



Encontro Técnico **AESABESP**

Congresso Nacional
de Saneamento e
Meio Ambiente

34ETC-06373: MODELAGEM NUMÉRICA DA DISPERSÃO DE PLUMAS DE EFLUENTES COM BASE NO FÓSFORO NA ZONA COSTEIRA DA REGIÃO METROPOLITANA DA BAIXADA SANTISTA (SÃO PAULO, BRASIL).

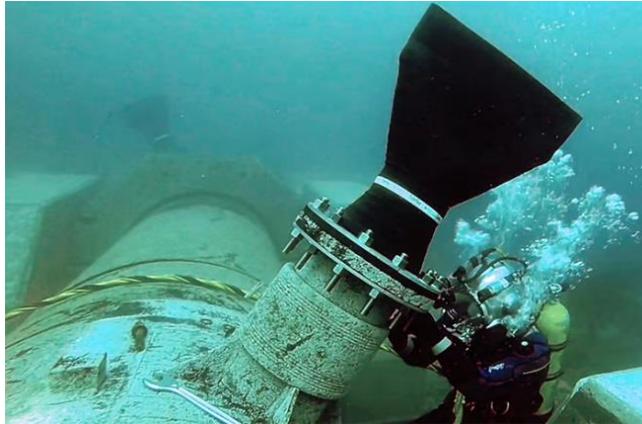
Samuel Hora Yang

Joseph Harari & Elisabete de Santis Braga

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP)

OBJETIVOS  **DE DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

Introdução

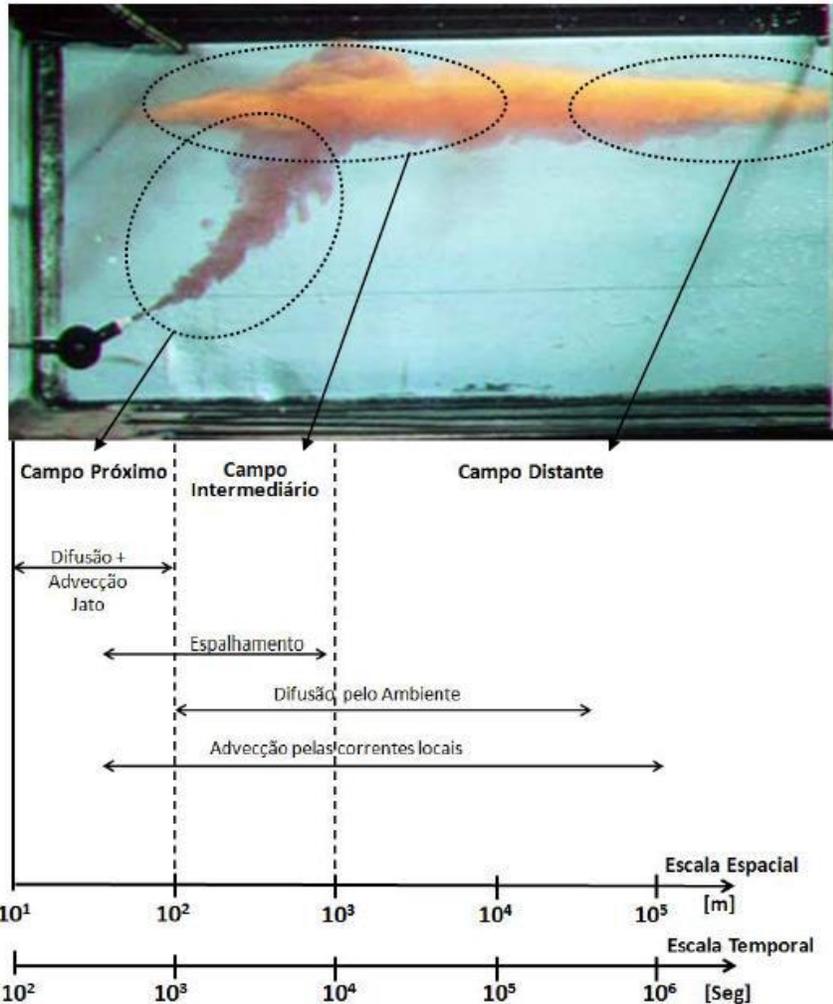


Emissários Submarinos

- O lançamento de esgoto nos oceanos por emissários submarinos é uma opção economicamente viável em relação aos sistemas de tratamento de esgoto sanitário padrão.
- Quando são bem dimensionados e operados corretamente, os emissários submarinos de esgotos são benéficos em termos de preservar a qualidade da água e de balneabilidade das praias.

A aplicação e desenvolvimento de modelos numéricos para análises hidrodinâmicas e de qualidade da água é útil para a realização de monitoramentos ambientais em regiões costeiras, por possibilitar simulações da dispersão de plumas, lançadas por emissários submarinos e/ou por fontes difusas, com elevada precisão.

Introdução



MODELAGEM DE PLUMAS DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS:

- **Campo Próximo (*Near Field*):** Zona em que ocorre os processos iniciais de mistura e de dispersão da pluma, sendo que a tubulação difusora e a hidrodinâmica local são fatores que influenciam nesses processos.
- **Campo Intermediário:** Zona de estabilização entre as regiões de campo próximo e campo distante, onde a pluma alcança seu equilíbrio hidrostático no ambiente.
- **Campo Distante (*Far Field*):** Zona onde a dispersão passa a ocorrer exclusivamente por meio dos processos advectivos e difusivos, após a pluma alcançar o equilíbrio hidrostático.

Objetivos

O objetivo deste trabalho foi analisar a dispersão das plumas de fósforo emitidas pela operação simultânea dos emissários submarinos de Praia Grande, Santos e Guarujá, além das demais fontes de poluição (rios, córregos e canais) presentes na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), com o processamento de modelos numéricos. Ademais, também foram analisados os índices de qualidade da água nas proximidades da zona costeira da RMBS, diante dos níveis máximos estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para o fósforo.

Metodologia: Área de Estudo



- **5 Emissários Submarinos:**

- Praia Grande (PG1, PG2 e PG3).
- Santos (José Menino).
- Guarujá (Enseada).

- **14 Estações de Tratamento de Esgoto.**

- **Obs.:** Atualmente não existe nenhuma estrutura que assegure 100% de coleta e tratamento de esgoto. Parte dos efluentes é despejada, sem tratamento, diretamente em corpos d'água (rios, córregos e canais) que possuem o oceano como destino final.

Metodologia: Modelagem Numérica

ETAPA 01
Modelagem Hidrodinâmica



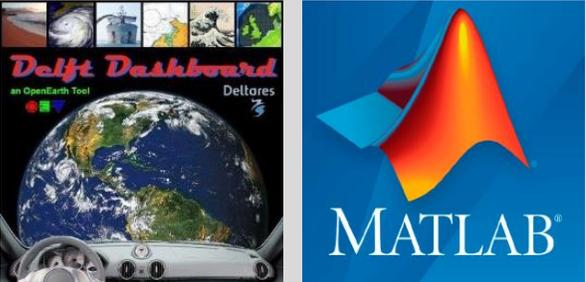
Delft3D – FLOW

ETAPA 02
Modelagem *Near Field*



Visual Plumes – UM3

SOFTWARES ADICIONAIS
Pré e Pós-Processamento



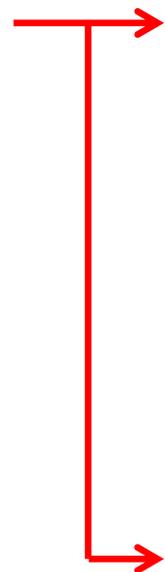
Delft Dashboard
an OpenEarth Tool
Deltares

MATLAB

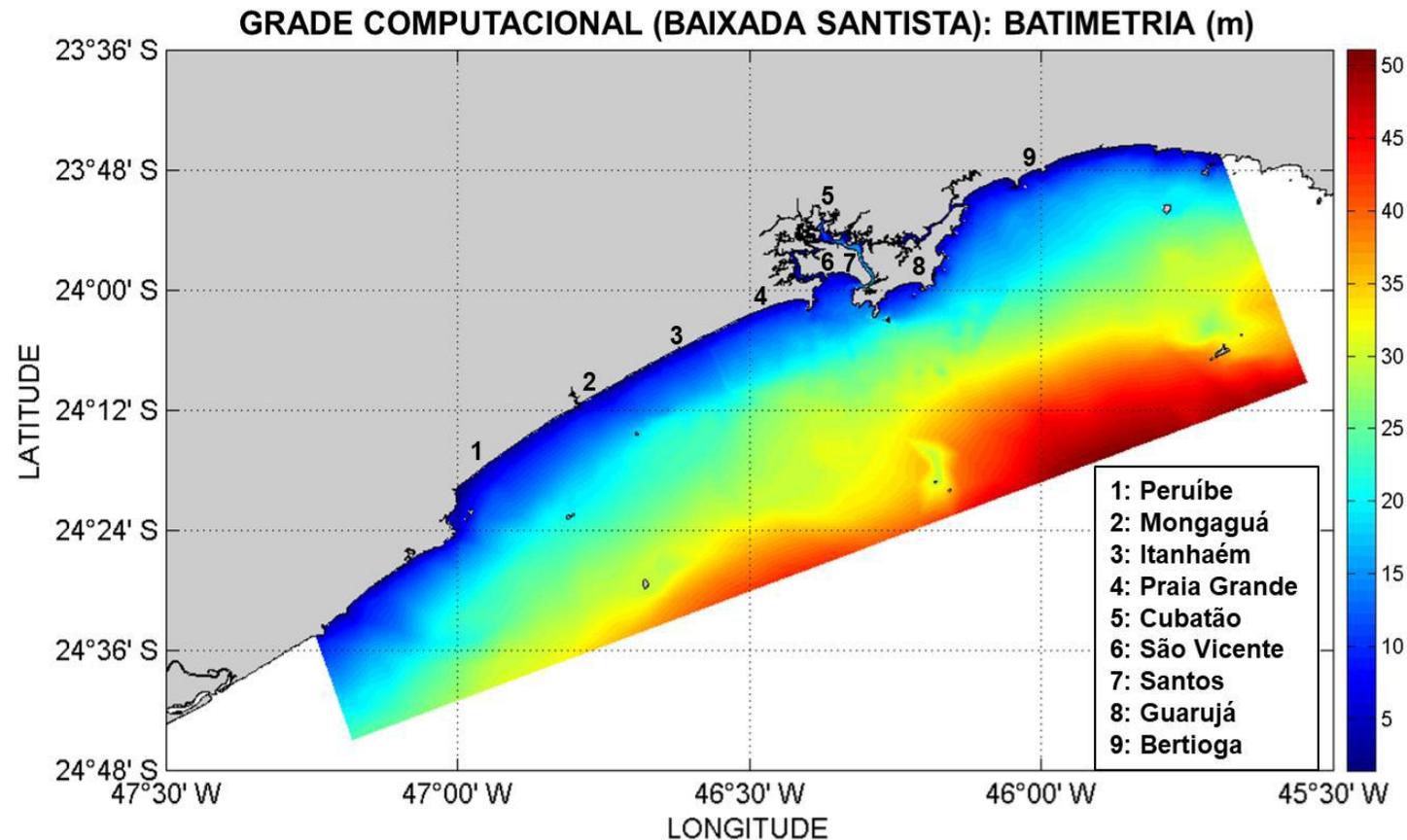
ETAPA 03
Modelagem *Far Field*



Delft3D – WAQ



Metodologia: Delft3D-FLOW



- **Grade Computacional:**

- Arakawa (Tipo C).
- 520 x 180 Células.
- $\Delta X = \Delta Y = 350$ m.
- 15 Camadas Verticais Sigma.

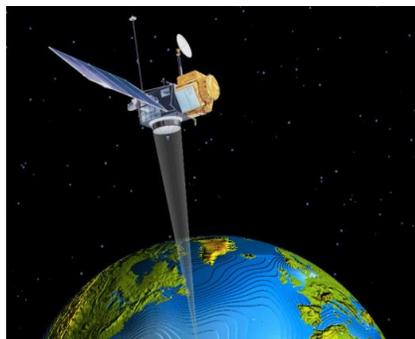
- **Batimetria:**

- 5 Cartas Náuticas (DHN).
- 1 Folha de Bordo (DHN).
- Dados *In Situ* (CTHUSP e IPASP).

- **Modelagem Hidrodinâmica:**

- Agosto 2016 e Fevereiro 2017.
- $\Delta t = 1$ minuto (60 s).
- Contornos *Riemann*.

Metodologia: Forçantes Oceânicas



*Topex / Poseidon Global
Inverse Solution (TPXO)*



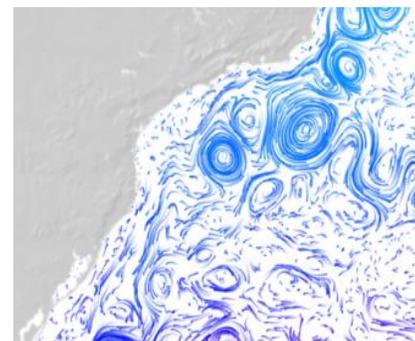
Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)



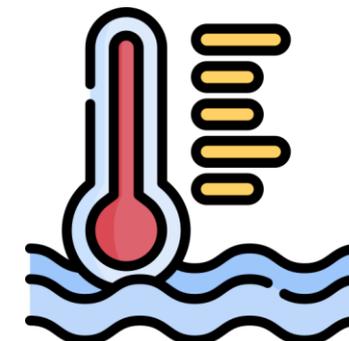
Marés Astronômicas



Nível Médio do Mar



Correntes



Temperatura



Salinidade

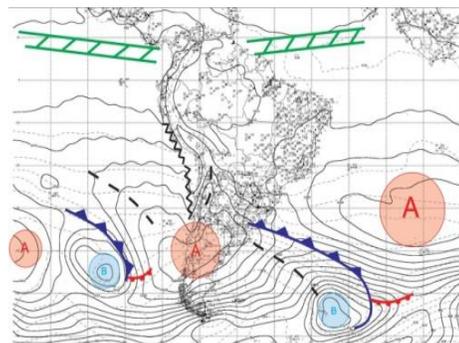
Metodologia: Forçantes Atmosféricas



Climate Forecast System Version 2 (CFSv2)



Ventos



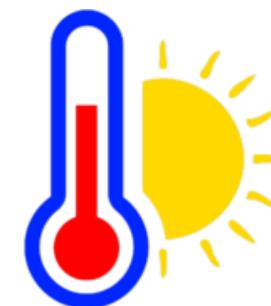
Pressão Atmosférica



Cobertura de Nuvens

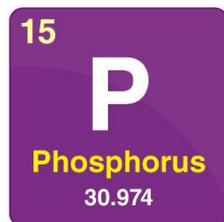


Umidade Relativa



Temperatura

Metodologia: Fontes de Poluição



Fósforo



CONAMA

Resolução 357/2005

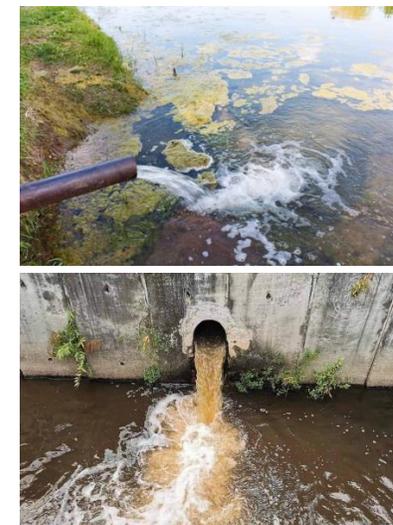
Valores Máximos:

0,062 mg/L (salgada)

0,124 mg/L (salobra)



5 Emissários Submarinos da RMBS
(PG1, PG2, PG3, Santos e Guarujá)



73 Fontes Difusas na RMBS
(Rios, Córregos e Canais)



CETESB



sabesp



UNISANTA



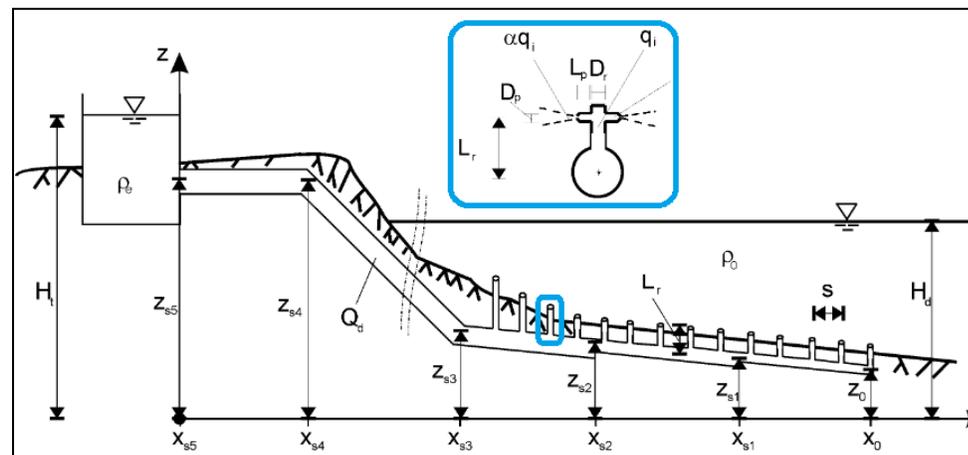
Metodologia: Visual Plumes - UM3



**Visual Plumes
UM3 Module**



**Emissários
Submarinos**



*Diffuser Ports (Diameter, Elevation, Quantity & Spacing)
Effluent (Flow, Salinity, Temperature & Concentration)
Phosphorus Decay Rate: 0,03 d⁻¹ (Constante).*



Delft3D – FLOW

*Ambient Local Hydrodynamics
(Currents, Salinity & Temperature)
Períodos: AGO 2016 e FEV 2017*

Metodologia: Delft3D-WAQ



Delft3D – WAQ



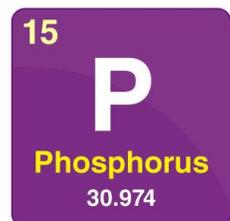
Delft3D – FLOW
 (Hidrodinâmica)



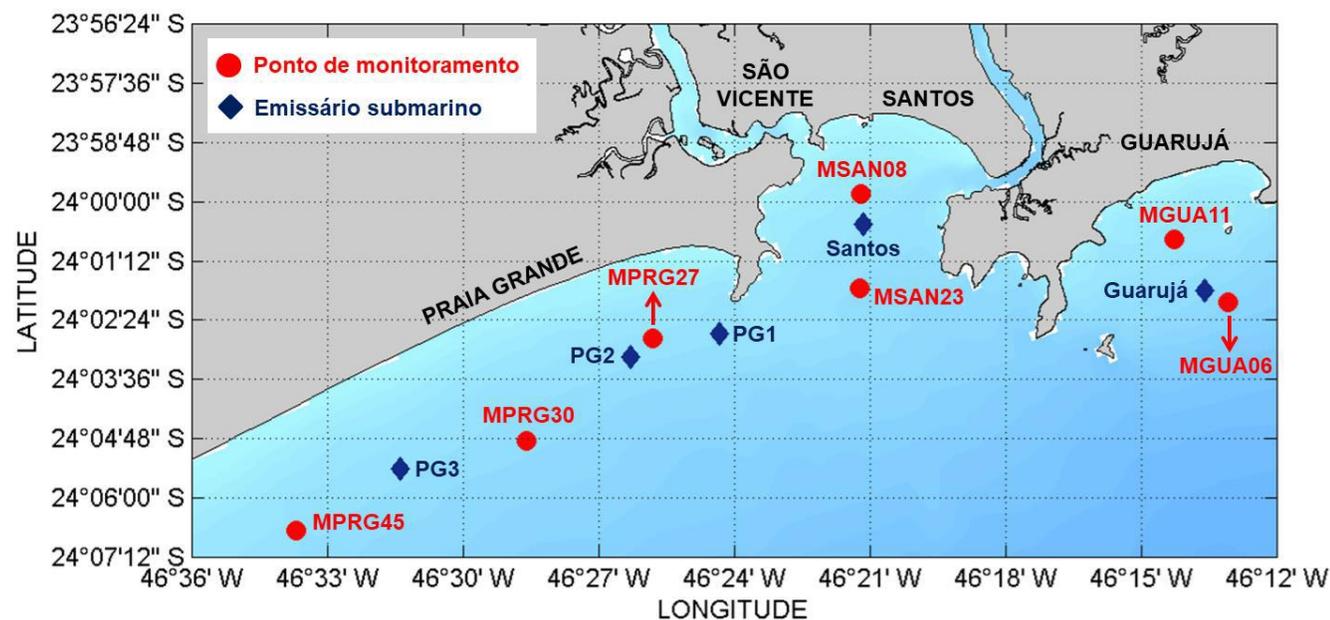
Visual Plumes – UM3
 (Emissários Submarinos)



Fontes Difusas
 (Rios, Córregos e Canais)



Taxa de Decaimento:
 0,03 d⁻¹ (Constante)



Metodologia: Delft3D-WAQ

- **Validação do Modelo de Qualidade da Água:** Delft3D-WAQ foi validado nos dois meses simulados através da aplicação do método de validação qualitativa de Yang (2022), com a comparação das ordens de grandeza das concentrações sazonais médias de fósforo que foram obtidas em um total de sete pontos de monitoramento pelo modelo Delft3D-WAQ e por coletas *in situ* feitas pela SABESP na costa de Praia Grande, Santos e Guarujá. O Delft3D-WAQ foi considerado como validado somente se a ordem de grandeza dos resultados comparados coincidissem em pelo menos 50 % das amostragens (nesse caso, no mínimo 7 validações em 14 comparações).

Médias de Inverno:

AGO 2016

Médias de Verão:

FEV 2017



Delft3D – WAQ

X



SABESP

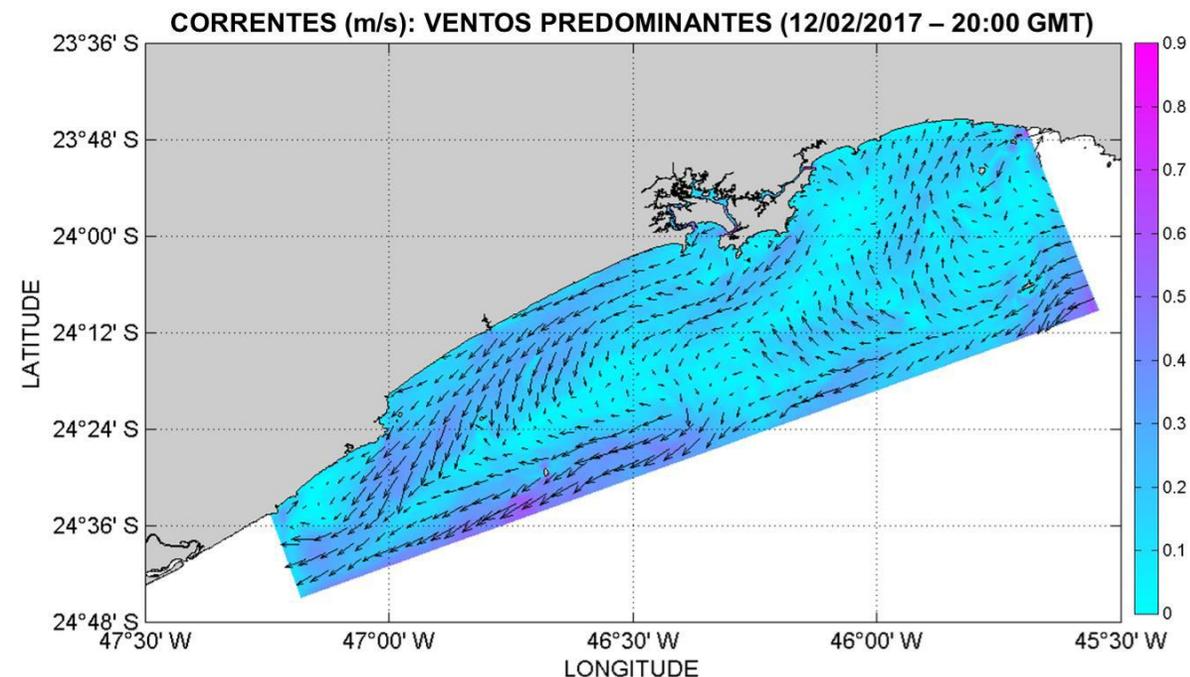
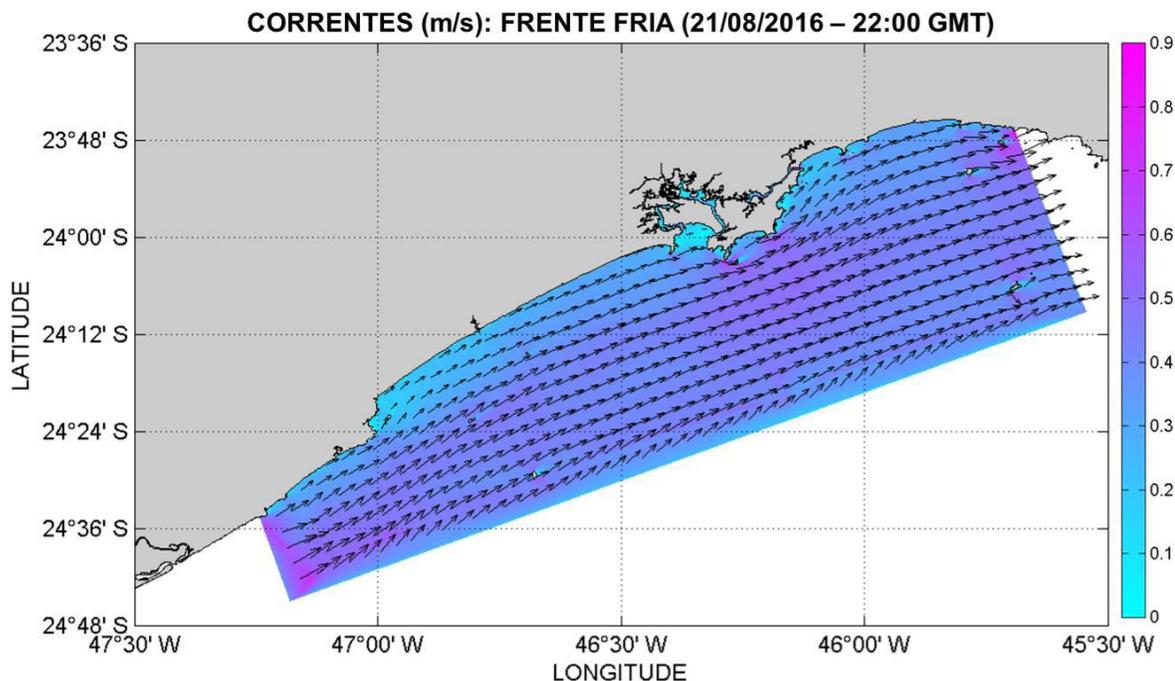
Coletas de Inverno:

JUL 2005 / JUL 2012

Coletas de Verão:

FEV 2006 / JAN 2012

Resultados: Modelagem Hidrodinâmica

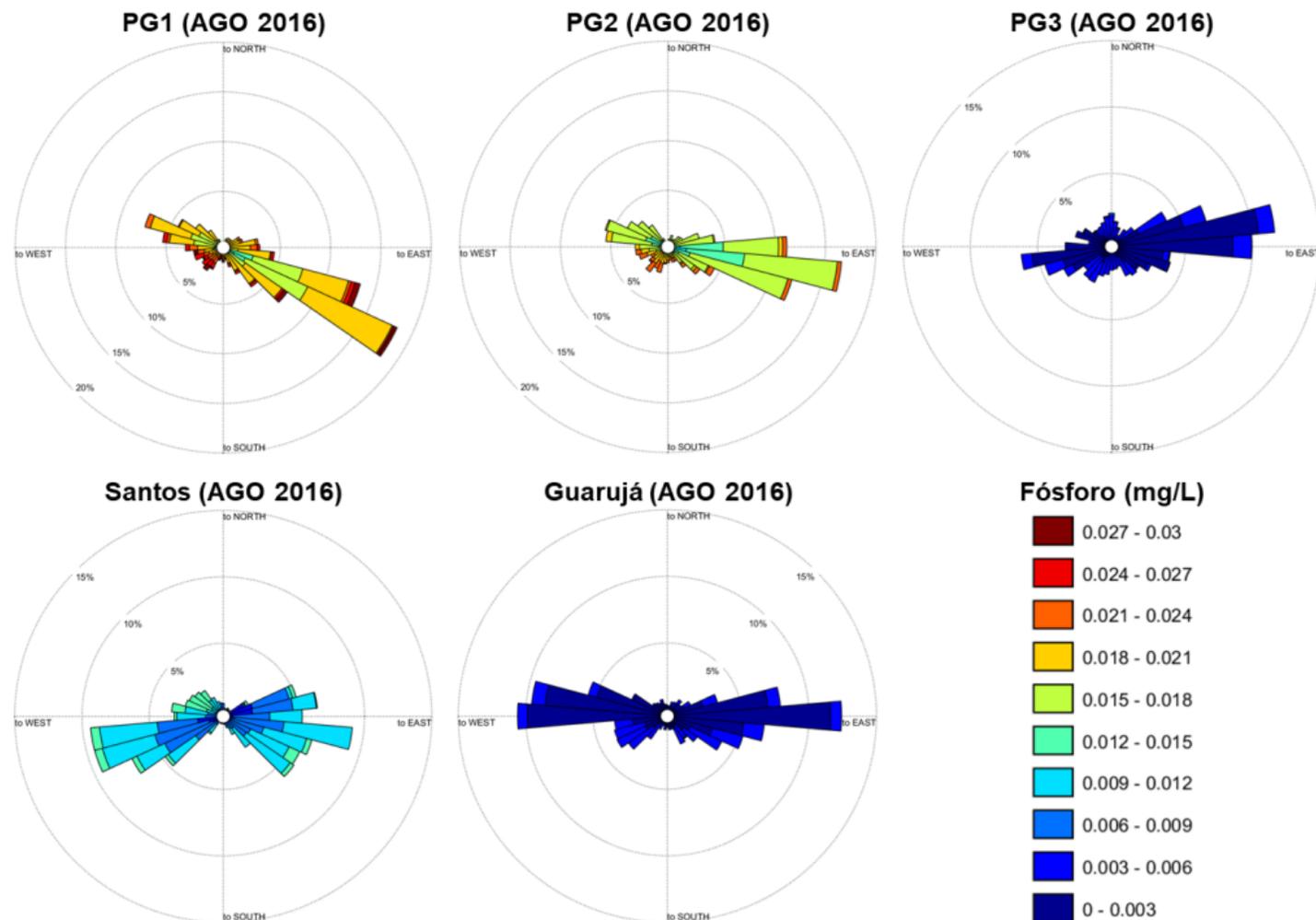


- **Frente Fria:** Correntes para E-NE (Leste - Nordeste), mais intensas.
- **Ventos Predominantes:** Correntes para W-SW (Oeste - Sudoeste), menos intensas.
- **Concordâncias:** Harari, França & Marques (2007); Ferreira, Harari & Sartor (2018); Yang, Harari & Braga (2019).

Resultados: Modelagem Near Field

AGOSTO 2016 (INVERNO)

- **PG1 e PG2:**
 - Predomínio: NW-SE.
 - Correntes de maré.
- **PG3, Santos e Guarujá:**
 - Predomínio: W-SW e E-NE.
 - Correntes geradas pelo vento.
- **Fósforo (CONAMA 357/2005):**
 - Limite: 0,062 mg/L (água salina).
 - Concentrações abaixo do limite.

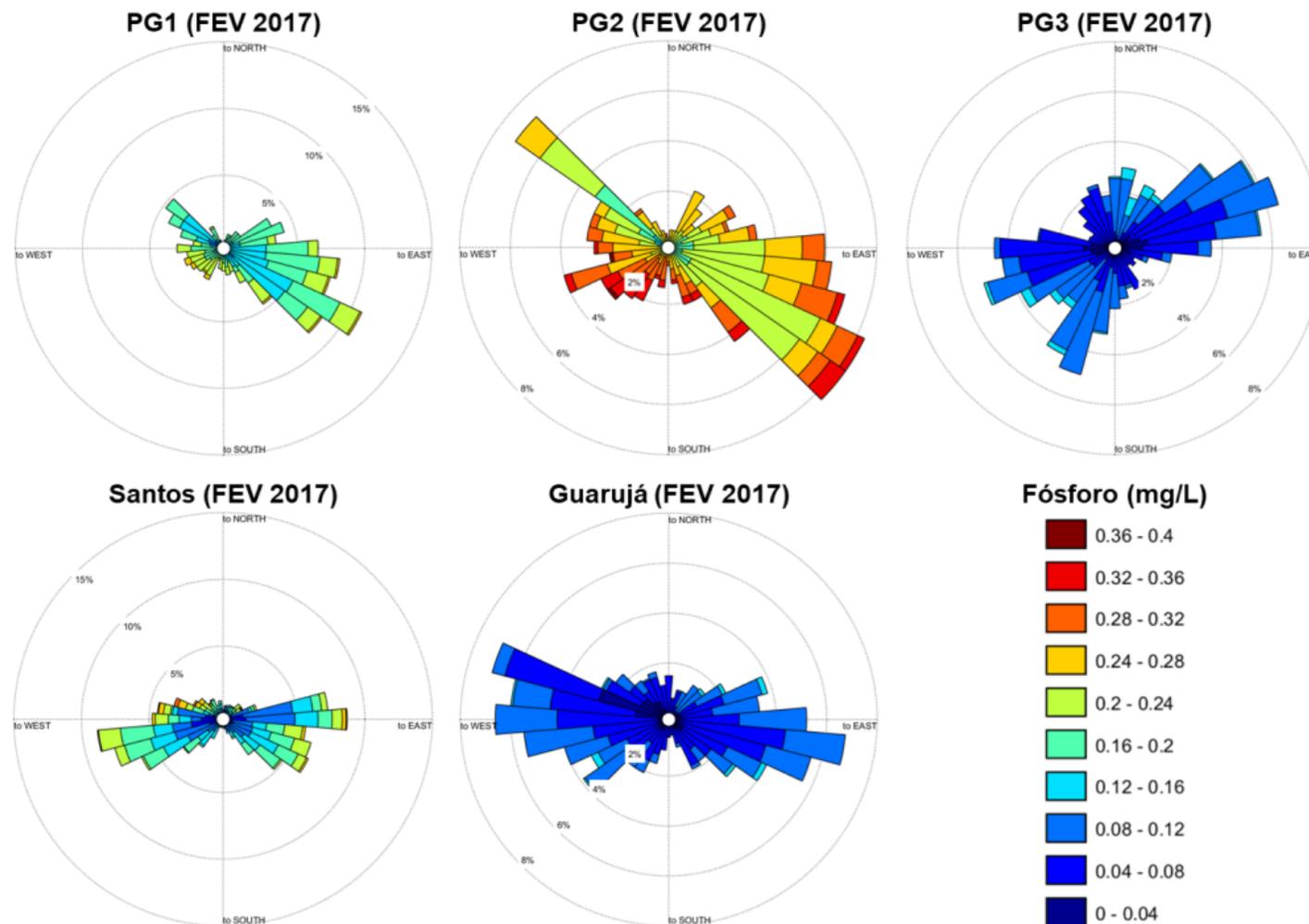


Resultados: Modelagem Near Field

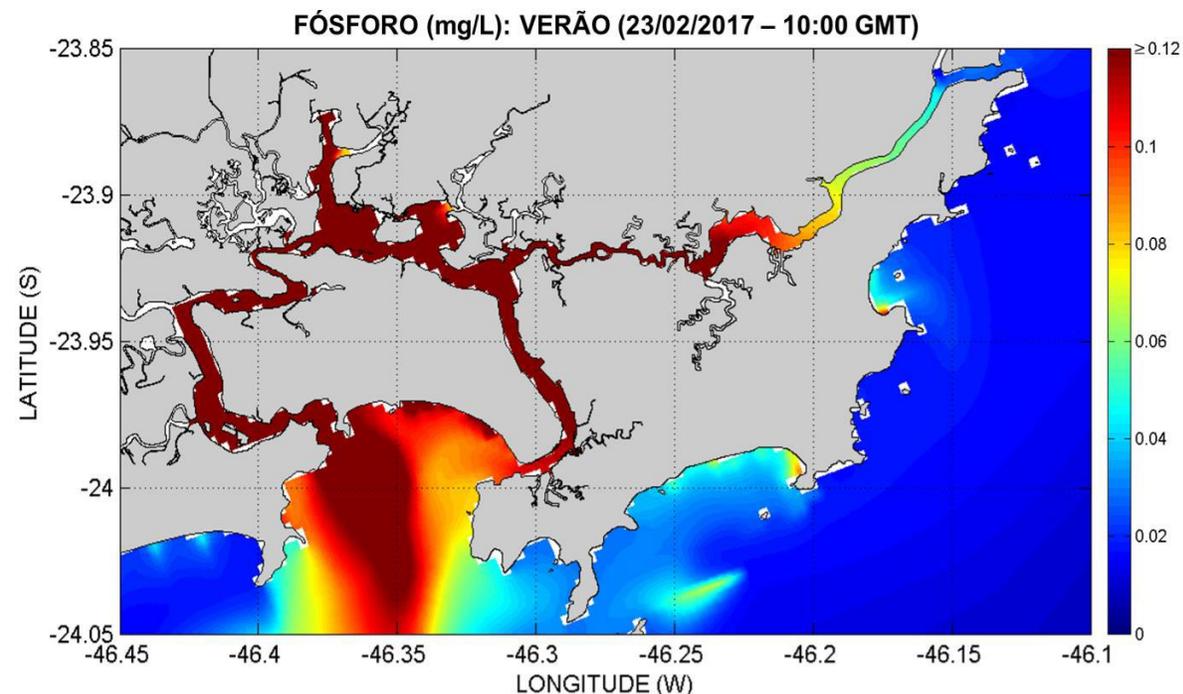
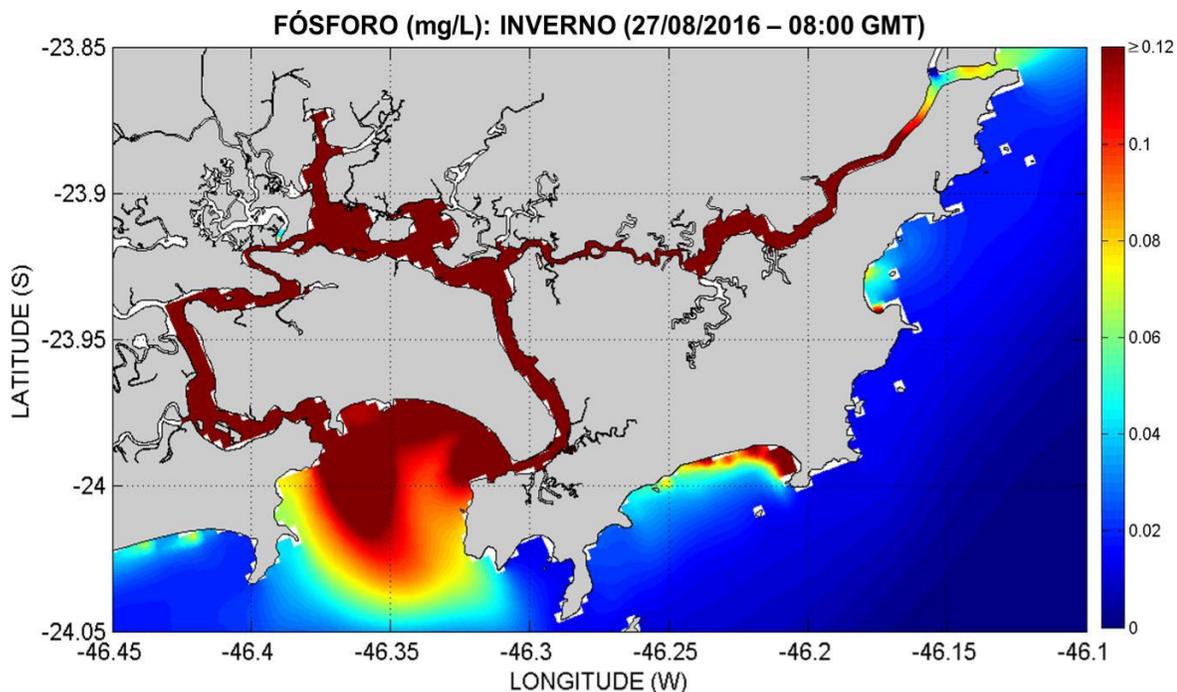
FEVEREIRO 2017 (VERÃO)

- **PG1 e PG2:**
 - Predomínio: NW-SE.
 - Correntes de maré.
- **PG3, Santos e Guarujá:**
 - Predomínio: W-SW e E-NE.
 - Correntes geradas pelo vento.

- **Fósforo (CONAMA 357/2005):**
 - Limite: 0,062 mg/L (água salina).
 - Concentrações acima do limite.
 - Diferenças sazonais (turismo).



Resultados: Modelagem Far Field



- **Praias:** Concentrações elevadas (muitas vezes acima do limite CONAMA), devido aos canais artificiais.
- **Estuário:** Concentrações ainda maiores, e acima do limite do CONAMA para água salobra (0,124 mg/L).
- **Médias Sazonais (Estuário):** 0,027 a 0,523 mg/L (inverno); e 0,010 a 0,160 mg/L (verão).
- **Concordâncias:** Moser *et al.* (2005), Ancona (2007); Azevedo & Braga (2011).

Resultados: Modelagem Far Field

Inverno	Valor Médio (mg/L)		Ordem de Grandeza		Validação	
	Ponto	D3D-WAQ	SABESP	D3D-WAQ	SABESP	Fósforo
MPRG27		0,006	0,030	10^{-3}	10^{-2}	NÃO
MPRG30		0,004	0,003	10^{-3}	10^{-3}	SIM
MPRG45		0,003	0,003	10^{-3}	10^{-3}	SIM
MSAN08		0,059	0,050	10^{-2}	10^{-2}	SIM
MSAN23		0,020	0,030	10^{-2}	10^{-2}	SIM
MGUA06		0,004	0,024	10^{-3}	10^{-2}	NÃO
MGUA11		0,011	0,019	10^{-2}	10^{-2}	SIM

Verão	Valor Médio (mg/L)		Ordem de Grandeza		Validação	
	Ponto	D3D-WAQ	SABESP	D3D-WAQ	SABESP	Fósforo
MPRG27		0,014	0,098	10^{-2}	10^{-2}	SIM
MPRG30		0,013	0,009	10^{-2}	10^{-3}	NÃO
MPRG45		0,010	0,052	10^{-2}	10^{-2}	SIM
MSAN08		0,076	0,060	10^{-2}	10^{-2}	SIM
MSAN23		0,059	0,120	10^{-2}	10^{-1}	NÃO
MGUA06		0,014	0,015	10^{-2}	10^{-2}	SIM
MGUA11		0,024	0,028	10^{-2}	10^{-2}	SIM

Delft3D-WAQ foi validado qualitativamente, com 10 de 14 validações possíveis (71,43 % de casos validados).

Conclusões

- **Modelagem *Near Field*:** VP-UM3 indicou que as correntes geradas pelo vento e as correntes de maré afetam o transporte inicial das plumas dos emissários submarinos; e que as concentrações de fósforo nas plumas estão acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 em alguns instantes no verão (alta demanda).
- **Modelagem *Far Field*:** D3D-WAQ indicou que os emissários submarinos (PG1, PG2, PG3, Santos e Guarujá) estão dimensionados de maneira correta e funcionando eficientemente; e confirmou a hipótese levantada por Yang (2016), que os períodos de balneabilidade imprópria nas praias, bem como os baixos índices de qualidade da água na costa da RMBS, podem ter origem em contribuições de fontes difusas (rios, canais e córregos) que deságuam nas praias contendo esgoto bruto oriundo de despejos não conectados à rede de saneamento.

Conclusões

- **Praias da RMBS (Praia Grande, Santos e Guarujá):** Eventuais períodos de balneabilidade imprópria podem ter contribuições de descargas de outras fontes (por exemplo, canais de drenagem com cargas sanitárias sem tratamento) que atingem as praias, de modo que uma sugestão para a solução deste problema encontra-se na adequação e melhoria do sistema de saneamento básico em algumas localidades da RMBS.
- **Sistema Estuarino de Santos e São Vicente:** Este estudo indicou a necessidade da implementação de políticas públicas para solucionar os problemas de descartes de esgoto bruto na região interna do estuário, o que seria de suma importância em termos ambientais, de saneamento básico e de saúde pública.
- **Futuros estudos:** A metodologia empregada neste trabalho poderá servir de referência em futuros estudos e monitoramentos que envolvam análise de qualidade da água por meio de simulações numéricas da dispersão de plumas de efluentes oriundas de emissários submarinos e de fontes difusas (rios, córregos, canais, etc.).

MUITO OBRIGADO!



Samuel H. Yang

*samyang.93
@gmail.com*



Joseph Harari

joharari@usp.br



Elisabete S. Braga

edsbraga@usp.br

