bérgamo estimou uma vazão de 1740,8  $m^3/s$  enquanto para o mês de agosto foi estimado o valor de 101  $m^3/s$ .

#### 5.5. DADOS HIDROGEOQUÍMICOS

As informações apresentadas até o momento permitiram um conhecimento da hidrodinâmica na região, considerando dois períodos de coleta, de modo que os dados hidrogeoquímicos poderão ser descritos acompanhando este conhecimento.

#### 5.5.1. AMOSTRAGEM DE MARÇO (final de verão)

De acordo com Chester (1990) a temperatura em ambientes marinhos e costeiros é um importante parâmetro ambiental que atua na solubilidade dos gases, na velocidade de várias reações biogeoquímicas e também na decomposição da matéria orgânica. Diferenças de temperaturas podem gerar um ambiente estratificado por sua densidade, promovendo uma barreira física, química e biológica entre camadas.

Os dados de temperatura da água (Tab. 7) mostram que a temperatura da água esteve relativamente próxima à temperatura do ar neste período, ou seja, em torno dos 25 °C (Fig. 9). O desvio padrão dos valores de temperatura mostra que a variação entre eles foram baixas ao longo dos dias de coleta, com um valor de temperatura mais alto apenas no Mathias com 27,5 °C.

Os valores de salinidade obtidos nas amostras do rio praticamente não apresentaram variação, sendo o desvio padrão de 0,003. Isso evidencia o fato de que a ação da maré no rio não mostra a invasão de água salgada, mas tem efeito na dinâmica (velocidade e nível da água). O valor mais alto da salinidade foi registrado no Valo Grande (0,062), ainda considerado água doce de acordo com a classificação CONAMA (2005). Os valores de temperatura da água observados no final de verão se assimilam aos encontrados em trabalhos anteriores referentes ao verão (AGOSTINHO, 2015; SCIGLIANO, 2016; CHIOZZINI, 2017).

O pH da água do Rio foi levemente ácido, variando entre 6,26 a 6,69, mostrando pequenas variações entre os 3 pontos. Outros autores observaram valores levemente mais alcalinos, porém não apresentaram dados nos dois braços do rio (ESCHRIQUE, 2011; SCIGLIANO, 2016; CHIOZZINI, 2017). Os valores mais altos da pluviosidade apresentados na figura 10 devem ter contribuído a uma maior acidez na água do Rio neste período.

O oxigênio é um dos gases mais importantes para o sistema aquático, tanto para os organismos aeróbios como nos processos biogeoquímicos (CHESTER, 1990). A redução desse gás dissolvido na água pode ocorrer devido aos processos de degradação da matéria orgânica, respiração dos organismos no ambiente e oxidação de íons metálicos. O oxigênio dissolvido variou entre 4,23 a 5,11 mL/L considerando os três pontos de coleta, o que mostra uma boa aeração do rio, condizendo com valores obtidos por Bastos (2014) e Scigliano (2016).

	Bifurcação				Valo Grande				Mathias			
	Т	S	рН	OD	Т	S	рН	OD	Т	S	рН	OD
	(°C)				(°C)				(°C)			
Máx.	nd	0,005	6,69	5,11	26,0	0,062	6,63	4,85	27,5	0,040	6,64	4,63
Mín.	nd	0,040	6,57	4,56	25,1	0,044	6,49	4,47	25,0	0,030	6,26	4,23
Média	nd	0,045	6,62	4,77	25,6	0,048	6,57	4,65	25,8	0,030	6,48	4,45
Median	nd	0,044	6,60	4,76	25,5	0,046	6,56	4,62	25,7	0,003	6,53	2,24
а												
Desvio	nd	0,003	0,04	0,15	0,32	0,005	0,04	0,14	0,67	0,004	0,15	0,13
padrão												

Tabela 7. Dados físico e químicos da água (superfície e fundo) na amostragem de março de 2017.

nd - não determinado.

O fósforo é um elemento essencial na formação da matéria orgânica viva, integrado em estruturas do esqueleto, essencial na conversão de energia nos sistemas biológicos, participando de processos fundamentais no metabolismo e armazenamento de energia. Sua disponibilidade no meio marinho é considerada um dos principais controladores da produção primária e eutrofização (BRAGA, 1995; MOTURI *et a*l., 2005). A entrada principal deste elemento no sistema é por processo de intemperismo da crosta, porém atividades antrópicas também podem ser uma possível entrada como esgotos domésticos que possuem detergentes, dejetos humanos e fertilizantes (AGUIAR; BRAGA, 2007; BERBEL, 2008).

O fósforo é um elemento cuja fonte principal ao sistema hídrico é terrestre, sendo um bom indicador de contribuições terrestres para ser usado na modelagem.

Os valores de fosfato dissolvido (Tab. 8) encontrados nos 3 pontos de coleta, considerando dois níveis de profundidade (superfície e fundo) variaram entre 2,01 a 2,60  $\mu mol/L$ . Os valores encontrados no Rio Ribeira por Eschrique (2011), Coelho (2011), Bastos (2014), Scigliano (2016) e Chiozzini (2017) são maiores do que os obtidos neste trabalho, chegando a concentrações 4 vezes

maiores, porém não abrangeram o braço natural do rio até o Mathias. Os dados encontrados pela CETESB foram de 2,9  $\mu mol/L$  em 2015, assemelhando-se mais com os valores obtidos.

O silicato entra no sistema hídrico por processos de intemperismo e lixiviação, que são intensificados pelo uso do solo nas margens do rio Ribeira de Iguape, com áreas de pasto degradado, bananicultura e a ausência de mata ciliar preservada (AGOSTINHO, 2015; SCIGLIANO, 2016).

Os valores de silicato dissolvido (Tab. 8) variaram entre 61,95 a 188  $\mu mol/L$ , com valores de máximo e mínimo encontrados no ponto de coleta Mathias. Os valores estão mais baixos do que os obtidos por Bastos (2014) e Scigliano (2016) que apresentaram valores de 240  $\mu mol/L$  e 205,43  $\mu mol/L$  respectivamente.

Os dados de turbidez (Tab. 8) variam entre 8,0 a 55,7 UNT, novamente com o maior desvio padrão na estação Mathias. Os valores são menores do que foi encontrado por Bastos (2014) e maiores do que os encontrados por Chiozzini (2017).

O material particulado em suspensão (Tab. 8) variou entre 11,3 a 125,7 mg/L dentro do Rio, o que é diferente do que foi encontrado por Bastos (2014) e Chiozzini (2017). Isso pode ser devido à diferença na metodologia de amostragem, que nos trabalhos anteriores foi com base na distribuição espacial enquanto que o foco deste trabalho é na variação temporal.

Avaliando o conjunto de dados, pode-se observar que o rio Ribeira apresentou variação nos valores e concentrações dos parâmetros analisados, refletindo a influência da maré.

	Bifurcação				Valo Grande				Mathias			
	Fosfato	Silicato	MPS	Turbidez	Fosfato	Silicato	MPS	Turbidez	Fosfato	Silicato	MPS	Turbidez
	μmol/L	μmol/L	mg/L	(UNT)	μmol/L	μmol/L	mg/L		μmol/L	μmol/L	mg/L	(UNT)
Máximo	2,54	140,9	125,70	33	2,60	142,92	66,33	38,1	2,48	188,29	39,50	55,7
Mínimo	2,18	66,3	25,33	23,1	2,36	102,93	17,66	13,1	2,01	61,95	11,33	8,00
Média	2,39	104,4	45,59	27,13	2,51	116,53	30,88	25,41	2,26	109,7	25,75	22,33
Mediana	2,46	108,0	32,67	25,7	2,52	114,88	24,66	25,15	2,25	80,24	21,33	20,95
Desvio padrão	0,13	26,0	31,48	3,54	0,07	11,27	15,93	10,05	0,146	49,62	7,88	12,26

Tabela 8. Dados hidrogeoquímicos nos três setores do Rio Ribeira, em março de 2017.

A maioria dos estudos realizados na região (ESCHRIQUE, 2011; COELHO, 2011; BASTOS, 2014; AGOSTINHO, 2015; SCIGLIANO, 2016; CHIOZZINI, 2017) foram realizados com abordagem na distribuição espacial. No caso deste estudo, para avaliar a influência do Rio Ribeira de Iguape no complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape, os dados foram coletados seguindo uma variação temporal observada em pontos fixos de coleta. Nos próximos tópicos serão apresentados os resultados em termos de variação com o tempo em cada local avaliado.

## 5.5.1.1. BIFURCAÇÃO do Baixo Ribeira

No ponto bifurcação, os valores de salinidade e pH (Fig. 25 a e b) variaram acompanhando a variação do nível do mar (Fig. 16), seguindo a tendência de valores aumentar com a maré vazante e diminuíram com a maré enchente. Os valores de salinidade variaram muito pouco (0,044 a 0,050), só a partir da terceira casa decimal, o que mostra que mesmo com acompanhando a variação com a maré, a influência oceânica no rio é mínima. O pH variou a partir da segunda casa decimal e, assim como a salinidade, mostrou certa influência da maré neste ponto, porém mantendo valores abaixo de 7 (variando entre 6,26 a 6,64). A águas de fundo apresentaram valores levemente mais ácidas do que as de superfície.
O oxigênio dissolvido (Fig. 25c) aumentou ao longo do dia apenas na superfície (4,56 a 5,11 mL/L), mostrando menor correlação aparente com a entrada da maré e talvez maior influência da atividade biológica. O fundo mostrou valores um pouco menores do que na superfície e com uma variação de 0,1, mostrando uma certa constância ao longo do tempo.



Figura 25. Variação da salinidade (a), pH (b) e oxigênio dissolvido (c) no ponto Bifurcação no dia 29 de março de 2017.

O silicato dissolvido (Fig. 26a) variou de 66,34  $\mu$ mol/L a 140,9  $\mu$ mol/L, ao longo do tempo, o que deve estar relacionado ao aporte terrígeno associado à vazão do que a influência da maré. As águas de fundo tiveram uma variação de silicato dissolvido maior do que as de superfície e, na maior parte do tempo, apresentando valores menores. As concentrações na superfície tenderam a aumentar com o tempo. A hidrodinâmica de fundo aparenta ser correntes que ressuspendem o sedimento de tempos em tempos, aumentando e diminuindo a concentração de material particulado e em consequência, a fração dissolvida na água ao longo do tempo.

O fosfato dissolvido (Fig. 26b) apresentou uma variação semelhante a variação do nível do mar (Fig. 16). Assim como a salinidade e o pH, os valores de fosfato dissolvido aumentaram com a maré vazante e diminuíram com a maré enchente. Esse efeito só foi observado na superfície. O fundo permaneceu relativamente constante, com valores em torno de 2,45  $\mu mol/L$ , mostrando uma queda justamente apenas no máximo de maré enchente. Essa variação pode ser devida à variação acidez da água e, possivelmente devida ao processo de adsorção/dessorção deste elemento na coluna d'água.

Os valores de material em suspensão (Fig. 26c) na superfície mostraram uma variação similar ao fosfato dissolvido, variando entre 20 a 30 mg/L. Nas águas de fundo, foi observado um valor muito alto (~100 mg/L) em torno das 8 horas, que pode estar associado à ressuspensão de sedimentos no processo de coleta. Ao longo do dia, pode-se verificar que nas águas de fundo, a variação teve comportamento inverso ao que ocorre na superfície, mostrando que existem processos diferentes ocorrendo ao longo da coluna d'água.

A turbidez (Fig. 26 d) teve uma variação mais evidente na superfície apenas depois das 15 horas, com um pico na estofa de maré enchente, que pode ser reflexo do que ocorreu com o fosfato dissolvido. Na superfície a variação é maior ao longo dia (23 a 33 UNT) acompanhando a variação da maré (Fig.16), porém de forma inversa, assim como o observado para fosfato, salinidade e pH.



Figura 26. Variação do Silicato (a), Fosfato (b), Material em Suspensão (c) e Turbidez (d) no dia 29 de março de 2017 no ponto bifurcação.

No ponto Bifurcação a entrada da maré não mostrou efeito marcante em termos de entrada de propriedades oceânicas no rio, porém o efeito de represamento ocasionou variações no material dissolvido e particulado, relacionados aos processos biogeoquímicos associados à hidrodinâmica do local.

## 5.5.1.2. MATHIAS

No Mathias, a temperatura (Fig. 27a) seguiu uma variação normal na escala de um dia; valores baixos durante a manhã, atingindo o pico por volta de meio dia e caindo novamente até chegar a noite. Essa variação (entre 25°C e 27,5°C) é diretamente influenciada pela variação da intensidade solar ao longo do dia. Apesar de ter uma variação, esta não é muito brusca, principalmente por causa do alto calor específico da água que impede o alto aquecimento e resfriamento do sistema.

A salinidade (Fig. 27b), diferente do que foi visto na bifurcação, só aumentou ao longo dia. A variação foi bem maior do que visto no ponto anterior, a partir da segunda casa. Ainda sim essa variação é muito pequena comparado

ao efeito da maré no sistema estuarino, o que mostra que a maré, assim como no ponto Bifurcação, influencia apenas fisicamente.

O oxigênio dissolvido (Fig. 27c), diferentemente do ponto Bifurcação varia de acordo com o nível do mar (Fig. 17), com maiores concentrações na maré vazante e menores concentrações na maré enchente. Diferente do que normalmente é visto na literatura, o oxigênio no fundo é maior do que na superfície e esse quadro inverte quando há velocidade máxima de maré enchente. Apesar dessa aparente influência da maré nos valores de oxigênio, como mostrado na tabela 4, o desvio padrão é muito pequeno, variando na primeira casa decimal apenas, o que indica que se a maré está influenciando na região, ela o faz de forma muito pequena.

O pH (Fig. 27d), assim como o oxigênio dissolvido, varia de acordo com o nível do mar (6,26 a 6,64), com os valores de superfície e fundo muito similares. Com a maré enchente, o pH bruscamente se torna mais ácido. Como a água do mar é alcalina, pode-se concluir que o motivo do pH ter ficado mais ácido não foi devido a influência marinha no ambiente e sim ao movimento de represamento na área.



Figura 27. Variação da temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH no dia 29 de março de 2017 no ponto Mathias.

O silicato e fosfato dissolvidos, material em suspensão e turbidez (Figs. 28a, 28b, 28c e 28d respectivamente) acompanharam a variação da maré ao longo do dia. O fosfato e o silicato dissolvidos apresentaram valores maiores na água de fundo do que na superfície. A turbidez e material em suspensão, ao longo do dia, alternaram com concentrações mais altas na superfície e depois no fundo. O silicato dissolvido teve uma variação de mais de 100  $\mu mol/L$  (61,95  $\mu mol/L$  a 188,29  $\mu mol/L$ ), enquanto que o fosfato dissolvido variou apenas 0,4  $\mu mol/L$  (2,01  $\mu mol/L$  a 2,48  $\mu mol/L$ ) entre os picos de maré enchente e vazante. O material em suspensão variou de 15 mg/L a 40 mg/L, com picos próximos ao momento de vazante, com uma queda mais abrupta próximo à maré enchente. A turbidez variou de 10 a 60 UNT, com um comportamento similar ao material em suspensão.



Figura 28. Variação do silicato (a), fosfato (b) dissolvidos, material em suspensão (c) e turbidez (d) no dia 29 de março de 2017 no ponto Mathias.

#### 5.5.1.3 VALO GRANDE

A temperatura no Valo Grande (Fig. 29a), ao contrário do ponto Mathias, apresentou valores um pouco mais altos no fundo do que na superfície. A variação ao longo do tempo e entre as profundidades não passa de 1°C, variando entre 25°C e 26°C. A temperatura na superfície permaneceu relativamente constante ao longo do dia variando 0,2°C. A temperatura da água no fundo mais alta do que na superfície evidencia uma influência maior da maré nessa área. A água do mar que entra no sistema estuarino geralmente é mais quente que as águas vindas do continente. Por serem mais densas que a água doce, entra pelo fundo e vai aquecendo o sistema gradualmente. No Valo a temperatura da água de fundo chega a ser quase 1 °C mais quente na velocidade máxima de maré enchente (Fig. 16).

A salinidade (Fig. 29b), assim como a temperatura, tem valores mais altos no fundo do que na superfície, onde permanece relativamente constante ao longo do dia (com variações a partir da terceira casa decimal). Enquanto no fundo, os valores são um pouco maiores do que na superfície, tendo uma oscilação de 0,02 ao longo do dia, com valores mais altos no máximo de maré vazante. As concentrações variaram entre 0,045 a 0,060.

O oxigênio dissolvido (Fig. 29c) durante a manhã teve valores um pouco maiores no fundo, na parte da tarde os valores maiores estavam em superfície. Tanto na superfície quanto no fundo os valores oscilaram entre 4,47 a 4,85. Por volta das 18h, as concentrações de OD na superfície e no fundo se igualaram e aumentaram, quando comparadas àquelas ao longo do dia. Apesar desse aumento, a variação foi apenas na primeira casa decimal. A concentração na superfície variou conforme o nível do mar e no fundo a variação foi crescente ao longo dia.

Os valores de pH (Fig. 29d) foram diminuindo ao longo dia, com uma queda maior nas águas de fundo. Os valores variaram entre 6,5 a 6,6. Na superfície, a partir das 11 horas o pH permaneceu relativamente constante, variando 0,01. Os valores mais ácidos no período de maré enchente só confirmam que apesar da maré ter uma influência maior na área do Valo Grande, não há evidências da entrada significativa da água salgada rio adentro, havendo apenas o registro do aumento do nível da água.



Figura 29. Variação de temperatura (a), salinidade (b), oxigênio dissolvido (c) e pH (d) no dia 29 de março de 2017 no ponto Valo Grande.

Ao contrário do pH, o silicato (Fig. 30) aumentou ao longo do dia, com uma intensidade maior nas águas de fundo. Na superfície a concentração variou entre 110 a 120  $\mu mol/L$ . Esta variação não parece ter ligação com o movimento de maré no fundo, sendo que apenas na superfície há variação de acordo com o nível do mar.

Os valores de fosfato dissolvido (Fig. 30b) permaneceram relativamente constantes no fundo, variando menos que 0,05  $\mu mol/L$ . Na superfície, as concentrações de fosfato dissolvido variaram de 2,36  $\mu mol/L$  durante a manhã, até 2,60  $\mu mol/L$  à noite, aumentando ao longo do dia.

O material em suspensão (Fig. 30c) apresentou variações similares na superfície e no fundo. Na superfície houve uma queda de 66 mg/L no período de maré vazante para 26 mg/L no período de maré enchente, enquanto que no fundo das 10h até às 20h a concentração variou de 33 mg/L a 23 mg/L, com uma queda mais acentuada no máximo de maré enchente (17 mg/L).

A turbidez (Fig. 30d) teve variações parecidas entre a superfície e o fundo ao longo dia, com uma continua queda ao longo dia variando de 48,1UNT pela manhã para 13 UNT à noite.



Figura 30. Variação do silicato (a), fosfato (b), material em suspensão (c) e turbidez (d) no dia 29 de março no Valo Grande.

## 5.5.2 AMOSTRAGEM DE AGOSTO (inverno)

No período do inverno, com a temperatura do ar mais baixa e menor pluviosidade, a biogeoquímica dos elementos no sistema hídrico tende a se modificar.

A tabela 9 mostra os resultados físicos e químicos do campo realizado no dia 23 de agosto de 2017 no Rio Ribeira de Iguape, nos mesmos pontos de realizados em março do mesmo ano.

A temperatura da água no Rio Ribeira apresentou valores em torno de 19°C, com uma variação de 0,1°C ao longo do dia. Em 2014, Scigliano (2016) encontrou em amostragem de inverno, temperaturas mais altas no rio, com uma média de 22,8 °C, o que mostra um inverno mais rigoroso em 2017, como aconteceu nos trabalhos de Eschrique (2011) e Coelho (2011).

Os valores de salinidade foram bem mais homogêneos entre os 3 pontos do rio quando comparado aos obtidos no verão, com valores máximos e mínimos entre 0,027 e 0,038. Valores semelhantes foram encontrados por Chiozzini (2017) e Scigliano (2016).

Os valores de pH aumentaram de março para agosto, com valores mais alcalinos e mais homogêneos em agosto (maior desvio padrão foi de 0,142 no Valo Grande). Os valores encontrados são similares aos valores de inverno encontrados por Chiozzini (2017) e Agostinho (2015).

O oxigênio dissolvido apresentou valores maiores que no período de verão, que devem estar associados à menor temperatura da água que permite maior dissolução dos gases dissolvidos e aos ventos que ocorrem no período. Esse padrão também foi observado na mesma região por Berbel (2008), Maluf (2009), Coelho (2011), Eschrique (2011) e Bastos (2014). Os valores estiveram torno de 7,30 mL/L, o que faz do sistema um ambiente bem oxigenado. As concentrações obtidas são maiores do que as encontradas por Agostinho (2015) e Bastos (2014).

Tabela 9. Estatística descritiva dos dados físicos e químicos das coletas de agosto de 2017

	Bifurcação				Valo Grande				Mathias			
	T(°C)	S	рН	02	T(°C)	S	рН	02	T(°C)	S	рН	02
Máximo	19,1	0,038	7,54	7,64	19,2	0,0325	7,71	7,6	19,9	0,029	7,36	7,51
Mínimo	18,7	0,029	7,31	7,46	18,7	0,0267	7,35	7,46	18,9	0,027	7,30	7,37
Média	18,83	0,03	7,41	7,53	18,96	0,0295	7,47	7,5	19,28	0,028	7,34	7,43
Mediana	18.75	0,033	7,41	7,53	18,95	0,0292	7,41	7,47	19,1	0,028	7,34	7,42
Desvio padrão	0,17	0,079	0,041	0,056	0,206	0,0019	0,142	0,054	0,37	0,0008	0,019	0,037

Os valores obtidos de fosfato dissolvido (Tab. 10) foram bem menores do que os obtidos no período de verão (Tab.8), os quais já foram considerados baixos comparados aos resultados encontrados na região por Eschrique (2011), Coelho (2011), Bastos (2014), Scigliano (2016) e Chiozzini (2017), no inverno. Em agosto de 2012, Agostinho (2015) encontrou valores que atingiram 12,45  $\mu mol/L$  no Valo Grande, 10 vezes maior do que o encontrado na mesma região em 2017 (em torno de 1  $\mu mol/L$ ). Apesar da diferença entre os valores, as possíveis fontes que contribuem para o aumento das concentrações na região, apontadas por Agostinho (2015) e Scigliano (2016) são: os dejetos da agricultura e mineração que ocorrem nas áreas marginais ao longo do percurso do rio. Os valores obtidos no atual estudo se assemelham mais com os valores obtidos em outros rios (Yamamoto *et al.*, 2016; Ménesguen *et al.*, 2018), mostrando que no

período d e amostragem houve um menor aporte de fosfato pelas fontes indicadas pelos primeiros autores.

O silicato dissolvido (Tab. 10) ao contrário do fosfato dissolvido, apresentou valores que atingiram quase o dobro dos valores encontrados no período de verão (Tab. 8). As concentrações ficaram em torno de 220  $\mu mol/L$ . Esta faixa de valores também observada por Bastos (2014).

Os valores do material particulado em suspensão na amostragem de inverno apresentaram uma queda em suas concentrações em relação aos obtidos em março. Os valores estão em torno de 9 mg/L, variando entre 4 mg/L a 27 mg/L. Os resultados obtidos se assemelham aos encontrados no rio Ribeira por Bastos (2014) e Scigliano (2016), nos invernos de 2012 e 2014, respectivamente.

Tabela 10. Estatística d	lescritiva dos c	dados hidro	biogeoquímicos	das co	letas d	e agosto
		do 2017*				

		Bifurcação	)		Valo Grande	l		Mathias			
	Fosfato μmol/L	Silicato µmol/L	MPS mg/L	Fosfato μmol/L	Silicato μmol/L	MPS mg/L	Fosfato μmol/L	Silicato μmol/L	MPS mg/L		
Máximo	1,217	238	12,06	1,199	242	16,66	1,4	244,5	27,27		
Mínimo	0,793	214	6,02	0,581	202,5	2,32	1,0	208	4,629		
Média	1,066	223,81	9,6	1,020	227,38	9,93	1,12	224,95	14,43		
Mediana	1,14	220,75	9,72	1,120	226	9,74	1,04	223	15		
Desvio padrão	0,15	9,211	2,066	0,21	12,302	4,63	0,133	10,03	6,58		

\* Os valores de turbidez não foram medidos nessa campanha.

# 5.5.2.1. BIFURCAÇÃO

A temperatura no ponto Bifurcação (Fig. 31a) variou 0,4 °C, com valor médio de 18,7 °C, tendo uma queda apenas quando anoiteceu. As águas de fundo estiveram alguns graus mais quentes do que as águas de superfície, o que pode ser atribuído ao menor contato e trocas com a atmosfera, que no dia da coleta, que estava por volta dos 16°C (Fig. 11).

A salinidade (Fig. 31b) variou de forma similar na superfície e no fundo, não tendo muita relação com a variação da maré (Fig. 19). Os valores variaram a partir da terceira casa decimal, com seu valor mínimo coincidindo com a máximo de maré enchente. Antes do pico de maré enchente na região os valores de fundo foram maiores que os de superfície e depois do pico de maré enchente a superfície apresentou as maiores concentrações. Os valores ficaram em torno de 0,03 variando cerca de 0,008 ao longo dia.

O pH (Fig. 31c) variou de forma similar à temperatura no fundo, permanecendo relativamente constante até às 16h e, apresentando uma queda considerável no início da noite. Assim como no fundo, os valores de superfície permaneceram relativamente constantes pela manhã até por volta das 16h (com uma variação menor que 0,05 permanecendo em torno de 7,4), tendo um pico de 7,54 no ponto máximo de maré enchente (Fig. 19). De um modo geral, os valores de pH variaram entre 7,31 e 7,54.

O oxigênio dissolvido (Fig. 31d), apresentou uma variação acompanhando o nível do mar (Fig. 19), com o pico de concentração na água de superfície no momento de máxima maré vazante e concentração mínima no máximo de maré enchente, mostrando um comportamento oposto àqueles dos parâmetros citados anteriormente neste ponto de coleta. Nas águas de fundo a variação foi mínima, em torno de 7,5 mL/L com menos de 0,05 de variação durante o dia.



Figura 31. Variação da temperatura (a), salinidade (b), pH (c) e oxigênio dissolvido (d) no ponto Bifurcação em 23 de agosto de 2017.

O fosfato dissolvido (Fig. 32a) nas águas de fundo não apresentou variações acentuadas a longo dia ficando com valores próximos de 1,1  $\mu mol/L$ 

variando entre 1,0  $\mu mol/L$  e 1,2  $\mu mol/L$ , com seu maior valor observado no ponto máximo do nível da maré na região. Nas águas de superfície, a variação acompanhou a variação da maré, com os pontos de máximo e mínimo nos pontos máximos de maré vazante e enchente, respectivamente. As concentrações na superfície variaram de 0,79  $\mu mol/L$  a 1,2  $\mu mol/L$ .

O silicato dissolvido (Fig. 32b) obtido no inverno teve uma variação muito similar ao padrão observado no verão (Fig. 26a). A variação observada não acompanhou a variação da maré ao longo do tempo, sendo menor que no verão, apesar dos valores terem sido mais altos, o que normalmente ocorre no inverno. Os valores de água de fundo permaneceram maiores que na superfície na maior parte do tempo e sua variação foi de 214  $\mu mol/L$  a 238  $\mu mol/L$ . As concentrações de silicato dissolvido na superfície apresentaram variações menores que no fundo ao longo do dia, variando entre 214  $\mu mol/L$  a 225  $\mu mol/L$ .

O material em suspensão (Fig. 32c), assim como o fosfato dissolvido, acompanhou a variação da maré, porém com as menores concentrações próximas ao máximo de maré vazante e, as maiores concentrações próximas à maré enchente. A variação na superfície ficou entre 6 mg/L a 12 mg/L. No fundo, as concentrações variaram menos, estando entre 9 mg/L e 11 mg/L.



Figura 32. Variação do fosfato (a), silicato dissolvidos (b) e material em suspensão (c) no ponto bifurcação no dia 23 de agosto de 2017.

No inverno, a influência do nível do mar no ponto bifurcação foi menor do que o encontrado no verão, sendo observada uma interferência do represamento da água apenas na superfície. Na água de fundo, com exceção do silicato dissolvido, houve uma pequena variação em suas concentrações ao longo do tempo.

## 5.5.2.2. MATHIAS

A temperatura da água no ponto Mathias (Fig. 33a) apresentou valores maiores na superfície do que no fundo. A variação dos valores foi no máximo de 1 °C durante o dia. As águas de fundo e de superfície variaram de forma semelhante ao longo do dia, com valores mais altos no período da manhã e mais baixos no período da tarde e ao anoitecer. De um modo geral, a temperatura da água variou entre 18,8 °C e 19,8°C.

A salinidade (Fig. 33b) apresentou valores com uma variação a partir da terceira casa decimal, indo de 0,027 a 0,029. Os valores de superfície foram maiores do que as águas de fundo, com exceção do período próximo à maré vazante.

O pH (Fig. 33c) teve uma variação de acordo com o nível do mar, com valores de máximo e mínimo coincidindo com os pontos máximos de maré enchente e vazante, respectivamente. A variação ocorreu a partir da segunda casa decimal (7,30 a 7,36).

Os valores de oxigênio dissolvido (Fig.33d) mostrou um comportamento oposto nas águas de superfície em relação a de fundo. Enquanto no fundo as concentrações foram mais altas na parte da manhã, diminuindo ao longo do dia e mantendo-se constante até à noite, na superfície verificou-se a situação inversa, com valores menores na parte da manhã e um aumento durante o dia até o período de estofa de maré enchente. Depois disso, a concentração começou a cair até a noite. A variação do oxigênio dissolvido manteve-se sempre alta, variando entre 7,37 mL/L e 7,47 mL/L na superfície e, entre 7,41 mL/L e 7,51 mL/L, no fundo.



Figura 33. Variação da temperatura (a), salinidade (b), pH (c) e oxigênio dissolvido (d) no ponto Mathias no dia 23 de agosto de 2017.

O fosfato dissolvido (Fig. 34a) variou de forma similar na superfície e no fundo, o que mostra uma certa homogeneidade do elemento na coluna d'água. Sua concentração variou de 1,0  $\mu mol/L$  a 1,4  $\mu mol/L$ . Suas concentrações mais altas foram obtidas no período da manhã, com uma contínua diminuição ao longo do dia, o que pode estar associado à atividade biológica.

O silicato dissolvido (Fig. 34b) apresentou comportamento diferente na superfície em relação ao fundo. Na superfície, os valores foram altos durante a manhã (com o máximo de 244,5  $\mu mol/L$ ) decaindo até às 13h, chegando ao valor mínimo de 208  $\mu mol/L$ . No período da tarde, a concentração na superfície se manteve relativamente constante até ao anoitecer, em torno de 220  $\mu mol/L$ . Nas águas de fundo, os valores tiveram menor variação do que na superfície, permanecendo com concentrações em torno de 220  $\mu mol/L$  com apenas um pico (238  $\mu mol/L$ .), no início da tarde.

O material em suspensão (Fig. 34c) na superfície variou de 10 mg/L a quase 29 mg/L ao longo do dia, com um pico de concentração (27,27 mg/L) próximo ao ponto máximo do nível do mar (Fig. 19). As águas de fundo permaneceram com a concentração constante no período da manhã (em torno de 9 mg/L) e por volta das 14h30 a concentração atinge seu ponto mínimo (4,62

mg/L) e logo após aumenta novamente sua concentração, permanecendo com valores por volta de 14 mg/L.



Figura 34. Variação do fosfato (a), silicato dissolvidos (b) e material em suspensão (c) no ponto Mathias no dia 23 de agosto de 2017.

#### 5.5.2.3. VALO GRANDE

A temperatura da água no Valo Grande (Fig. 35a), assim como nos outros pontos do rio, apresentou valores maiores no fundo do que na superfície devido ao fenômeno já descrito na seção 5.5.2.1. Os valores foram maiores na parte da manhã com contínua queda durante o dia. A variação foi de 0,5 °C e os valores variaram de 18,7°C para 19,2°C.

Os valores de salinidade (Fig. 35b) variaram de forma diferente nas águas de superfície e de fundo. Na superfície, a variação dos valores foi consideravelmente maior que no fundo, com a concentração mínima no período da manhã (0,0267) chegando ao seu valor máximo no início da tarde (0,0325) e depois, houve uma continua queda. No fundo, os valores oscilaram entre 0,028 a 0,030.

O Valo Grande foi o ponto que mostrou maior variação de pH (Fig. 35c) no período do inverno. No período da manhã, tanto a superfície quanto o fundo,

os valores permaneceram constantes (em torno de 7,35) e foram aumentando a partir do 12h, atingindo o máximo (7,7) por volta das 17h.

O oxigênio dissolvido (Fig. 35d) apresentou valores próximos na superfície (em torno de 7,46 mL/L). No fundo, os valores variaram entre 7,5 mL/L e 7,6 mL/L, atingindo o máximo por volta das 17h.



Figura 35. Variação da temperatura (a), salinidade (b), pH (c) e oxigênio dissolvido (d) no ponto Valo Grande no dia 23 de agosto de 2017.

Os valores de fosfato dissolvido (Fig. 36a) foram maiores no fundo do que na superfície. As águas de fundo permaneceram com concentrações relativamente constantes, com o valor em torno de 1,1  $\mu mol/L$ . Na superfície, a variação foi maior, com um valor próximo de 1,1  $\mu mol/L$  no período da manhã, uma diminuição ao longo do dia até chegar ao mínimo de 0,58  $\mu mol/L$ , às 16:48h. A concentração voltou a subir a noite para 1,1  $\mu mol/L$ .

Os valores de silicato dissolvido (Fig. 36b) tiveram variações diferentes na superfície e no fundo. Os valores de superfície apresentaram um contínuo aumento ao longo do dia. De 202, 5  $\mu mol/L$  pela manhã, chegando a 235  $\mu mol/L$  no início da tarde, ocorrendo uma pequena queda por volta das 17h e novamente um aumento à noite (242  $\mu mol/L$ ). No fundo, a variação foi bem menor,

permanecendo por volta de 225  $\mu mol/L$  durante o dia e só apresentando um valor máximo de 240  $\mu mol/L$  à noite.

O material em suspensão (Fig. 36c) teve uma variação maior no fundo, começando com 13 mg/L pela manhã, diminuindo para 2,32 mg/L por volta de 12:30h e um considerável aumento de 16,6 mg/L à noite. Na superfície, os valores estiveram relativamente constantes, por volta de 9 mg/L durante o dia e um valor máximo de 14,2 mg/L, atingido à noite.



Figura 36. Variação do fosfato (a), silicato dissolvidos (b) e material em suspensão (c) no ponto Valo Grande no dia 24 de agosto de 2017.

Na amostragem de inverno o rio apresentou variação em suas características hidrodinâmicas e biogeoquímicas. As águas de fundo apresentaram temperaturas maiores nos três pontos de coleta, concentrações relativamente constantes na maioria dos parâmetros analisados e pouca influência da maré.

Nas águas de superfície, a influência da maré foi similar ao que foi obtido no verão, mudando apenas a concentração dos parâmetros.

Considerando os resultados apresentados anteriormente (em março e agosto), fica evidente que os 3 pontos do Rio apresentam comportamentos

hidrológicos e biogeoquímicos relativamente diferentes uns dos outros, em função da posição geográficas e dos processos que atuam em cada um. Ogston et al. (2017) também observou diferenças na hidrodinâmica ao longo de um rio dominado por maré.

A bifurcação é o ponto que mostrou menor influência do nível do mar se comparado aos outros dois pontos, apresentando variações principalmente em decorrência da dinâmica do Rio do que da variação da maré, apesar de esta ainda ter certa influência no local. O ponto Mathias e Valo Grande teve resultados mais correlacionados com a variação do nível do mar, apesar de não apresentarem variações muito acentuadas na concentração, com exceção da variação do silicato dissolvido. Suas variações indicaram a influência da maré, estando relacionadas somente à hidrodinâmica. A água do mar não atingiu nenhum dos três pontos analisados. Isso foi confirmado pelos valores de salinidade, que variaram pouco (segunda casa decimal) ficando sempre abaixo de 0,06. Diversos autores observaram que a interface estuário-rio apresenta uma hidrodinâmica e aporte terrígeno único para cada sistema estuarino, que irá variar com a intensidade da influência marinha e fluvial na região (GIBBS, 1967; WRIGHT & COLEMAN, 1974; MCLACHLAN et al., 2017).

Confirmou-se aqui que a sazonalidade continua sendo um fator importante na hidrodinâmica e biogeoquímica da região, tanto devido a diferença de temperatura, como em relação às taxas de pluviosidade, dinâmica dos ventos e correntes marinhas (BÉRGAMO, 2000; HARARI; FRANÇA; MARQUES, 2007; SCIGLIANO, 2016). Portanto, a variação dos parâmetros ambientais como da sazonalidade deve constituir um fator importante a ser considerado na modelagem.

## 5.6. MODELO HIDRODINÂMICO

A partir dos resultados do modelo hidrodinâmico será possível compreender melhor as principais forçantes que atuam no sistema estuarino como também sua influência na dispersão dos nutrientes e outros parâmetros ambientais.

O modelo Delft3D®, aplicado neste estudo, apresenta como resultado de processamento a variação do nível do mar, temperatura, salinidade e

intensidade das correntes, em um segundo momento, passa-se ao estudo da dispersão dos nutrientes nos principais pontos de estudo da região.

### 5.6.1 MARÇO

A elevação do nível do mar, além de ser influenciada pelas marés, tem interferência dos ventos, da distribuição de temperatura e salinidade, gradientes de pressão atmosférica e até de movimentos verticais da crosta terrestre (SCHMIEGELOW, 2004; STEWART, 2008; TALLEY *et al.*, 2011). Neste trabalho, os últimos dois parâmetros não foram considerados no modelo.

Apesar do vento ter uma grande interferência nas correntes, elas são mais intensas em regiões com maiores profundidades, pois em águas rasas o atrito com o fundo atenua sua intensidade. Consequentemente, as correntes de maré tornam-se predominantes próximo à costa (STEWART, 2008; TALLEY et al., 2011).

A hidrodinâmica dentro do estuário é de crucial importância para o entendimento da dispersão dos nutrientes provenientes da descarga dos rios (JI, 2008). Assim, as correntes marinhas no estuário foram avaliadas de duas em duas horas, para analisar cada período de tempo ao longo do ciclo de maré, observando suas consequências dentro do sistema conjuntamente com a variação da salinidade.

Na figura 37a, observa-se que as correntes marinhas estão vindo de sudeste para a região. Na parte Sul, essas correntes entram facilmente no sistema, começando a alterar o sentido das correntes dentro do estuário, enquanto na parte norte, a descarga do Rio Ribeira é dominante, atenuando e mudando o sentido das correntes na costa. A intensidade das correntes no sistema ficou em torno de 0,2 m/s, com exceção dos resultados nas desembocaduras e no Valo Grande, onde as velocidades ultrapassam 1,0 m/s.

Na figura 37b, passado duas horas da situação anterior, as correntes marinhas estão mais intensas, de nordeste, alterando totalmente o sentindo das correntes na parte sul. O fluxo em volta da Ilha de Cananeia está totalmente em direção ao continente. No Mar Pequeno o fluxo é em direção à Ilha de Cananéia e na Barra do Icapara as correntes se sobrepõem à descarga fluvial, conseguindo entrar no sistema. O Rio Ribeira continua com o seu sentido inalterado, com exceção da desembocadura do braço natural do rio, local onde muda de sentindo. As correntes são mais intensas na proximidade da Barra de Trapandé (> 1,0 m/s) e na parte mais ao norte do Mar Pequeno (em torno de 0,8 m/s).



Figura 37. Intensidade e direção das correntes no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 29 de março de 2017, às 4h (a) e 8h (b) obtido pelo modelo Delft3D®.

Na figura 38(a e b), pode-se observar como a entrada da água do mar vai se sobrepondo à descarga fluvial, devido à maior intensidade das correntes

(comparar as Figura 38a para a 38b). Na figura 38b a barra do Icapara já apresentou salinidade maior que 25. Apesar da entrada das correntes marinhas no sistema norte, a salinidade no Mar Pequeno permaneceu 0.



Figura 38. Salinidade no complexo sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 29 de março de 2017, às 4h(a) e 8h(b) obtido pelo modelo Delft3D®.

.



Figura 39. Intensidade e direção das correntes no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 29 de março de 2017, às 6h (a) e 10h (b) obtido pelo modelo Delft3D®.

Passando-se duas horas da situação observada na Figura 37b, as correntes marinhas ficam paralelas à costa, indo em direção ao Sul no setor mais próximo à Ilha de Cananeia e, em direção ao Norte no setor próximo à barra do Icapara (Fig. 39). Dentro do estuário as correntes marinhas continuam se sobrepondo à descarga fluvial, alterando a direção e intensidade do fluxo estuarino. No Valo Grande, a intensidade da corrente é mínima, bem próximo a 0, porém seu sentindo permanece o mesmo. As correntes estão mais intensas

junto à Ilha de Cananéia, com setores onde a velocidade ultrapassa 1,0 m/s. No mar Pequeno, as velocidades estão em torno de 0,6 m/s. Na Figura 40a, que representa o mesmo instante de tempo da figura 38a, a salinidade na barra do Icapara aumenta, chegando a valores próximos de 30. Nas regiões próximas ao Valo Grande e porção sul do Mar Pequeno, a salinidade permanece em torno de 0. Na Ilha de Cananeia a predominância da água marinha se mantém (15 a 35).

Na figura 39b, as correntes marinhas são perpendiculares à costa e em direção ao mar aberto no setor Norte, enquanto são paralelas à costa com direção Norte no setor Sul. O sentido das correntes dentro do estuário se inverte, e a descarga fluvial predomina na porção final do Mar Pequeno e na Barra do Icapara. O Valo Grande é a região com maior velocidade, chegando a valores maiores que 2,0 m/s. As duas barras também apresentam velocidades altas quando comparadas ao restante do complexo estuarino e plataforma adjacente (> 1,0 m/s).

Os valores de salinidade (Fig. 40b) mostram com maior evidência as regiões com predominância fluvial e aquelas com predominância marinha. Na Barra do Icapara, os valores de salinidade ainda estão altos (por volta de 25) porém, comparado à Figura 40a, a intensidade é menor. Com exceção da Ilha de Cananeia e a Barra do Icapara, o sistema permanece com valores próximo a 0, evidenciando a grande influência da descarga fluvial. As águas em torno da Ilha de Cananeia apresentaram valores típicos de águas salobras e salinas (15 a 35).



Figura 40. Salinidade no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 29 de março de 2017 às 8h (a) e 10h (b) obtido pelo modelo Delft3D®.

As correntes marinhas apresentadas na figura 41a aumentaram consideravelmente em relação ao instante de tempo anterior analisado (Fig.

39b), com correntes mais intensas e paralelas à costa no setor Sul e com menor intensidade e em direção ao mar aberto no setor Norte. Essa atenuação e mudança de sentido das correntes no setor Norte na plataforma são devidos à intensa descarga fluvial proveniente da Barra do Icapara. Dentro do estuário, as correntes estão todas direcionadas ao mar aberto, com uma intensidade maior no setor Norte, principalmente no Valo Grande (> 2,0 m/s). As correntes estuarinas apresentaram valores em torno de 0,5 m/s no Mar de Cananéia e de Cubatão. Valores menores que 0,5 m/s foram observados na parte mais ao Sul do mar Pequeno, enquanto velocidades ultrapassando 1,0 m/s foram obtidas no setor mais ao Norte do Mar Pequeno.

Observando a figuras 40b e 41a, nota-se que a salinidade apresentou uma variação mais evidente na Barra do Icapara, com valores próximos a 0, chegando a valores entre 20 e 35 na sua foz.

Na figura 41b, as correntes marinhas são mais intensas, paralelas à costa indo para o Norte, quando observada nas proximidades de Cananéia e, diminuindo de intensidade e variando a direção para o mar aberto à medida que se aproxima da desembocadura de Icapara. Dentro do estuário, a direção do fluxo permanece para o mar aberto, com a diferença apenas na intensidade, que está consideravelmente menor no setor Sul (< 0,4 m/s). Na porção Norte, a descarga fluvial permanece alta, com uma velocidade maior próximo à barra de Icapara (> 2,0 m/s).

A salinidade, no mesmo instante de tempo (Fig. 42b), mostra com clareza a pluma do Rio na Barra de Icapara, diminuindo consideravelmente a salinidade das águas da costa em relação às adjacentes, com um alcance maior comparado ao apresentado na figura 42a (0 a 30). O restante do sistema não apresentou variações evidentes nos valores de salinidade em relação aos instantes anteriores.



Figura 41. Intensidade e direção das correntes no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 29 de março de 2017, às 12h (a) e 14h (b) obtido pelo modelo Delft3D®.





#### 5.6.2 AGOSTO

Na figura 43a, as correntes na plataforma são para sudoeste, com intensidade maior ao Norte (> 1,5 m/s) e menor no Sul (< 0,5 m/s). A principal explicação para as velocidades maiores no setor Norte é influência da descarga do Rio Ribeira de Iguape, saindo da Barra do Icapara com valores superiores a 2,0 m/s. Essa influência do rio é evidenciada na figura 44a, onde na plataforma é possível ver salinidades abaixo de 35, coincidido exatamente com regiões de maior velocidade. Dentro do estuário, as correntes são mais intensas no setor Norte (> 1,0 m/s) se comparado ao Sul (em torno de 0,5 m/s). O estuário como um todo apresenta correntes em direção ao mar aberto, com um máximo de velocidade no Valo Grande (>1,5 m/s). A direção do fluxo de água estuarina indo para o mar aberto é evidenciada na figura 44b, que mostra o sistema em sua totalidade, sendo influenciado pela descarga fluvial, onde os valores próximos a 0 chegam na Barra do Icapara.

A influência da descarga fluvial na região (Fig. 43b) permanece alta, com intensidade maior comparada a figura 43a. As correntes marinhas ao Sul do sistema, mudam de direção e vão de encontro às correntes vindas do Norte. Na figura 44b esse fenômeno é evidenciado pelas diferenças de valores de salinidade na plataforma onde as correntes se encontram.

Dentro do estuário, as correntes permanecem direcionadas para o mar aberto, porém com maior magnitude que o mostrado na figura 43b. Nas duas desembocaduras, as velocidades ultrapassam 1,5 m/s. O mar de Cananéia e o de Cubatão apresentam velocidades um pouco maiores que 1,0 m/s. O sistema Norte apresenta valores entre 1,0 m/s e 1,5 m/s, onde o Valo Grande apresenta a maior magnitude (>1,5m/s). Na figura 44b, a pluma do Rio Ribeira de Iguape parece maior na plataforma quando comparada à figura 44a. Os valores de salinidade variam entre 30 e 35 na plataforma. No estuário, os valores permanecem em torno de 0 em todo o setor Norte até a pedra do Tombo e varia de 0 a 35 na porção Sul.



Figura 43. Intensidade e direção das correntes no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 24 de agosto de 2017, às 10h (a) e 12h (b), obtido pelo modelo Delft3D®.





Na figura 45a, a descarga fluvial se mantém predominante no sistema, amplificando as correntes marinhas ao Norte da região, mantendo os padrões observados na figura 43b. A principal diferença entre as duas figuras é a intensidade das correntes no Mar de Cananéia e de Cubatão, que são consideravelmente menores (variando entre 0,2 m/s e 0,8 m/s). A salinidade (Fig.

46a) permanece a mesma quando comparada à figura 44a, mostrando apenas a pluma do Rio Ribeira de Iguape maior dentro da plataforma.

Na figura 45 (a e b), observa-se uma inversão na direção das correntes marinhas na porção sul do estuário, exatamente no mar de Cananéia. A direção permanece a mesma no mar de Cubatão. Os valores variam de 0,2 m/s a 1,2 m/s na porção sul do estuário e, de 0,2 m/s a 1,4 m/s em sua plataforma adjacente. No setor Norte, os valores permanecem maiores que 1,0 m/s em toda sua extensão, com sua magnitude máxima localizada no Valo Grande (> 1,5 m/s).

Apesar do comportamento semelhante das correntes mostrado nas figuras 45a e 45b, os seus respectivos valores de salinidade variaram muito no intervalo de duas horas. Na figura 46b, a descarga do Rio Ribeira alcança quase todo o mar de Cubatão, resultando em águas salobras, variando entre 10 e 30. A pluma do rio se espalha, tanto ao sul quanto ao norte da barra de Icapara, com variações de salinidade de 0 a 30 em suas proximidades.





Figura 45. Intensidade e direção das correntes no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 24 de agosto de 2017, às 10h (a) e 12h (b), obtido pelo modelo Delft3D®.





Figura 46. Salinidade no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 24 de agosto de 2017 às 10h (a) e 12h (b), obtido pelo modelo Delft3D®.

Na figura 47a mostra que a intensidade das correntes diminuiu consideravelmente na região. Na plataforma, todas as correntes estão paralelas a costa, indo em direção a sudoeste e variando entre 0,2 m/s e 1,0 m/s. Dentro do estuário, as velocidades variam entre 0 a 0,6 m/s na parte Sul e 0 a 1,0 m/s ao Norte, com seu valor máximo localizado no Valo Grande.

Os dados de salinidade (Fig. 48a) para o mesmo período de tempo mostra uma variação na dispersão da pluma do Rio na plataforma, que agora se move em direção ao Sul. Os valores de salinidade no mar de Cubatão aumentam novamente, mostrando a entrada da água do mar na região. Os valores dentro do estuário ficam em torno de 0 no setor Norte e variam entre 15 e 35 nas proximidades da Ilha de Cananéia. No setor centro-sul do Mar Pequeno, a salinidade varia de 0 a 15.

Na figura 47b, a intensidade das correntes diminuiu na região, com valores de no máximo 1,0 m/s na plataforma e no estuário. A direção das correntes no estuário estão todas em direção ao continente, com exceção do Rio, que teve sua magnitude diminuída, porém o sentido permanece o mesmo.

Na figura 48b, que corresponde ao mesmo instante da figura 46b, a salinidade na barra do Icapara aumenta significativamente, variando entre 30 e 35. Os valores de salinidade no entorno da Ilha de Cananéia variam entre 20 e 35. No setor norte, a salinidade variou entre 0 e 35, enquanto que no setor centrosul do mar Pequeno, a variação vai de 0 a 20.



Figura 47. Intensidade e direção das correntes no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) no dia 24 de agosto de 2017, às 10h (a) e 12h (b) obtido pelo modelo Delft3D®.





No mês de agosto, a intensidade das correntes marinhas foi bem maior que no mês de março, que é consequência da sazonalidade dos ventos e dos sistemas frontais frios, como também foi observado por Yang (2016) na região entre Santos e Itanhaém, litorais Centro-Sul (SP).
A água proveniente do Rio Ribeira de Iguape atingiu mais rapidamente o mar de Cubatão no inverno, conseguindo alterar a salinidade das águas locais passando de doce para salobra em 12 horas. Lembrando que como o objetivo do modelo é simular a dispersão dos elementos provenientes do Rio Ribeira, aqui não foram considerados os outros rios que desaguam no sistema.

Com os resultados apresentados é possível verificar a entrada e saída das marés ao longo do tempo na região modelada. Porém, a água marinha só entra de fato no setor Sul do estuário, enquanto que, no Setor Norte, a entrada ocorre apenas nos primeiros quilômetros do extremo Norte do Mar Pequeno, como é mostrado nas figuras de salinidade (0 a 35). Valores de salinidade *in situ* foram registrados por Bastos (2014), que obteve salinidade 0 em todo o sistema Norte até o ponto mais ao Sul do Mar pequeno, encontrando águas salobras apenas no Mar de Cananéia e no Mar de Cubatão. Esse mesmo comportamento foi observado por Scigliano (2016) e Chiozzini (2017). O que confirma os resultados mostrados nas seções 5.3, 5.4 e 5.5, que mostram a maré entrando no sistema, atuando apenas como uma barreira física, represando a água doce dentro do estuário, o que é notório na distribuição de salinidade nesta área.

Carlos (2015) também usou o modelo Delft3D® na mesma região de estudo. A autora encontrou resultados semelhantes ao deste estudo, porém sem considerar o braço natural do rio e, evidenciou a abertura do Valo Grande como principal causa da grande influência do Rio Ribeira no setor Norte, afetando inclusive a economia da região, com enchentes ocasionais e afetando a disponibilidade da manjuba, principal espécie comercialmente explorada em Iguape.

O Valo Grande foi o setor com maiores intensidades das correntes do sistema, ultrapassando 2 m/s na maré vazante (Fig. 40b). Isso pode ser consequência da sua batimetria rasa e a intensa descarga proveniente do Rio Ribeira.

Na plataforma, a direção das correntes é influenciada não somente pela maré como também pelo vento e pela descarga fluvial, que ocasionalmente altera a direção e intensidade das correntes no setor norte da plataforma.

O modelo utilizado para a validação dos resultados hidrodinâmicos é modelo oceânico global do *CMEMS*. Portanto, os pontos escolhidos para comparação foram os localizados na plataforma adjacente ao sistema estuarino. Nas próximas seções serão abordados os resultados desta validação, para os meses de março e agosto de 2017.

#### 5.6.3.1 MARÇO

Nas tabelas 11, 12 e 13 estão os resultados dos parâmetros de validação escolhidos para este trabalho. Os pontos escolhidos foram o **Mar aberto Cananeia**, **Mar aberto Ilha Comprida** e **Mar aberto Icapara**, também chamados de pontos 12, 15 e 16, respectivamente.

A validação para o nível do mar obteve resultados excelentes nos três pontos de observação, com todos os parâmetros de validação apresentando resultados muito próximos do ideal, principalmente o coeficiente de Pearson, com valores muito próximos a 1. Nas figuras 49a, 49b e 49c é possível ver a eficiência do modelo para o nível do mar, com os resultados variando de forma muito semelhante com o modelo oceânico.

A temperatura teve o melhor resultado no ponto 15, com todos os parâmetros de validação apresentando bons resultados (Tab. 11) assim como seus valores ao longo do tempo, acompanhando de forma muito similar o modelo oceânico (Fig. 50a). Os pontos 15 e 16, como pode ser visto nas figuras 50b e 50c, apresentaram temperaturas mais baixas do que no modelo oceânico nas primeiras 300 horas do mês, apresentando um comportamento um pouco melhor nas últimas horas de processamento. Essa tendência se refletiu nos resultados de validação, com valores razoáveis e no limite do aceitado pelos parâmetros, com exceção do coeficiente de Pearson e AMSE, que estão indicados em vermelho nas tabelas 10 e 11. O melhor resultado nos pontos 15 e 16 foi o RMAE, que está com taxa de erro percentual em 14,53% e 15,65% respectivamente, que são taxas consideradas excelentes.

A componentes das correntes leste/oeste apresentaram bons resultados para os pontos 15 e 16 (Figs. 51b e 51c), com os coeficientes de validação dentro dos limites aceitáveis (Tab. 12 e 13). Porém o ponto 12 teve suas componentes de velocidade leste/oeste muito atenuadas se comparado aos valores do modelo oceânico (Fig. 51a). Essa discrepância foi refletida nos parâmetros de validação, principalmente o coeficiente de Pearson e Skill, que apresentam os piores resultados.

As componentes de velocidade norte/sul (Figs. 52a, 52b e 52c) em geral apresentaram bons resultados, com exceção do ponto 12 que teve novamente sua componente de velocidade muito atenuada dentro modelo. O coeficiente de Pearson foi o que apresentou resultados menos favoráveis, em torno de 0,7, tanto no ponto 15 quanto no 16 e, 0,58 para o ponto 12, ressaltando que o ideal desse parâmetro é o mais próximo de 1.

	DMC	Doguio	Booroon	Bearson	AMCE	DMAE		QLill
	RIVIS	Desvio	Fearson	realson	ANISE	RIVIAE	RIVIAE (%)	SKIII
		padrão		(significância)				
		RMS						
Nível do mar	0,11	0.05	0,96	0,01	0,11	0,13	12,79	0,89
Temperatura	0,1	0,40	0,86	0,02	0,32	0,11	10,59	0,91
Correntes Leste/Oeste	0,02	0,15	0,24	0,07	0,13	0,20	20,40	0,70
Correntes Norte/Sul	0,00	0,14	0,58	0,05	0,11	0,20	19,75	0,89

Tabela 11. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico no ponto 12 em março de 2017

### Tabela 12. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico no ponto 15 em março

	5140	<b>D</b> ·	007	2017	11105	DIALE		01.11
	RMS	Desvio	Pearson	Pearson	AMSE	RMAE	RMAE (%)	Skill
		padrão		(significância)				
		RMS						
Nível do mar	0,11	0,05	0,96	0,01	0,11	0,13	12,8	0,89
Temperatura	0,01	0,56	0,74	0,03	0,43	0,15	14,53	0,82
Correntes Leste/Oeste	0,03	0,10	0,76	0,03	0,08	0,1	10,30	0,91
Correntes Norte/Sul	0,02	0,12	0,72	0,03	0,1	0,2	19,94	0,88

	RMS	Desvio	Pearson	Pearson	AMSE	RMAE	RMAE (%)	Skill
		padrão		(significância)				
		RMS						
Nível do mar	0,11	0,04	0,96	0,01	0,11	0,13	12,69	0,90
Temperatura	0,24	0,62	0,72	0,04	0,47	0,16	15,65	0,70
Correntes	0,02	0,15	0,80	0,03	0,12	0,12	12,29	0,86
Leste/Oeste								
Correntes	0,00	0,12	0,70	0,04	0,10	0,19	19,45	0,88
Norte/Sul								

Tabela 13. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico no ponto 16 em março de 2017



Figura 49. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores do nível médio do mar (m) do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período correspondente a março de 2017 nos pontos 12 (a), 15 (b) e 16 (c).



Figura 50. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores de temperatura (°C) do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período de março de 2017 nos pontos 12 (a), 15 (b) e 16 (c).



Figura 51. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores das componente leste/oeste das correntes (m/s) do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período correspondente a março de 2017 nos pontos 12 (a), 15 (b) e 16 (c).



Figura 52. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores das componentes nortes/suis das correntes (m/s) do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período correspondente a março de 2017 nos pontos mar\_aberto\_cananeia (a), mar\_aberto\_ilha\_comprida (b) e mar\_aberto\_icapara (c).

#### 5.6.3.2 AGOSTO

Os resultados da validação do modelo hidrodinâmico nos pontos 12, 15 e 16, para o mês de agosto, estão nas tabelas 14, 15 e 16 respectivamente. Os gráficos de Nível do mar, temperatura, componentes leste/oeste e norte/sul de velocidades se encontram nas Figuras 53 a 56.

Assim como no mês de março, os resultados da validação do nível do mar em agosto estão excelentes em todos os pontos, com os parâmetros todos próximos do seu limite ideal (Tabs. 14,15 e 16). Os excelentes resultados de validação refletem a alta similaridade nas variações do nível do mar do modelo oceânico e do Delft3d-FLOW ao longo do tempo mostrados nas figuras 53a, 53b e 53c.

A temperatura apresentou bons resultados de validação nos três pontos de observação (Tabs. 14, 15 e 16) com maiores similaridades nos pontos 12 e 16 (Figs. 54a e 54c). No ponto 15 (Fig. 54b) os valores de temperatura modelados pelo Delft3D-FLOW têm amplitude menor. Apesar dessa atenuação da temperatura, o ponto 15 tem parâmetros de validação considerados aceitáveis para todos os parâmetros.

Os valores das componentes das correntes, assim como no mês de março, tiveram intensidades atenuadas no modelo costeiro, principalmente no ponto 12 (Figs. 55a e 56a), onde o coeficiente de Pearson (Tab. 14), para as duas componentes, apresentou valores baixos (0,27 e 0,58). Os outros dois pontos (Figs. 55b, 55c, 56b e 56c) apresentaram dados relativamente melhores se comparado ao mês de março, e apenas a componente Norte/Sul teve parâmetros comparativos um pouco abaixo do esperado, porém ainda considerados aceitáveis (Tabs. 15 e 16).

	RMS	Desvio	Pearson	Pearson	AMSE	RMAE	RMAE (%)	Skill
		padrão		(significância)				
		RMS						
Nível do mar	0,00	0,06	0,97	0,00	0,05	0,04	4,29	0,99
Temperatura	0,05	0,24	0,78	0,03	0,19	0,10	10,16	0,87
Correntes	0,02	0,15	0,27	0,07	0,12	0,20	19,67	0,80
Leste/Oeste								
Correntes	0,04	0,16	0,58	0,05	0,13	0,26	26,26	0,85
Norte/Sul								

Tabela 14. Validação dos resultados do modelo hidrodinâmico no ponto 12 em agosto de 2017

	de 2017										
	RMS	Desvio	Pearson	Pearson	AMSE	RMAE	RMAE (%)	Skill			
		padrão		(significância)							
		RMS									
Nível do mar	0,00	0,06	0,97	0,00	0,04	0,04	4,19	0,99			
Temperatura	0,05	0,22	0,81	0,03	0,16	0,10	9,61	0,87			
Correntes Leste/Oeste	0,04	0,11	0,86	0,02	0,09	0,10	10,39	0,94			
Compositor	0.00	0.40	0.00	0.04	0.40	0.00	00.00	0.00			
Correntes	0,02	0,12	0,09	0,04	0,10	0,20	20,32	0,90			
Norte/Sul											

# Tabela 15. Validação dos resultados do modelo hidrodinâmico no ponto 15 em agosto de 2017

## Tabela 16. Validação dos resultados do modelo hidrodinâmico no ponto 16 em agosto de 2017

	RMS	Desvio	Pearson	Pearson	AMSE	RMAE	RMAE (%)	Skill			
		padrão		(significância)							
		RMS									
Nível do mar	0,00	0,05	0,97	0,00	0,04	0,04	4,09	0,99			
Temperatura	0,09	0,21	0,86	0,02	0,18	0,09	9,07	0,89			
Correntes Leste/Oeste	0,07	0,19	0,87	0,02	0,16	0,15	15,07	0,88			
Correntes Norte/Sul	0,00	0,13	0,64	0,04	0,10	0,18	18,26	0,92			



Figura 53. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores de nível do mar do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período correspondente a agosto de 2017 nos pontos 12 (a), 15 (b) e 16 (c).



Figura 54. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores de temperatura do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período correspondente a agosto de 2017 nos pontos 12 (a), 15 (b) e 16 (c).



Figura 55. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores das componentes leste/oeste de velocidade do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período correspondente a agosto de 2017 nos pontos 12 (a), 15 (b) e 16 (c).



Figura 56. Resultados da validação do modelo hidrodinâmico: Comparação dos valores das componentes norte/sul de velocidade do modelo oceânico (em azul) e do Delft3D-FLOW (em vermelho) no período correspondente a agosto de 2017 nos pontos 12 (a), 15 (b) e 16 (c).

Os resultados encontrados para o mês de agosto são muito semelhantes aos de março, com o nível médio do mar apresentando resultados excelentes, resultados bons para a temperatura, e algumas discrepâncias nas componentes de velocidade norte/sul e leste/oeste, principalmente no ponto 12, que está localizado mais próximo à borda da grade.

Fiedler (2015) e Yang (2016) validaram o modelo hidrodinâmico Delft3D-FLOW na região costeira do Estado de São Paulo a partir dos métodos de validação aqui utilizados, onde ambos apresentaram resultados de boa qualidade para a elevação do nível do mar na região de estudo, assim como foi visto também no presente trabalho. As componentes de velocidade foram as que apresentaram resultados não tão condizentes com a modelagem oceânica global. A grade utilizada para a simulação é estreita em sua plataforma, o que pode ter afetado a simulação dos efeitos dos ventos na região. Como a região estuarina é dominada pela a ação da maré, a atenuação das componentes de velocidade das correntes geradas pelo vento não afetou os resultados dentro do sistema estuarino.

#### 5.7 MODELO GEOQUÍMICO – WAQ

Os resultados do modelo de qualidade da água do Delft3D® foram analisados nos pontos de observação Bifurcação, Valo Grande, Mathias, Ilha Comprida, Bugio, Icapara, Cananéia 1 e Trapandé, com o objetivo de acompanhar a dispersão dos elementos em estudo (silicato e fosfato dissolvidos e matéria inorgânica em suspensão) no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape. Os valores iniciais das concentrações do Rio Ribeira de Iguape foram os resultados apresentados no ponto Bifurcação nas campanhas de março e agosto de 2017. Foi assumido que os valores da bifurcação são os mesmos que a 6 km em direção à montante do rio, onde foi considerado o ponto de descarga fluvial na grade do modelo.

Todos os componentes estudados apresentaram comportamentos biogeoquímicos diferentes em cada ponto de observação do estuário. A água de superfície e de fundo de todos os pontos de observação não apresentaram diferenças significativas na amplitude e concentração dos resultados, o que indica que para maior precisão do modelo é necessário implementar mais processos ativos dos componentes biogeoquímicos (Tab. 2).

O silicato e fosfato dissolvidos e o material inorgânico em suspensão proveniente do Rio Ribeira chegaram em menos de 24 horas nos pontos Bifurcação (Figs. 57a, 57b, 59a, 59b, 61a, 61b, 63a, 63b, 65a, 65b, 67a e 67b), e Valo Grande (Figs. 57c, 57d, 59c 59d, 61c, 61d, 63c, 63d, 65c, 65d, 67c e 67d), que estão localizados na porção final do Rio (Fig. 7) e rapidamente atingiram o equilíbrio nos valores. A concentração até o final do mês permaneceu a mesma  $(3,0 gSi/m^3, 0,07 gPO_4/m^3 e 30 gMI/m^3 em março e 6 gSi/m^3, 0,03 gPO_4/m^3$ e 23  $gMI/m^3$  em agosto), o que mostra que nesses pontos, as concentrações não sofreram modificações identificáveis no Rio e tampouco foram afetadas por variações externas, como salinidade e maré. O ponto Mathias (Figs. 57e, 57f, 61e, 61f, 65e,65f), assim como o ponto Bifurcação e Valo grande, está localizado na porção final do Rio, porém 10 km mais distante (Fig. 7), o que faz com que essa região apresente as mesmas características descritas acima, porém com um atraso maior na chegada dos componentes biogeoquímicos na região (cerca de dois dias). No mês de agosto a maré consegue influenciar nas concentrações do silicato e fosfato dissolvidos e matéria inorgânica em suspensão nos primeiros dias (Figs. 59e, 59f, 63e, 63f, 67e e 67f), com uma variação mínima ao longo do tempo. As concentrações chegam à mesma da origem em 5 dias nos dois meses modelados, permanecendo constante ao longo do tempo.

O ponto Ilha Comprida, localizado dentro do estuário (Fig. 7), demora 48 horas para receber pequenas concentrações de silicato e fosfato dissolvidos e matéria inorgânica em suspensão provenientes do Rio Ribeira (Figs. 57g, 57h, 59g e 59h, 61g, 61h, 63g, 63h, 65g, 65h, 67g e 67h). Essas concentrações vão aumentando gradualmente ao longo do tempo, apresentando concentrações iguais à origem em 22 dias. Nesse ponto foi possível verificar uma pequena interferência da maré quando a concentração é menor que 3  $gSi/m^3$ , 0,07  $gPO_4/m^3$  e 30  $gMI/m^3$  em março (Figs. 57e, 57f, 61e, 61f, 65e e 65f), mostrando que em pequenas quantidades a maré ainda consegue ter um papel de renovador de águas naguela região. Porém, a medida que o rio vai aumentando sua interferência no local, a maré não consegue influenciar na concentração dos componentes. No mês de agosto (Figs. 59g, 59h, 63g, 63h, 67g e 67h) a maré chega com maior intensidade nesse ponto, com uma variação bem maior nas concentrações nos primeiros 15 dias. Nos dias seguintes, a concentração continua a aumentar, porém a influência da maré é bastante reduzida permanecendo com o mesmo grau de influência até o momento em que a concentração atinge o equilíbrio, permanecendo constante. No momento em que se chega ao mesmo valor da concentração de origem (6,0  $gSi/m^3$ , 0,03  $gPO_4/m^3$  e 23  $gMI/m^3$ ) a maré permanece com uma certa influência na região, porém em menor escala.

O ponto Bugio (Fig. 7), demora cerca de 48 horas para apresentar as primeiras concentrações de silicato e fosfato dissolvidos e matéria inorgânica em suspensão (Figs. 58a, 58b, 60a,60b, 62e, 62f, 64a, 64b, 66e, 66f, 68a e 68b), chegando às mesmas concentrações de origem em 5 dias. A influência marinha

na região é suficiente para diminuir a concentração em 1,0  $gSi/m^3$ , 0,035  $gPO_4/m^3$  e 10  $gMI/m^3$  em março (Figs. 58a, 58b, 62e, 62f e 66e e 66f) e em até 2,0  $gSi/m^3$ ,0,01  $gPO_4/m^3$  e 5  $gMI/m^3$  em agosto (60a, 60b, 64a, 64b, 68a e 68b), permanecendo a maior parte dos dias com variações que refletem a variação do nível do mar na região.

O ponto Icapara (Fig. 7) apresentou as primeiras concentrações do silicato e fosfato dissolvidos e matéria inorgânica em suspensão em 72 horas, chegando às concentrações encontradas no rio em 8 dias em março (Figs. 58c, 58d, 62g, 62h, 66g e 66h) e em 12 dias em agosto (Figs. 60c, 60d, 64c, 64d, 68c e 68d). Por estar próximo a desembocadura do estuário, a renovação das águas é mais intensa, variando entre 0,5  $gSi/m^3$  e 3,0  $gSi/m^3$ , 0,02  $gPO_4/m^3$  e 0,07  $gPO_4/m^3$ e 5,0  $gMI/m^3$ e 30  $gMI/m^3$  em março (Figs. 59c, 59d, 63g, 63h, 67g e 67h). O mês de agosto apresentou variações entre 1,0  $gSi/m^3$  e 6,0  $gSi/m^3$ , 0,005  $gPO_4/m^3$  e 0,035  $gPO_4/m^3$  e 10  $gMI/m^3$  e 23  $gMI/m^3$  (Figs. 60c, 60d, 64c, 64d, 68c e 68d).

O ponto Cananéia 1, localizado no mar Pequeno (Fig. 7), demorou 14 dias para apresentar as primeiras concentrações de silicato e fosfato dissolvidos e matéria inorgânica em suspensão provenientes do rio Ribeira. Os valores alcançaram o ponto máximo de concentração em 22 dias, com 0,7  $gSi/m^3$ , 0,016  $gPO_4/m^3$  e 7,0  $gMI/m^3$  em março (Figs. 58e, 58f, 62a, 62b, 66a e 66b). Em agosto, os pontos máximos de concentração foram 0,6  $gSi/m^3$ , 0,0035  $gPO_4/m^3$  e 2  $gMI/m^3$  (Figs. 60e, 60f, 64e, 64f, 68e e 68f). Nos períodos observados houve influência da maré na região, que variou diariamente as concentrações em 0,2  $gSi/m^3$ , 0,006  $gPO_4/m^3$  e 1  $gMI/m^3$  no mês de março. Em agosto, apesar de ser possível observar uma certa interferência da maré na região, ela se comportou de forma bem irregular ao longo do tempo (Figs. 60e, 60f, 64e, 64f, 68e e 68f).

Na Barra de Trapandé (Fig. 7), o silicato e fosfato dissolvidos e matéria inorgânica em suspensão provenientes do rio Ribeira demoraram cerca de 15 dias para chegarem ao local, apresentando concentrações máximas de 0,02  $gSi/m^3$ , 0,00045  $gPO_4/m^3$  e 0,2  $gMI/m^3$  em março (Figs. 58g, 58h, 62c, 62d, 66c e 66d) e 0,0085  $gSi/m^3$ , 0,000045  $gPO_4/m^3$  e 0,03  $gMI/m^3$  em agosto (60g,

60h, 64g, 64h, 68g e 68h ). Em agosto, a influência da maré nos componentes modelados foi bem irregular no setor sul do sistema.



Figura 57. Concentração do silicato dissolvido  $(gSi/m^3)$  no mês de março de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bifurcação [superfície (a) e fundo



(b)], Valo Grande [superfície (c) e fundo (d)], Mathias [superfície (e) e fundo (f)] e Ilha Comprida [superfície (g) e fundo (h)].

Figura 58. Concentração do silicato dissolvido  $(gSi/m^3)$  no mês de março de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bugio [superfície (a) e fundo (b)], Icapara [superfície (c) e fundo (d)], Cananeia [superfície (e) e fundo (f)] e Trapandé [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 59. Concentração do silicato dissolvido  $(gSi/m^3)$  no mês de agosto de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bifurcação [superfície (a) e fundo (b)], Valo Grande [superfície (c) e fundo (d)], Mathias [superfície (e) e fundo (f)] e Ilha Comprida [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 60. Concentração do silicato dissolvido  $(gSi/m^3)$  no mês de agosto de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bugio [superfície (a) e fundo (b)], Icapara [superfície (c) e fundo (d)], Cananeia 1 [superfície (e) e fundo (f)] e Trapandé [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 61. Concentração do fosfato dissolvido  $(gPO_4/m^3)$  no mês de março de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bifurcação [superfície (a) e fundo (b)], Valo Grande [superfície (c) e fundo (d)], Mathias [superfície (e) e fundo (f)] e Ilha Comprida [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 62. Concentração do fosfato dissolvido  $(gPO_4/m^3)$  no mês de março de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Cananéia 1 [superfície (a) e fundo (b)], Trapandé [superfície (c) e fundo (d)], Bugio [superfície (e) e fundo (f)] e lcapara [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 63. Concentração do fosfato dissolvido  $(gPO_4/m^3)$  no mês de agosto de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bifurcação [superfície (a) e fundo (b)], Valo Grande [superfície (c) e fundo (d)], Mathias [superfície (e) e fundo (f)] e Ilha Comprida [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 64. Concentração do fosfato dissolvido  $(gPO_4/m^3)$  no mês de agosto de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bugio [superfície (a) e fundo (b)], Icapara [superfície (c) e fundo (d)], Cananéia 1 [superfície (e) e fundo (f)] e Trapandé [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 65. Concentração da matéria inorgânica em suspensão  $(g/m^3)$  no mês de março de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bifurcação [superfície (a) e fundo (b)], Valo Grande [superfície (c) e fundo (d)], Mathias [superfície (e) e fundo (f)] e Ilha Comprida [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 66. Concentração da matéria inorgânica em suspensão  $(g/m^3)$  no mês de março de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Cananéia 1 [superfície (a) e fundo (b)], Trapandé [superfície (c) e fundo (d)], Bugio [superfície (e) e fundo (f)] e Icapara [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 67. Concentração da matéria inorgânica em suspensão  $(g/m^3)$  no mês de agosto de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bifurcação [superfície (a) e fundo (b)], Valo Grande [superfície (c) e fundo (d)], Mathias [superfície (e) e fundo (f)] e Ilha Comprida [superfície (g) e fundo (h)].



Figura 68. Concentração da matéria inorgânica em suspensão  $(g/m^3)$  no mês de agosto de 2017 de acordo com o modelo WAQ nos pontos de observação Bugio [superfície (a) e fundo (b)], Icapara [superfície (c) e fundo (d)], Cananéia 1 [superfície (e) e fundo (f)] e Trapandé [superfície (g) e fundo (h)].

De acordo com o modelo, 100% do aporte proveniente do Rio Ribeira de Iguape alcança o sistema Norte do estuário, demorando cerca de dois dias para as primeiras concentrações dos compostos atingirem a região. Trabalhos anteriores já apresentaram essas altas concentrações de materiais provenientes do Rio Ribeira na parte Norte do complexo estuarino (COELHO, 2011; ESCHRIQUE, 2011; BASTOS, 2014; AGOSTINHO, 2015; SCIGLIANO, 2016; CHIOZZINI, 2017).

No modelo hidrodinâmico, o Valo Grande apresenta as maiores velocidades do sistema estuarino, chegando rapidamente à região e influenciando todo o setor norte com água fluvial (Figs. 37 a 48), sendo o principal fornecedor de aporte terrígeno para o estuário.

Esses componentes ficam retidos no sistema devido à pequena influência da maré, que não tem capacidade para mobilizar a descarga do aporte terrígeno proveniente do canal artificial, favorecendo o assoreamento da região, com o surgimento de bancos de areia, ilhas e um delta intralagunar em frente à desembocadura (ITALIANI; MAHIQUES, 2014).

No setor Sul do sistema, as concentrações provenientes do Rio Ribeira são baixas, a maior parte fica retida na porção Norte do sistema (Tab. 17). Os elementos demoram cerca de 15 dias para alcançar a porção Sul do estuário, chegando às concentrações máximas em torno de 22 dias. Apesar da entrada de componentes em Cananéia, a região consegue renovar suas águas periodicamente.

A intensidade da descarga de água é um fator determinante para o alcance dos componentes biogeoquímicos na região. Em março, onde a vazão apresentou valores maiores (Fig. 23), o aporte terrígeno no setor sul foi mais que o dobro do alcançado em agosto (Tab. 16), que apresentou menor descarga (Fig. 24). A relação entre a quantidade de descarga fluvial com a entrada do aporte terrígeno nos estuários também foi vista por Chen (2018), que identificou, assim como diversos autores, a importância da sazonalidade na quantidade de aporte terrígeno que entra no sistema estuarino pelos rios, que é diretamente influenciada pelo clima, erosão do solo e atividades antrópicas (WOODS, 2003; MILLIMAN et al., 2007).

A intensidade das correntes marinhas também influenciou a renovação das águas dentro estuário. Como foi observado no modelo hidrodinâmico, as

correntes marinhas foram mais intensas no mês de agosto, devido a sazonalidade dos ventos e aumento das frentes frias (FIEDLER, 2015; YANG, 2016). O setor norte do estuário apresentou uma significativa variação diária na concentração dos elementos em agosto, evidenciando a maior entrada de água marinha no sistema.

Tabela 17. Porcentagem da concentração dos elementos provenientes do Rio Ribeira									
que alcançam o setor sul do CELCI.									
	Silicato dissolvido	Fosfato dissolvido	Matéria	inorgânica					
	om susponsão								

	Silicato dissolvido		Fosfato dissolvido		Matéria ir	norgânica
					em suspensão	
	Can 1 <sup>a</sup>	Trap <sup>b</sup>	Can 1 <sup>a</sup>	Trap <sup>b</sup>	Can 1 <sup>a</sup>	Trap <sup>b</sup>
Março	23,9%	0,68%	22,8%	0,64%	23,3%	0,67%
Agosto	8,57%	0,12%	11,6%	0,15%	8,69%	0,13%

a: ponto Cananeia 1

b: ponto Trapandé

#### 5.7.1. VALIDAÇÃO

Nesta seção, serão apresentados os resultados do processo de validação do modelo de qualidade da água para os nutrientes e material inorgânico em suspensão nos dois meses de simulação.

#### 5.7.1.1 SILICATO DISSOLVIDO

Para validação do modelo de qualidade da água, foram utilizados dados obtidos em duas campanhas do Projeto "Estudo ambiental de sistemas costeiros expostos a importantes ações antrópicas na região sudeste por meio de ferramentas biogeoquímicas (FEBIOGEOQUIM-CNPq 478890/2011-7), sob responsabilidade da Profa Dra Elisabete S. Braga, realizadas em fevereiro e agosto de 2014.

Os valores de silicato dissolvidos encontrados pela aplicação do modelo estiveram na mesma ordem de grandeza dos resultados obtidos nas campanhas citadas do FEOBIOGEOQUIM, com exceção daqueles encontrados na barra de Cananéia na Baía de Trapandé (Tabs.18 e 19).

Os resultados do modelo apresentaram uma excelente dispersão do material dentro do complexo estuarino-lagunar. Os valores de coleta no Rio,

encontrados em 2014 foram muito semelhantes aos dados obtidos no trabalho dede campo de 2017, centrado na região norte do sistema, o que mostra um bom comportamento do modelo para as regiões mais distantes do rio.

Esses resultados também evidenciam que grande parte das concentrações de silicato dissolvido observadas dentro do sistema estuarino são resultantes da contribuição do Rio Ribeira de Iguape.

A barra de Cananéia na Baía de Trapandé apresentou valores *in situ* maiores do que os mostrados no modelo por ser uma região onde a interferência do Rio Ribeira de Iguape é muito baixa, como pôde ser observado nos resultados do modelo de qualidade da água, onde ficou evidenciado que menos de 1% da concentração de silicato dissolvido presente no rio atingiu este ponto.

estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP).									
MAR. 2017	FEV. 2014	Médias		Orden	Ordem de Grandeza				
Delft3D -	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM				
WAQ		- WAQ		- WAQ					
Valo Grande	R4	2,81	3,41	10 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	SIM			
Trapandé	11	0,0025	0,17	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup>	NÃO			
Cananaeia_1	6	0,227	0,48	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup>	SIM			
Bifurcação	R2	2,83	3,39	10 <sup>0</sup>	$10^{0}$	SIM			

Tabela 18. Validação do silicato dissolvido em março de 2017 ( $gSi/m^3$ ), no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP).

Tabela 19. Validação do silicato dissolvido em agosto de 2017 ( $gSi/m^3$ ), no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP).

	00100	inte lagar	iai ao bananola ig	<u>aapo (0.</u>	/•	
AGO. 2017	AGO. 2014	Médias		Order	Validação	
Delft3D -	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM	
WAQ		- WAQ		- WAQ		
Valo Grande	R4	5,95	6,49	10 <sup>0</sup>	100	SIM
Trapandé	11	0,0013	0,20	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup>	NÃO
Cananaeia_1	6	0,125	0,76	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-1</sup>	SIM
Bifurcação	R2	6,01	6,04	100	100	SIM

#### 5.7.1.2 FOSFATO DISSOLVIDO

Como foi observado na seção 5.5, os valores de fosfato dissolvido presentes no rio em 2017 foram consideravelmente menores do que os obtidos nos anos anteriores, dificultando a comparação da dispersão desse composto no sistema, pois os valores do rio diferiram muito entre si, uma vez que os valores de agosto em 2014 chegam a ser 10 vezes maiores do que aqueles encontrados em 2017.

Em março, a concentração encontrada no campo em 2017 foi cerca de metade daquela observada em 2014. Em alguns pontos destas campanhas, os valores apresentam pelo menos a mesma ordem de grandeza. Quando ocorreram valores similares no rio, o modelo conseguiu reproduzir bem a dispersão (Tab. 20).

MAR. 2017	FEV. 2014		Médias Ordem de Grandeza		Validação				
Delft3D -	FEBIOGEOQUIM	Delft3D -	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM				
WAQ		WAQ		- WAQ					
Valo Grande	R4	0,068	0,1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	NÃO			
Trapandé	11	0,000615	0,001	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup>	NÃO			
Cananaeia_1	6	0,014	0,016	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	SIM			
Bifurcação	R2	0,069	0,0948	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	SIM			

Tabela 20. Validação do fosfato dissolvido  $(gPO_4/m^3)$ , em março de 2017  $(gPO_4/m^3)$ , no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP).

Na tabela 21, observa-se que devido a grande diferença nas concentrações dos rios em agosto de 2014 e 2017, os valores não condizem entre si.

Complexo estuarino-lagunar de Cananela-Iguape (SF).								
AGO. 2017	AGO. 2014	N	Médias		n de Grandeza	Validação		
Delft3D -	FEBIOGEOQUIM	Delft3D -	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM			
WAQ		WAQ		- WAQ				
Witte		Wild		Witte				
Valo Grande	R4	0,03	0,39	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	NÃO		
						~		
Trapandé	11	0,0000067	0,01	$10^{-6}$	$10^{-2}$	NÃO		
-						~		
Cananaeia_1	6	0,000648	0,026	$10^{-4}$	$10^{-2}$	NAO		
						~		
Bifurcação	R2	0,03	0,33	$10^{-2}$	10 <sup>-1</sup>	NÃO		
-								

Tabela 21. Validação do fosfato dissolvido  $(gPO_4/m^3)$ , em agosto de 2017, no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP).

#### 5.7.1.3 MATERIAL INORGÂNICO EM SUSPENSÃO

Assim como ocorreu com os valores de fosfato dissolvido, os valores de material em suspensão nos rios diferem muito dos encontrados em trabalhos anteriores, o que dificultou a validação deste parâmetro no modelo.

Os resultados da concentração do material inorgânico dissolvido obtidos no modelo-WAQ mostraram que o material transportado pelo Rio Ribeira não atinge o setor sul em grande quantidade, ficando sua maior parte retida no setor Norte (Tab. 17). Isso mostra que a porcentagem de material inorgânico encontrada em Cananéia, proveniente da descarga fluvial do Ribeira é muito baixa, sendo a maior parte do material observado no sul originário do próprio local, onde ocorre alta hidrodinâmica, responsável pela ressuspensão de material de fundo para a coluna d'água.

Como observado por Chiozzini (2017) e outros autores antes dele, a quantidade de material particulado em suspensão no setor Norte é menor do que as observadas no setor Sul, o que pode ser explicado pela diferença na qualidade do material nos dois setores, sendo mais fino ao norte e também devido aos diferentes movimentos de circulação e hidrodinâmica estuarina (Tabs.22 e 23).

Tabela 22. Validação do material inorgânico em suspensão $(g/m^3)$ , em março de
2017, no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP)

MAR. 2017	FEV. 2014	Médias		Ordem de Grandeza		Validação
Delft3D -	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM	
WAQ		- WAQ		- WAQ		
Valo Grande	R4	28,9	8,7	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	NÃO
Trapandé	11	0,02	25,7	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>2</sup>	NÃO
Cananaeia_1	6	2,3	17,8	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	NÃO
Bifurcação	R2	29,2	8,8	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	NÃO

Tabela 23. Validação do material inorgânico em suspensão inorgânico em suspensão  $(g/m^3)$ , em agosto de 2017, no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP).

		Módias		Ordem de Grandeza		Validação
7,00.2017	//00.2014	Medias		Ordeni de Grandeza		Vandação
Delft3D -	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM	Delft3D	FEBIOGEOQUIM	
WAQ		- WAQ		- WAQ		
Valo Grande	R4	9,3	6,7	10 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	SIM
Trapandé	11	0,0020	17,6	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>1</sup>	NÃO
Cananaeia_1	6	0,19	14,3	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>1</sup>	NÃO
Bifurcação	R2	9,3	13,1	10 <sup>0</sup>	10 <sup>1</sup>	NÃO

#### 6. CONCLUSÃO

O complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape apresenta a interface de três sistemas aquáticos: fluvial, estuarino e marinho. A interação entre elas é de extrema complexidade e, com este trabalho, foi possível identificar algumas características de sua hidrodinâmica e biogeoquímica.

Foi possível estimar, com uma boa precisão, a vazão do Rio Ribeira de Iguape a partir das medições com o ADCP, como também os processos que ocorrem na sua bifurcação entre o canal artificial Valo Grande e o braço natural. Com medições realizadas em um ciclo completo de maré foi possível observar com maior detalhe, a interação da variação do nível do mar com a descarga fluvial, bem como a quantidade de descarga líquida que vai para cada braço do Rio Ribeira. Até o momento, imaginava-se que a maior parte da vazão era desviada para o Valo Grande, devido ao seu crescente alargamento, além de ser o caminho mais rápido para o mar aberto. Porém, a partir das medições antes realizadas da bifurcação e após a bifurcação, os resultados mostraram que mais de 70% do fluxo se mantêm no braço natural do rio. Isso ocorre porque, apesar do canal artificial apresentar um caminho mais curto para o mar aberto, a seção batimétrica do Valo é consideravelmente menor que a seção do braço natural, suportando menor capacidade de água por metro cúbico. Justamente por apresentar a batimetria menor, a velocidade da descarga líquida ao chegar no Valo Grande se torna extremamente alta, o que ocasiona a contínua erosão de suas margens.

Buscando uma maior precisão na obtenção dos dados de vazão, fica aqui sugerida a instalação de uma estação fluviométrica na região, para monitoramento contínuo da vazão, observando a interferência da pluviosidade no sistema e das variações sazonais, juntamente com a medição do nível do mar, pois confirmou-se que este é um ambiente fortemente influenciado pela maré.

Os dados dos parâmetros químicos analisados nos braços do Rio Ribeira de Iguape mostram que a maré não altera a composição química da descarga fluvial, mostrando pequena influência ao longo do dia, porém não foi constatado sinal de águas marinhas na região. As concentração e dispersão do silicato dissolvido se assemelhou aos resultados de anos anteriores na região. O mesmo não ocorreu com o material em suspensão e o fosfato dissolvido, mostrando que eles apresentam comportamentos biogeoquímicos diferenciados. As concentrações de fosfato dissolvido na região nos últimos anos, principalmente devido à intensa utilização do solo marginal pela agricultura e a contínua entrada de dejetos de mineradoras nas margens aumentou de forma significativa. Porém, no ano de 2017 esses valores foram bem mais baixos, atingindo valores próximos de concentrações observadas em rios menos impactados por ações antrópicas, que pode ser que o fósforo esteja em outros compartimentos geoquímicos.

O modelo Deltf3D® FLOW, apresentou bons resultados hidrodinâmicos, principalmente para o nível do mar. Os valores de correntes leste/oeste não se comportaram de forma ideal, principalmente por que a grade utilizada não apresentou pista suficiente na plataforma continental para uma boa reprodução dos dados de vento, sendo um modelo estritamente costeiro. Como o objetivo do estudo era avaliar a hidrodinâmica estuarina e fluvial, foi dado prioridade na resolução interna do sistema e menor ênfase para o mar aberto, com o intuito de otimizar o tempo de processamento. Para estudos onde o enfoque é a dispersão na plataforma, é sugerido o aumento da grade, para melhor resolução das correntes marinhas. Com o uso das condições de contorno em Riemman, a amplificação nas bordas foi mínima e o modelo atingiu o objetivo do estudo.

Foi de fundamental importância neste trabalho a atualização da batimetria e dos valores de vazão para a região, o que tornou o modelo o mais próximo possível da representação da hidrodinâmica atual, principalmente devido ao grande e contínuo assoreamento no setor Norte do sistema, que agora contando com a batimetria recente, tornou possível a reprodução, com maior precisão, do comportamento das forçantes dentro sistema estuarino.

O modelo hidrodinâmico conseguiu mostrar as diferenças sazonais de inverno e verão, com correntes entrando no complexo estuarino-lagunar com maior intensidade em agosto, devido à presença recorrente de frentes frias na região.

Ficou evidenciado que a principal forçante na região é a maré, a qual tem influência muito maior no setor sul do sistema, sendo a descarga fluvial predominando o setor norte. Com base nos resultados hidrodinâmicos, é
possível dividir o complexo estuarino-lagunar em dois tipos: o setor Norte como sendo um rio forçado por maré e o setor sul como um estuário parcialmente misturado, este último permanecendo dentro da classificação já proposta por Bernardes e Miranda (2001) para a região. O setor norte atende a classificação de um rio forçado por maré por não apresentar nenhuma variação significativa na salinidade e ter a maré apenas como uma forçante hidrodinâmica, não tendo capacidade para renovar as suas águas periodicamente.

Os dados de qualidade da água obtidos pelo WAQ confirmam concentrações de silicato e fosfato dissolvidos iguais aos do rio no setor Norte, com uma variação mínima ao longo do tempo. Esse comportamento favorece uma crescente retenção de materiais na região, ocasionando na formação de bancos de areia, ilhas e um delta intralagunar na desembocadura, corroborando o que já foi descrito por outros autores.

A maior parte dos componentes biogeoquímicos aportados pelo rio permanecem retidos no Mar Pequeno, porém o rio Ribeira consegue ter uma influência no setor sul do sistema. Os elementos estudados demoraram cerca de 15 dias para chegar em Cananéia, demorando mais 7 dias para atingirem concentrações máximas, que ficaram por volta de 0,12% a 23,9% da concentração total presente no rio.

Considerando que em 2017 ocorreram concentrações diferenciadas de fosfato dissolvido nas águas do Rio Ribeira, ficou difícil de inferir, de forma mais precisa, a eficiência do modelo em relação à sua dispersão. Porém, no mês onde a concentração do rio mais se assemelhou com os resultados dos trabalhos pretéritos, o modelo conseguiu ser validado em 50% dos pontos.

Devido à alta hidrodinâmica no setor Sul do complexo estuarino-lagunar, mais exposto a ação da maré, as concentrações de MPS foram significativamente maiores que no setor Norte, sendo que a porcentagem representativa da influência do Rio Ribeira nas concentrações de MPS em Cananeia, foram mínimas.

Mostrou-se crucial a coleta de dados em todo o sistema juntamente com os dados de rio, para obtenção de melhores resultados de validação para o modelo de qualidade da água, que estarão evidenciando os processos mais recentes. Por fim, pode-se concluir que o complexo estuarino-lagunar de Cananéia Iguape apresenta sua porção ao sul menos impactada pelo canal artificial do Valo Grande, apresentando resultados típicos de um estuário preservado. Aumenta-se, porém, a preocupação com o setor norte, que perdeu suas características estuarinas e gradativamente vem assumindo comportamentos fluviais, o que está ocasionando um grande impacto no equilíbrio do ecossistema e consequentemente, na comunidade local que vive da pesca e do turismo.

Vale ressaltar a importância de um monitoramento contínuo na região e o uso de modelos para acompanhar o desenvolvimento geomorfológico e as alterações biogeoquímicas do estuário, como também auxiliar em medidas preventivas para minimizar o impacto antrópico no sistema.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A.N.; BESNARD,W. 1953. Sambaquís da região lagunar de Cananéia. I- Observações geográficas. II- Especulações pré-históricas. Bol. Inst. Oceanogr., v(4), p. 215-230.

AGOSTINHO, K. L. 2015. Estudo do nitrogênio e do fósforo (N e P) no setor norte do complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP) considerando as condições naturais do sistema e a influência dos aportes antrópicos. Dissertação (Mestrado). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 123p.

AGUIAR, V. M. C.; BRAGA, E. S. 2007. Seasonal and tidal variability of phosphurus along a salinity gradient in a heavily polluted estuarine system of Snatos-São Vicente. Mar. Poll. Bull. v.54(4). p: 464-471.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, R. 1983. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Ed. 1. Brest, France: Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO). 395p.

ARAÚJO, A.V.; DIAS, C.O.; BONECKER, L.C. 2017. Differences in the structure of copepod assemblages in four tropical estuaries: Importance of pollution and the estuary hydrodynamics. *Mar. Pollut. Bull.* v. 115, p. 412-420.

BARCELLOS, R.L.; BERBEL, G. B. B.; BRAGA, E. S. 2005. Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino lagunar de Cananéia-Iguape, estado de São Paulo, Brasil. *Geoquim. Brasil*.v.19, p: 22-36.0

BASKARAN, M.; SANTSCHI, P. H. 1993. The role of particles and colloids in the transport of radionuclides in coastal environments of Texas. *Mar. Chem.*, v.43, n. 1-4, p: 95-114.

BASTOS, A. T. C. C. 2014. Estudo do ciclo biogeoquímico do silício em diferentes sistemas marinhos como ferramenta para identificação de alterações ambientais de origem natural e/ou antrópica. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 104 p.

BECK, M. W.; HECK, K. L.; ABLE, K. W.; CHILDERS, D.L.; EGGLESTON, D. B.; GILLANDERS, B. M.; HALPERN, B.; HAYS, C. G; HOSHINO, K.; MINELLO, T. J.; ORTH, R. J.; SHERIDAN, P. F.; WEINSTEIN, M. P. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *BioScience*, v.51, p. 633.

BERBEL, G. B. B. 2008. Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e Plataforma Continental Sudeste (Brasil) e Baía do Almirantado (região antártica) considerando suas relações biogeoquímicas. Tese (Doutorado). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 102p.

BÉRGAMO, A. L.2000. Característica da hidrografia, circulação e transporte de sal: Barra de Cananéia, sul do mar de Cananéia e Baía do Trapandé. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 254p.

BERNARDES, M.E.C.; MIRANDA, L.B. 2001. Circulação estacionária e estratificação de sal em canais estuarinos: simulação com modelos analíticos. *Rev. bras. Oceanogr.*, v.49(1/2). p:115-132

BERNER, R.A. 1992. Weathering, plants and the long-term carborn cycle. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 56(8), p: 3225-3231.

BIANCHI, T. S. 2007. Biogeochemistry of estuaries. Oxford: Oxford University Press, 706 p.

BLOOMFIELD, L.; GILLANDERS, B. M. 2005. Fish and invertebrate assemblages in seagrass, mangrove, salthmarsh and nonvegetated habitats. *Estuaries*, v.28, p: 63-77.

BRAGA, E. S. 1995. Nutrientes dissolvidos e produção primária do fitoplâncton em dois sistemas costeiros do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, USP.

BRAGA, E. S. & CHIOZZINI, V. G. 2008. Nutrientes dissolvidos no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape: Influência do Valo Grande no setor Sul (1992 e 2005). III Simpósio Brasileiro de Oceanografia. (Org.). Oceanografia e Mudanças globais. São Paulo, p. 534-543.

BRAGA, R.1998. Planejamento regional no estado de São Paulo: A experiência do Vale do Ribeira nas décadas de 1970 e 1980. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 226 p.

BUSCHMAN, F.A.; HOITINK, A.J.F.; VAN DER VEGT, M.; HOEKSTRA, P.2009.Subtidal water level variation controlled by river flow and tides. *Water Resour. Res.*, v.45, 12p.

CAMARGO, R.; HARARI, J. 2014. Tides and wind-driven circulation in the tropical and Southern Atlantic Ocean: BRAZCOAST System. *Atmos. Oceanic Sci. Lett.*, Beijing (China), v.7. p. 476-480.

CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO. 1999. Situação dos recursos hídricos do Ribeira de Iguape e Litoral Sul. São Paulo. 213 p.

CHEN, Y.; CHEN, N.; LI, Y.; HONG, H. 2018. Multi-timescale sediment responses across a human impacted river-estuary system. *J. Hydro.*, v.560. p: 160-172.

CHESTER, R.1990. Marine Geochemistry. Boston, USA: Unwin Hyman, 698p.

CHIOZZINI, V. G.; MALUF, J.C.C; TORRES, J.L.R; BRAGA, E.S. 2008. Variabilidade sazonal (inverno-verão) das especiações químicas de nitrogênio no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-SP. In: BRAGA, E. S. (Org.). Oceanografia e Mudanças Globais, Universidade de São Paulo. São Paulo. - SP. p. 629-647.

CHIOZZINI, V. G. 2017. Estudo da abundância, proveniência e padrões de distribuição elementar em sedimentos de superfície e perfis sedimentares no Complexo Estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, São Paulo- Brasil, com ênfase aos elementos terras raras e seu significado ambiental. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 353 p.

CHRISTOPHERSON, R.W. 2012. Geossistemas: uma introdução à geografia física. 7° edição. Porto Alegre. Bookman.728p.

COELHO, L. H. F. 2011. Estudo biogeoquímico do fósforo no complexo estuarino- lagunar de Cananéia-Iguape (SP): Influência do Valo Grande e fluxo bêntico. Dissertação (Mestrado). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 142p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL. 2007. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Unidade de Gerenciamento n°11: Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e Litoral Sul. São Paulo - SP, 648 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL. 2008b. Relatório de situação dos recursos hídricos da unidade de gerenciamento nº 11: Bacia hidrográfica do rio ribeira de Iguape e litoral sul. São Paulo -SP. 659p.

CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução nº 357/05. Publicada no Diário Oficial da União nº 053, de 18 de março de 2005, e alterada pelas resoluções 410/2009 e 430/2011. Estabelece a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento em todo o território nacional. Brasília, 27p.

DAEE (DEPARTAMENTO ESTADUAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA). 1998.Bacia Hidrográfica do Ribeira do Iguape - Plano de Ação Para o Controle das Inundações e Diretrizes Para o Desenvolvimento do Vale. 68 p.

DAUVIN, J. C.; RUELLET, T. 2009. The estuarine quality paradox: is it possible to define an ecological quality status for specific modified and naturally stressed estuarine ecosystems? *Mar. Pollut. Bull.* v.59, p: 38-47.

DE JONGE, V.N.; ELLIOT, M.; ORIVE, E. 2002. Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. *Hydrobiologia*. v.475/476. p: 1-19.

DEFANT, A.1960. Physical oceanography. Oxford, Pergamon Press, vol.1. 729p.

DELTARES. 2013a. Delft3D: functional specifications. Version 2.20.23866. Delft (Netherlands): Deltares Systems, 38p.

DELTARES, 2014. Delft3D-FLOW: Simulation of multi-dimensional hydrodyamic flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. Version 3.15.34158. Delft (Netherlands): Deltares Systems, 710 p.

DELTARES, 2018. D-Water Quality: Versatile water quality modelling in 1D, 2D or 3D systems including physical, (bio)chemical and biological processes. User Manual. Version 5.06. Delft (Netherlands): Deltares Systems, 398 p.

DIEGUES, A. C.1973. Pesca e marginalização no litoral paulista. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 201 p.

DIONNE, J.C. 1963. Towards a more adequate definition of the St. Lawrense Estuary. Z. *Geomorphology*, v.7, p. 36-44.

EGBERT, G. D.; BENNETT, A. F. & FOREMAN, M. G. G. 1994. TOPEX/Poseidon tides estimated using a global inverse model. *J. Geophys. Res.*, 99(12), p: 24821-24852.

ELLIOT, M.; QUINTINO, V. 2007. The estuarine quality paradox, environmental homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 54, p: 640-645.

ELLIOTT, M.; HEMINGWAY, K.L. 2008. Fishes in Estuaries. John Wiley & Sons, London. 636p.

ELLIOTT, M.; WHITFIELD, A. K. 2011. Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, v. 94, p: 306-314.

ESCHRIQUE, S. A. 2011. Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e sudeste do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, USP. 230p

FAIN, A. M.; JAY, D. A.; WILSON, D. J.; ORTON, P. M.; BAPTISTA, M. 2001. Seasonal and tidal monthly patterns of particulate matter dynamics in the Columbia River estuary. Estuaries, v.24, p: 770-786.

FAIRBRIDGE, R. W. 1968. The encyclopedia of Geomorphology. Reinhold Book Corporation, New York. 1295 p.

FIEDLER, M.F.M.2015. Dinâmica estuarina em cenários de aumento do nível do mar: estuário de Santos, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, 130 p.

FOFONOFF, P.; MILLARD, R. C. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. *Unesco Technical Papers in. Marine Sciences*, v.44, 58 p.

FÖRSTNER, U.; PATCHINEELAM, S. R. 1980. Chemical associations of heavy metals in polluted sediments from the lower Rhine river. In: KAVANAUGH, M.C; LEKIE, J. O. (Eds.) Particulates in water – characterization, fate, effects and removal. American Chemical Society, D.C. Advances in chemistry series, v. 189, p: 177-193.

FÖRSTNER, U.; SALOMONS, W. 1980. Trace metals analysis on the polluted sediments. Part I: Assessment of source and intensities. Environmental Technology Letters, v.1, p: 494-505.

FRAGOSO JÚNIOR, C. R; FERREIRA, T. F.; MARQUES, D. M. 2009. Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos. São Paulo (SP): Oficina de textos, 2009. 304p.

GEOBRÁS ENGENHARIA E FUNDAÇÕES S/A. 1966. Complexo Valo Grande, Mar Pequeno e Rio Ribeira de Iguape. Relatório Geobrás S/A, Engenharia e Fundações para o Serviço do Vale do Ribeira do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), São Paulo. v.2

GEOPHYSICS STUDY COMMITTEE.1977. Overview and Recommendations. *Estuaries, Geophysics and the Environment*. Washington, D.C., National Academy of Sciences, p. 1-10.

GESAMP/IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. 1995. Biological Indicators and their Use in the Measurement of Condition of the Marine Environment. *Repts Stud.* Gesamp, n. 55. 56 p.

GIBBS, R. J. 1967. The geochemistry of the Amazon river system: Part I. The factore control the salinity and the composition and concentration of suspended solids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, New York, v. 78. p: 1203-1232.

GIBBS, R. J. 1973. Mechanisms of trace metal transport in river. *Science*, v.180, p. 71-73.

GIBBS, R. J. 1977. Suspended Sediment Transport and Turbidity Maximum. In: OFFICER, C. (Ed.). *Estuaries, Geophysics and Environment*, Washington DC., National Academy of Sciences, p.104-109.

GRASSHOFF, K.; EHRHRDT, M.; KREMLING,K. 1999. Methods of seawater analysis. 3<sup>a</sup> ed. Weinheim: Verlag Chemie, 419 p.

GREGORIO, H.P. 2009. Modelagem numérica da dispersão da pluma do emissário submarino de Santos. Dissertação (Mestrado), Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo. 108 p.

GUO, L.; VAN DER WEGEN, M.; ROELVINK, D. J. A.; WANG, Z. B. 2015. Longterm, process-based morphodynamic modeling of a fluvio-deltaic system, part I: The role of river discharge. *Cont. Shelf Res.*, v.109, p: 95-111.

HALL, K; THORN, C; SUMNER, P. 2012 On the persistence of wheathering. *Geomorphology*, vs.149-150, p: 1-10.

HARARI, J. 1989. Modelos numéricos aplicados a processos costeiros e estuarinos. Relatório Técnico.

HARARI, J.; CAMARGO, R.; FRANÇA, C. A. S.; MESQUITA, A. R.; PICARELLI, S. S. 2006. Numerical Modelling of the Hydrodynamics in the Coastal Area of São Paulo State Brazil. *J. Coast. Res.*, Special Issue 39: p: 1560 - 1563.

HARARI, J.; FRANÇA, C.A.S; MARQUES, J. 2007. Aplicações da modelagem numérica da Baía de Santos (SP, Brasil): correntes residuais e dispersão de poluentes. In: Anais do 1° Encontro Internacional de Governança da água na Améria Latina, São Paulo (SP). p: 1-15.

HARARI, J. 2015. Fundamentos de Modelagem Numérica em Oceanografia. São Paulo (SP): SALT Sea & Limno Technology, 246p.

HERMAN, P.H; HEIP, C.H.P. 1999. Biogeochemistry of the MAximum TURrbidity zones of the Estuaries (MATURE): some conclusions. *J. Marine. Syst.*, v.22, p: 89-104.

HU, K.; DING, P.; WANG, Z.; YANG, S. 2009. A 2D/3D hydrodynamic and sediment transport model for the Yangtze estuary, China. *J. Marine. Syst.*, v.77, p. 114-136.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do Censo Demográfico 2010, 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf >. Acesso em: 06 mar. 2018.

ITALIANI, D. M.; MAHIQUES, M. M. 2014. The geological recordo f anthropogenic activity in the region of Valo Grande, state of São Paulo, Brazil. *Quatern. Env. Geosci.*, v.5(2). P: 33-44.

ITTEKKOT, V.; UNGER, D.; HUMBORG, C. & TACAN, N. 2006. The silicon cycle: human perturbations and impacts on aquatic systems. SCOPE *Repor Series*. Island Press. 275p.

ISO 748. 2007. Hydrometry: Measurement of liquid flow open channels using current-meters or floats,3,58. British Standards Institution, 46 p.

JI, Z. 2008. Hydrodinamics and water quality: modelling rivers, lakes, and estuaries. Canada. John Wiley & Sons. 675p.

JENKINS, G .P.; WHEATLEY, M. J. 1998. The influence of habitat structure on nearshore fish assemblages in a Southern Australian embayment: comparison of shallow seagrass, reef-algal and unvegetated sand habitats, with emphasis on their importance to recruitment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, v. 221, p: 147-172.

KENNISH, M.J. 2002. Environmental threat and environmental future of estuaries. Environ. Conserv., v. 1, p: 78–107.

KIRBY, R. R; PARKER, W. R. 1984. The Physical Characteristics and Environmental Significance of Fine-Sediment Suspensions in Estuaries. In: OFFICER, C. (Ed.). Estuaries, Geophysics and Environment, Washington DC., National Academy of Sciences, p. 110-120.

LACERDA, L. D. 1983. Aplicação da metodologia de abordagem pelos parâmetros críticos no estudo da poluição por metais pesados na Baía de Sepetiba, Tese (Doutorado). Instituto de Biologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 121 p.

LAM-HOAI, T.; GUIRAL, D.; ROUGIER, C. 2006. Seasonal change of community structure and size spectra of zooplankton in the Kaw River estuary (French Guiana). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, v.68, p. 47-61.

LOS, F. J.; TROOST, T. A.; VAN BEEK, J. K. L. 2014. Finding the optimal reduction to meet all targets-Applying Linear Programming with a nutrient tracer model of the North Sea. *J. Marine. Syst.*, v.131. p: 91-101.

LUIJENDIJK, A. 2001. Validation, calibration and evaluation of Delft3D-FLOW model with ferry measurements. Dissertação (Mestrado). Faculty of civil Engineering and geosciences of Delft University of Technology (CiTG-TU Delft). Delft (Netherlands). 92p.

MARTIN, J. M; WHITFIELD, M.1983. The significance of the river input of chemical elements to the ocean. In: WONG, C.S. et al. (Eds.). Trace metals in seawater. London: Plenum Press, v.4, p: 265-296.

MCLACHLAN, R.L; OGSTON, A.S.; ALLISON, M.A. 2017. Implications of tidallyvarying bed stress and intermittent estuarine stratification on fine-sediment dynamics through the Mekong's tidal river to estuarine reach. *Cont. Shelf. Res.*, v.147. p: 27-37.

MÉNESGUEN, A.; DESMIT, X.; DULIÈRE, V.; LACROIX, G.; THOUVENIN, B.; THIEU, V.; DUSSAUZE, M. 2018. How to avoid eutrophication in coastal seas? Anew approach to derive river-specific combined nitrate and phosphate maximum concentrations. *Sci. Total. Env.* v.628/629. p: 400-414.

MESINGER, F.; ARAKAWA, A. 1976. Numerical Methods in atmospheric models. Technical report. Volume 1, Global Atmospheric Research Program (GARP) Publication Series 17. Geneva (Switzerland): World Meteorological Organization (WMO), 64p.

MESQUITA, A. R.; HARARI, J. 1983. Tides and tides gauges of Cananéia and Ubatuba - Brazil (lat 24°S). *Relat. int. Inst., oceanogr. Univ. S Paulo*, (11): 1 - 14.

MILIMAN, J.D.; LIN, S.W.; KAO, S.J; LIU, J.P.; LIU, C.S.; CHIU, J.K.; LIN, Y.C. 2007. Short-term changes in seafloor character due to flood derives hyperpychal discharge: Typhoon Mindulle, Taiwan, July 2004. *Geology.;* v.35. p: 779-782.

MIRANDA, L. B.; MESQUITA, A. R.; FRANÇA, C. A. S. 1995. Estudo da circulação e dos processos de mistura no extremo sul do Mar de Cananéia: condições de dezembro de 1991. *Bol. Inst. Oceanogr.* - USP, V.43, N.2, P. 153 - 164.

MIRANDA, L. B.; CASTRO-FILHO, B. M; KJERFVE, B. 2012. Princípios de oceanografia Física de Estuários. 2. ed. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, p:28-90.

MITCHELL, S.; WEST, J.; ARUNDALE, A.; GUYMER, I.; COUPERTHWAITE, J.S. 1999. Dynamics of the turbidity maxima in the upper Humber estuary system, UK. *Mar. Poll. Bull.*, v.37. p:190-205

MIYAO, S. Y. 1977. Contribuição ao Estudo da Oceanografia Física da Região de Cananéia (lat. 25° S long. 48° W). Dissertação (Mestrado), Departamento de Oceanografia Física do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 87 p.

MYIAO, S.Y.; HARARI, J. 1989. Estudo preliminar da maré e das correntes de maré da região estuarina de Cananéia (lat 25°S long. 48°W). *Bol. Inst. Oceanogr.* – *USP*, 87p.

MOORE, C. M.; MILLS, M. M.; ARRIGO, K. R.; BERMAN-FRANK, I.; BOPP, L; BOYD, P. W.; GALBRAITH, E. D.; GEIDER, R. J.; GUIEU, C. ; JACCARD, S.L.; JICKELLS, T. D.; LA ROCHE, J.; LENTON, T. M.; MAHOWALD, N.M; MARANON, E. ; MARINOV, I. ; MOORE, J. K.; NAKATSUKA, T.; OSCHILIES, A.; SAITO, M. A.; THINGSTAD, T.F.; TSUDA, A.; ULLOA,O. 2013. Processes and patterns of oceanic nutrient limitation. *Nat. Geosci.* v.6(9). p: 701-710.

MORAES, R, P. 1997. Transporte de chumbo e metais associados no Rio Ribeira de Iguape, São Paulo, Brasil. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 94 p.

MOTURI, M.C.Z; RAWAT, M; SUBRAMANIAN, V. 2005. Distribution and partitioning of phosphurus in solid waste and sediments from drainage canals in the industrial belt of Delhi, India. *Chemosphere.* v.60. p: 237-244.

MUSTE, M.; YU, K.; SPASOJEVIC, M. 2004. Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; Part I: moving-vessel measurements. *Flow Measurement and Instrumentation*. V.15, p: 1-16.

NELSON, D. M.; TRÉGUER, P.; BRZEZINSKI, M. A.; LEYNAERT, A.; QUÉGUINER, B. 1995. Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. *Glob. Biogeochem. Cycles*, v.9, p: 359-372.

OGSTON, A.S.; ALLISON, M.A.; MULLARNEY, J.C.; NITTROUER, C.A. 2017. Sediment- and hydro-dynamics of the Mekong Delta: From tidal river to continental shelf. *Cont. Shelf. Res.*, v.147. p:1-6.

OLIVEIRA, B. A. S. 2006. Barrera-Alba, JJ & Gianesella, SMF. Avaliação das concentrações de fosfato na região norte do sistema estuarino-lagunar Cananéia-Iguape, SP. XIV Simpósio de Iniciação Científica.

PAGLIOSA, P. R.; FONSECA, A.; BOSQUILHA, G. E.; BRAGA, E. S.; BARBOSA, F. A. R. 2005. Phosphorus dynamics in water and sediments in urbanized and non-urbanized rivers in Southern Brazil. *Mar. Poll. Bull.*, v.50, p: 965-974.

PEREIRA, R.S. 2003. Processos que regem a qualidade da água da Lagoa dos Patos, segundo o modelo DELFT3D. Dissertação (Mestrado). Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 149p.

SAMPAIO, A. F. P. 2011. Avaliação da correlação entre parâmetros de qualidade da água e socioeconômicos no complexo estuarino de Santos – São Vicente, através de modelagem numérica ambiental. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo – PROCAM/USP.

SASSI, M.G.; HOITINK, A.J.F. 2013. River flow controls on tide-mean water level profiles in a tidal freshwater river. *J. Geophys. Res.: Oceans.* v. 118, p: 4139-4151.

SATYAMURTI, P.; NOBRE, C.; DIAS, P. L. S.1998. South America. In: Karoly, D.J. & Vicent, D.J. (eds). Meteorology of the Southern Hemisphere. American Meteorological Society, Boston, p. 119-139.

SCHAFFLER, J.; VAN MONTFRANS, J.; JONES, C.M; ORTH, R.J. 2013. Fish species distribution in seagrass habitats of Chesapeake bay are structured by abiotic and biotic factors. *Mar. Coast. Fish. Dyn. Manag. Ecosyst. Sci.*, v.5, p. 114-124.

SCHMIEGELOW, J.M.M. 2004. O planeta azul: uma introduão às ciências marinhas. Rio de Janeiro (RJ): Interciência, 202p.

SCHUBEL, J. H.; CARTER, H.H. 1984. The estuary as a filter for fine-grained suspended sediment. In: KENNEDY, V.S. (Ed.). The Estuary as a Filter. New York: Academic Press, 1984. p. 81-105.

SCHULZ, K.; GERKEMA, T. 2018. An inversion of the estuarine circulation by sluice water discharge and its impact on suspended sediment transport. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, v.200, p. 31-40.

SCIGLIANO, B.F. 2016. Estudo do equilíbrio biogeoquímico das formas de fósforo considerando sua distribuição, partição e comportamento ao longo do complexo estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape (SP) como ferramenta para indicação de impacto ambiental. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Química). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 130 p.

SEITZINGER, S. P.; HARRISON, J. A.; DUMONT, E.; BEUSEN, A. H. W; BOUWMAN, A. F.2005. Sources and delivery of carbon, nitrogen and phosphorus to the coastal zone: an overview of Global Nutrient Export from Watersheds (NEWS) models and their application. *Glob. Biogeochem. Cycles*, v.19, p: GB4S01.

SHOLKOVITZ, E. R; SZYMCZAK, R. 2000. The estuarine chemistry of rare earth elements: comparison of the Amazon, Fly, Sepik and the Gulf of Papua systems. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v.179, p: 299-309.

SMITH,J.; VAN OPLOO, P.; MARSTON, H.; MELVILLE, M.D.; MACDONALD, B.C.T. 2003. Spatial distribution and management of total actual acidity in an acid sulfate soil environment, McLeods Creek northeastern NSW, Australia. *CATENA*. v.51. p: 61-79.

SOUZA, A. M. 2015. Estudo das dispersões do silicato e do fosfato dissolvidos como indicadores de aporte de material terrígeno no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP). Monografia. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo. 69 p.

SPIEGEL, M. R.; STEPHENS, L. J.1999. Theory and problems of statistics. McGraw-Hill – New York. 538p.

STATHAM, P. J. 2012. Nutrients in estuaries – an overview and the potential impacts of climate change. *Sci. Total Environ.*, v.434, p: 213-227.

STEWART, R.H. 2008. Introduction to physical oceanography. College Station (TX, USA): Departament of Oceanography Texas A&M University. 345p.

STRICKLAND, J. L. H.; PARSONS, T. R. 1968. A practical Handbook of Seawater Analysis. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, v.167. 341p.

TALLEY, L.D.; PICKARD, G. L.; EMERY, W.J; SWIFT, J.H. 2011. Descriptive Physical Oceanography: and introduction. 6 ed. Oxford (UK): Elsevier Academic Press. 575p

TESSLER, M. G. 2001. Taxas de sedimentação holocênica na plataforma continental sul do estado de São Paulo. Livre Docência. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 163 p.

THINGSTAD, T.F; TSUDA, A; ULLOA, O. 2013. Processes and patterns of oceanic nutrient limitation. *Nat. Geosci. Advance online publication*, v.6, p. 701-710.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B; MELFI, A. J. 2009. Da rocha ao solo: intemperismo e pedogênese. In: TEIXEIRA, W. et al. (Eds.) Decifrando a Terra. 2° edição. São Paulo. Oficina de Textos. P: 210-239.

TURNER, A.; MILLWARD, G. E. 2002. Suspended particles: their role in estuarine biogeochemical cycles. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, v.55, p: 857-883.

UNESCO (UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION). MAB Biosphere Reserves Directory: biosphere reserve information. Paris, 2011. Disponível em <<u>http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment</u>>. Acesso em 27 de julho de 2017.

VAN RIJN, L. C. 1984. Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport. J. Hydraul. Eng. .v.110, p: 1431-1456.

WALSTRA, D. J. R.; VAN RIJN, L. C.; BLOGG, H.; VAN ORMONDT, M. 2001. Evaluation of hydrodynamic area model based on the COAST3D data at Teignmouth1999. In: *Proceedings of 4<sup>o</sup>* Coastal Dynamics Conference, Report TR121. Wallingford (UK). p. D1-D4.

WEDEPOHL, K. H. 1995. Ingerson lecture the composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.59, p. 1217 – 1232.

WILLMOTT, C. J.1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*. p. 1309-1313.

WOODS, R. 2003. The relative roles of climate soil, vegetation and topography in determining seasonal and long-term catchment dynamics. Adv. Water. Resour., v.26. p: 295-306.

WRIGHT, L.D.; COLEMAN, J.M. 1974. Mississippi River mouth processes: effluent dynamics and morphologic development. *J. Geol.*, v.82. p: 751-778.

XU, C.; ZHANG, J.; BI, X.; XU, Z.; HE, Y.; GIN, K. Y. 2017. Developing an integrated 3D-hydrodynamic and emerging contaminant model for assessing water quality in a Yangtze Estuary Reservoir. *Chemosphere*. v.188, p. 218-230.

YAMAMOTO, M.; LIU, D.; KASAI, A.; OKUBO, K.; TANAKA, M. 2016. Dynamics of iron in the Chikugo River Basin: Comparison of iron with nitrogen and phosphate input to the estuary. *Region. Studies Mar. Sci.* v.8(1). p: 89-98.

YANG, S. H. 2016. Análise das condições ambientais e da dispersão de plumas de efluentes na região costeira centro-sul do Estado de São Paulo com uso da modelagem numérica. Dissertação de Mestrado. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, 300p.

ZHANG, S.; MAO, X. 2015. Hydrology, sediment circulation and long-term morphological changes in highly urbanized Shenzhen River estuary, China: A combined field experimental and modelling approach. *J. Hydrol.* v. 529, p: 1562-1577.