

O Sistema do Emissário Submarino: Tratamento, disposição e autodepuração



Tobias Bleninger

Professor no Departamento de Engenharia Ambiental (DEA)



Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA)

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Past chair of the IAHR / IWA Joint Committee on Marine Outfall Systems

Conteúdo

- Emissários e qualidade de água
- Conceitos e leis ambientais
- Processos, medições, modelos, desenho
 - Estudos de caso:
 - Cartagena
 - Lisboa
 - Buenos Aires
- Questões construtivas
 - Berria, Santander, Espanha
- Conclusões

Contexto

Crescimento populacional:

- Hoje: 7.4 bilhão: 1.5 bilhão sem água potável
2.4 bilhão sem coleta/tratamento de esgoto
- 2050: 10 bilhão: ???

Região litoral

- Mais que 50% da população mundial
 - America Latina: 75% (600 milhões)
 - Mega-Centers: São Paulo, Rio de Janeiro: 30-40 milhões
Rio de la Plata: 15-20 milhões
 - Locais com maior crescimento econômico, industrial e turístico
 - Zonas de grande importância para pesca, e ecossistemas únicas
 - Am. Latin.: $\approx$ 70% dos problemas costeiras relacionado a fontes pontuais
- impactos a saúde pública: aprox. 2 mio. mortos por ano
- degradação ambiental: impacto direto $\approx$ 13 bilhões US\$

Fonte: WHO, UNEP

- Demora ou parada total de projetos de saneamento devido a objeções ambientais: Austrália (Gold Coast dessalinização, Estados unidos (Huntington Beach, ou Carlsbad, www.carlsbaddesal.com)
Bleninger and Roberts, 2012
- America Latina: Situação mais agravante (i.e. 10 projetos, cada um com 1mio. de habitantes beneficiados, não concluídos desde 10 anos → até hoje lançamento de esgoto bruto nas praias
Henry Salas (PAHO), 2012
- Causa: problemas administrativas e políticas na definição dos critérios ambientais, falta de dados, mas muitas vezes o não entendimento ou percepção errada do sistema:
 - “Tratamento: bom, entra esgoto, sai água limpa”. Parece que não há resíduos (→ aterros, atmosfera, solo, rio/mar)
 - “Emissário: ruim, como jogar sujeira no oceano”. Parece que não existe biodegradação. Casca de banana pode, matéria orgânica não.
- Embora: só conjunto funciona, tratamento e emissário

EMISSÁRIOS SUBMARINOS NO BRASIL

Tobias Bleninger
Federal University of Paraná, Brazil (UFPR)
Department of Environmental Engineering (DEA)
www.tobias.bleninger.info



Novos emissários recém construídos e previstos no RJ (Barra da Tijuca, Icaraí, Paquetá), no ES (Vitória, Guarapari), etc



Pier do emissário da Barra da Tijuca – 5 km de extensão para uma vazão final de 5,3 m³/s



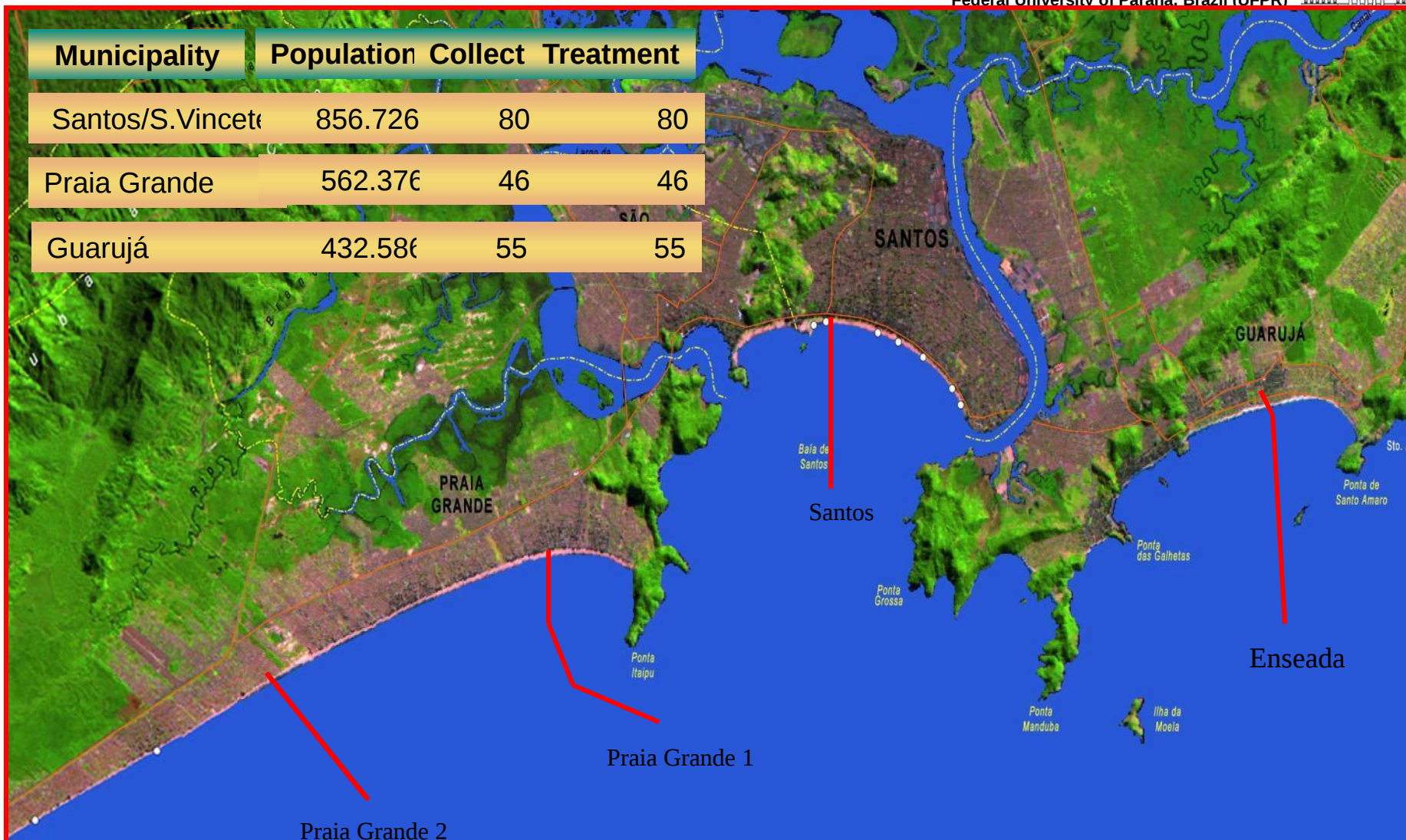
Novo SDO Icaraí em Niterói – emissário de 3.300 m dentro da Baía de Guanabara para uma vazão de 0,95 m³/s de esgoto

PRINCIPAIS EMISSÁRIOS DE ESGOTO DOMÉSTICO

Item	Local	Diâmetro (m)	Extensão total (m)	Profundidade descarga (m)	Vazão de projeto (m ³ /s)	Material	Início da operação
1	Belém - PA	0,80	320	5	0,60	Concreto	*
2	Fortaleza – CE	1,50	3.200	12	4,80	Aço, revestido c/ concreto	1979
3	Salvador – BA	1,75	2.350	28	6,80	Concreto Armado	1975
4	Aracruz – ES	1,00	1.100	*	2,00	Polipropileno	*
5	Ipanema – RJ	2,40	4.325	26	12,00	Concreto Protendido	1975
6	Poá - Porto Alegre – RS	1,26	733	12	2,70	Aço	*
7	Manaus – AM	1,00	3.600	*	2,20	PEAD	*
8	Boa Vista – RR	0,35	1.250	*	*	PEAD	*
9	Maceió – Casal - AL	1,34	3.100	15	4,20	Aço, revestido c/ concreto	*
10	Santos – José Menino – SP	1,75	4.000	10	7,26	Aço, revestido c/ concreto	1979
11	Guarujá – Enseada – SP	0,90	4.500	14	1,447	PEAD	1998
12	Praia Grande – Praia do Forte – SP	1,00	3.300	12,5	1,041	PEAD	1993
13	Praia Grande – Vila Tupi – SP	1,00	3.415	13	1,361	PEAD	1993
14	São Sebastião – Praia das Cigarras – SP	0,16	1.068	8,5	0,0116	PEAD	*
15	São Sebastião – Araçá – SP	0,40	1.061	8	0,140	PEAD	*
16	Ilhabela – Saco da Capela – SP	0,25	220	24	0,030	PEAD	*
17	Ubatuba – Enseada – SP	0,20	300	*	*	PEAD	Previsão

Fonte: Brambilla, SABESP e Trevisan et al.

Municipality	Population	Collect	Treatment
Santos/S.Vincete	856.726	80	80
Praia Grande	562.376	46	46
Guarujá	432.586	55	55

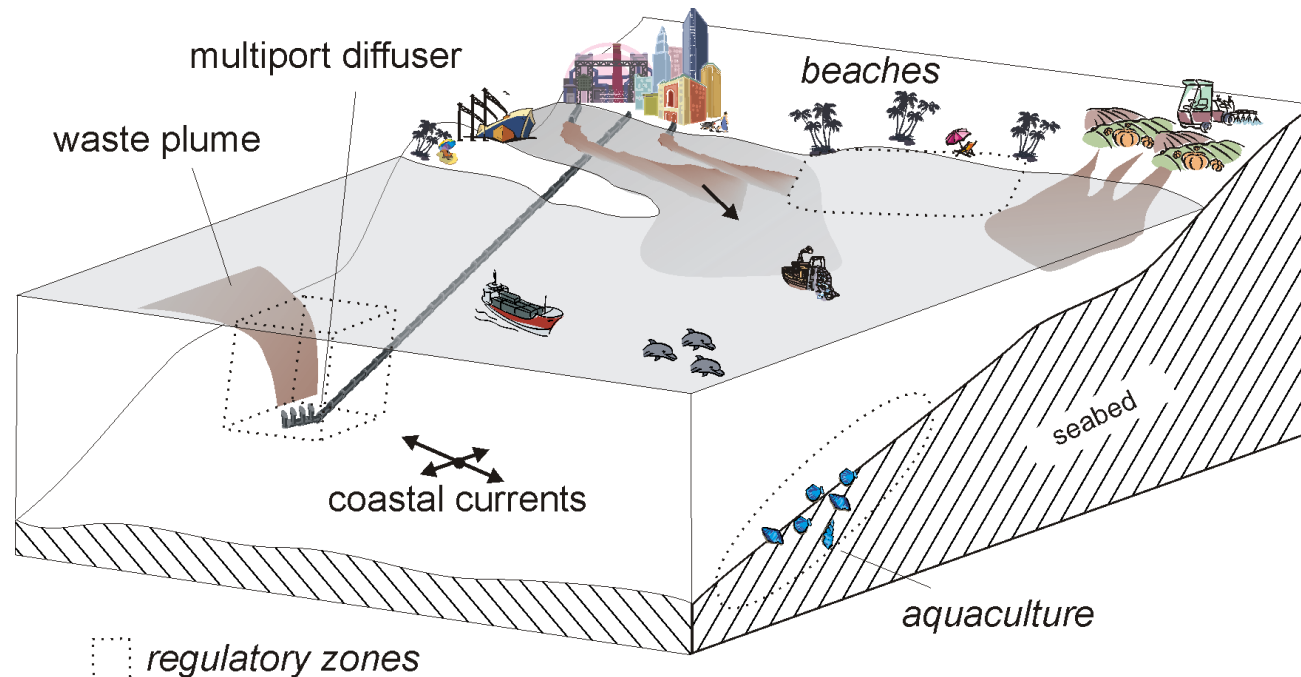


Emissários da Baixada Santista

Fonte: Brambilla, SABESP, 2006

Impactos ambientais

- Impactos locais (devido a um lançamento individual)
 - > “altas” concentrações de substancias
dependendo do tratamento e local de descarga
- Impactos regionais
 - > “altas” cargas de substancias
efeitos de acumulação dependendo do corpo receptor
- Grandes diferenças de escalas e processos associados



Legislação de descargas

- Directivas internacionais
- Directivas nacionais

Poluente	Concentração limite do efluente CLE	Concentração limite no ambiente CLA	CLE/CLA
DBO 5	Geralmente definido so para rios (esgoto bruto: 300mg/l)	3 mg/l (Cartagena)	100
Temperatura	10°C acima ambiente (Worldbank)	3°C acima ambiente (Worldbank)	3
Cadmio	0.5 mg/l (83/513 EEC)	1µg/l (76/464 EEC)	500
Tricloretoano	0.1 mg/l (AbwV, DE)	10 µg/l (76/464/EEC)	10

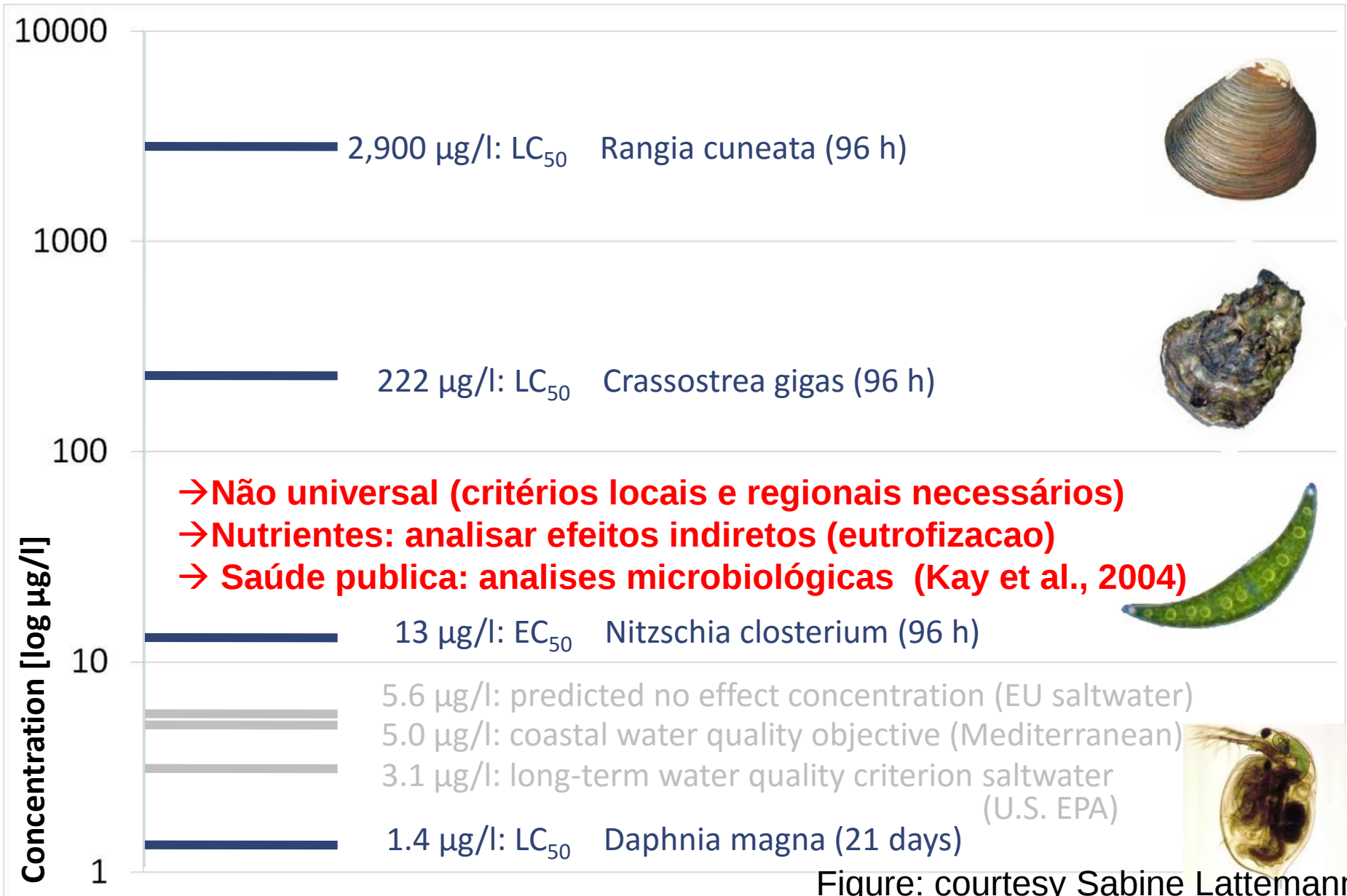
↑
Efeitos letais

↑
Efeitos cronicos

↑
diluição
necessaria
2 a 500

Toxicidade de cobre

Source: Lattemann & Höpner 2003



Diluição e tratamento

Diluição =

$$\frac{\text{concentração efluente}}{\text{concentração (limite) no ambiente}}$$

	<i>Diluição necessária para esgoto bruto</i>	<i>Diluição necessária após o tratamento primário</i>	<i>Diluição após o tratamento secundário</i>	<i>Diluição necessária após o tratamento terciário</i>
DBO [mg.L⁻¹]	10	8	2	1
Nitrogênio tot. [mg.L⁻¹]	5	4	4	0
Fósforo tot. [mg.L⁻¹]	4	3	3	0
Sólidos susp. Tot. [mg.L⁻¹]	22	9	3	1
Coliformes tot. [MPN.(100 mL)⁻¹]	10 ⁴ a 10 ⁸	10 ³ a 10 ⁷	10 ³ - 10 ⁷	500 - 10 ⁶

Consequencias e medidas de mitigação

e.g. esgoto: nutrientes (DBO, P), coliformes,...

Coliformes fecais:

- Esgoto bruto $10^6 - 10^8$ e.coli/100ml **Media: 10^7**

Tecnologias de tratamento → CLE

tratamento primario (mecanico)
primario avancado (floculacao quimica)
secundario (biologico)
terciaro (quimico)

↓
Reduz
nutrientes
(lodo!)

↓
**Fator de
redução de
coliformes**
 $1.5 - 3$
 $10 - 100$
 $100 - 1000$
 $1000 - 10.000$

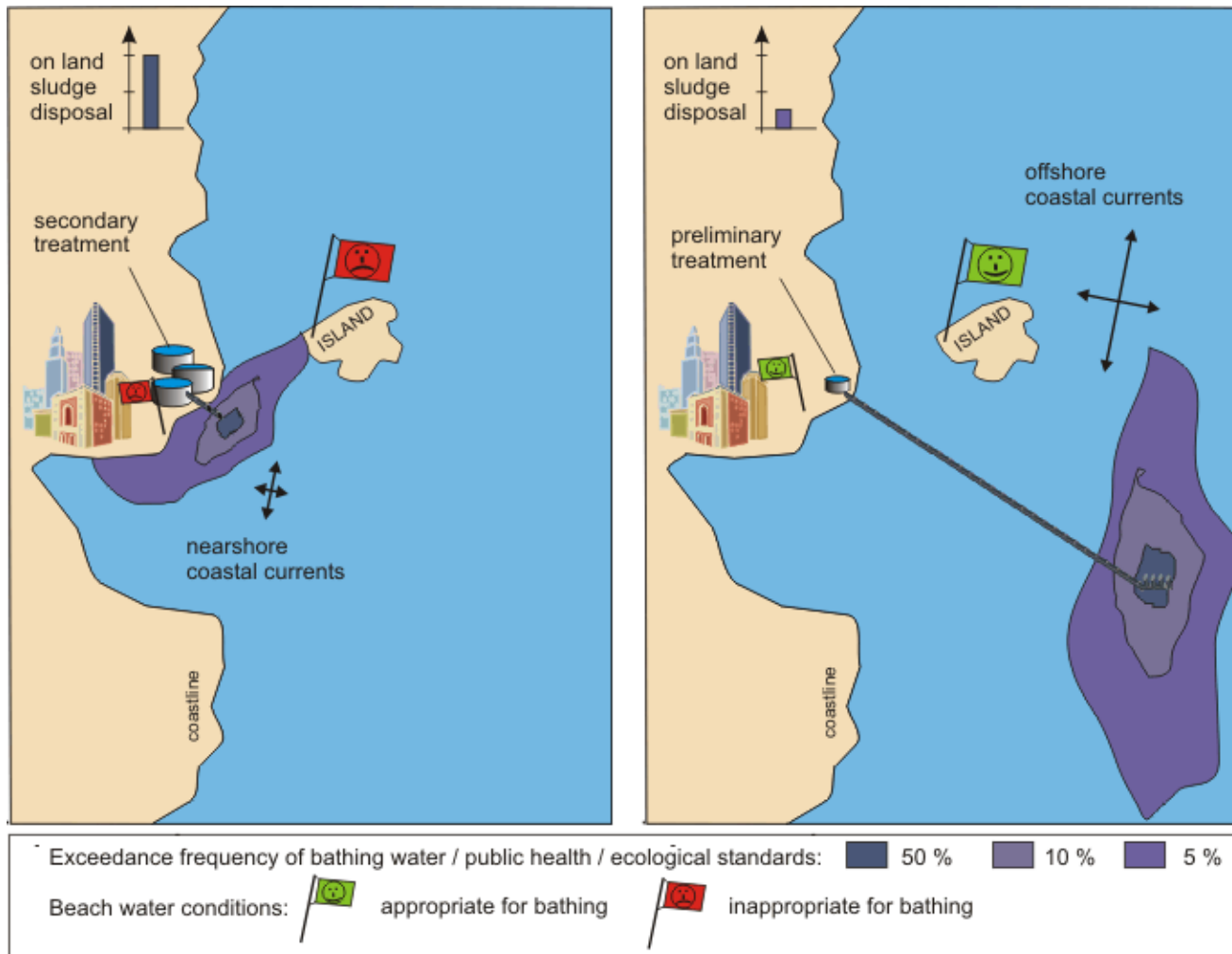
Tecnologias de mistura

Descarga superficial na costa
Descarga submersa de um orificio
Descarga submersa de varios orificios (difusor)

↓
**Fator de
diluição**
 $2 - 10$
 $5 - 50$
 $10 - 500$

- EC Conc. limite balneabilidade 500 e.coli/100ml **Diluição : 20.000**

- Combinação e complementação de tratamento e emissário
- Critérios de desenho: favorecer critérios de qualidade da água (balneabilidade, potabilidade, classes), e do sedimento e critérios biológicos em vez de critérios baseado exclusivamente em tecnologias



Definição do nível de tratamento necessário

$$C_e = C_{lim} + D (C_{lim} - C_b)$$

Concentração efluente

Concentração limite no ambiente após zona de mistura legal

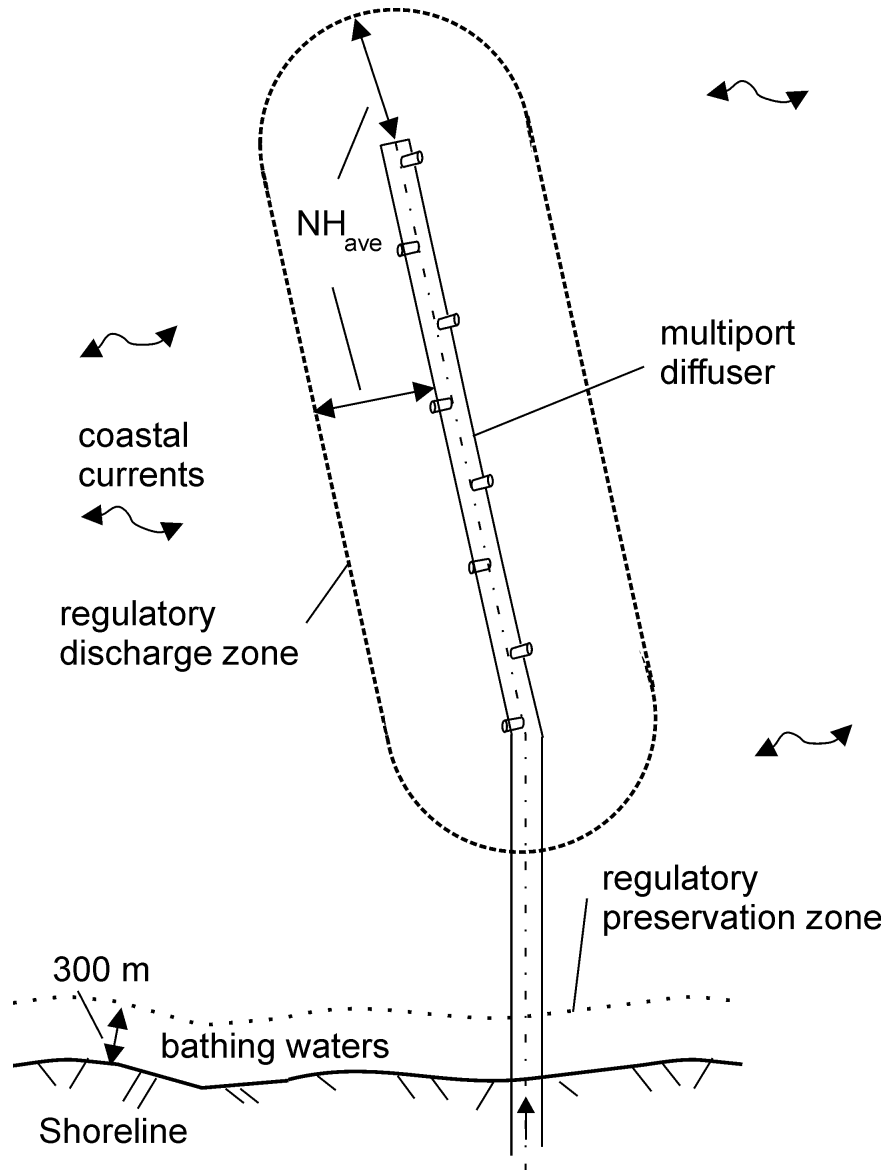
Diluição inicial

Concentração “background”

Zona de mistura

- Diluição não é instantâneo
- Requer uma definição a onde deve aplicar critério
- Requer diferenciar entre „Zona de mistura legal" (fixo) e „Zona de mistura hidrodinâmica" (variavel)
- Califórnia: Lugar/distancia onde diluição mínima ocorre em cada mês do ano (-> modelagem e medições)
- Brasil: O lançamento de esgotos sanitários por meio de emissários submarinos deve atender aos padrões da classe do corpo receptor, **após o limite da zona de mistura** e ao padrão de balneabilidade, de acordo com as normas e legislação vigentes
- Geralmente $O(100m)$ ou múltipla da profundidade

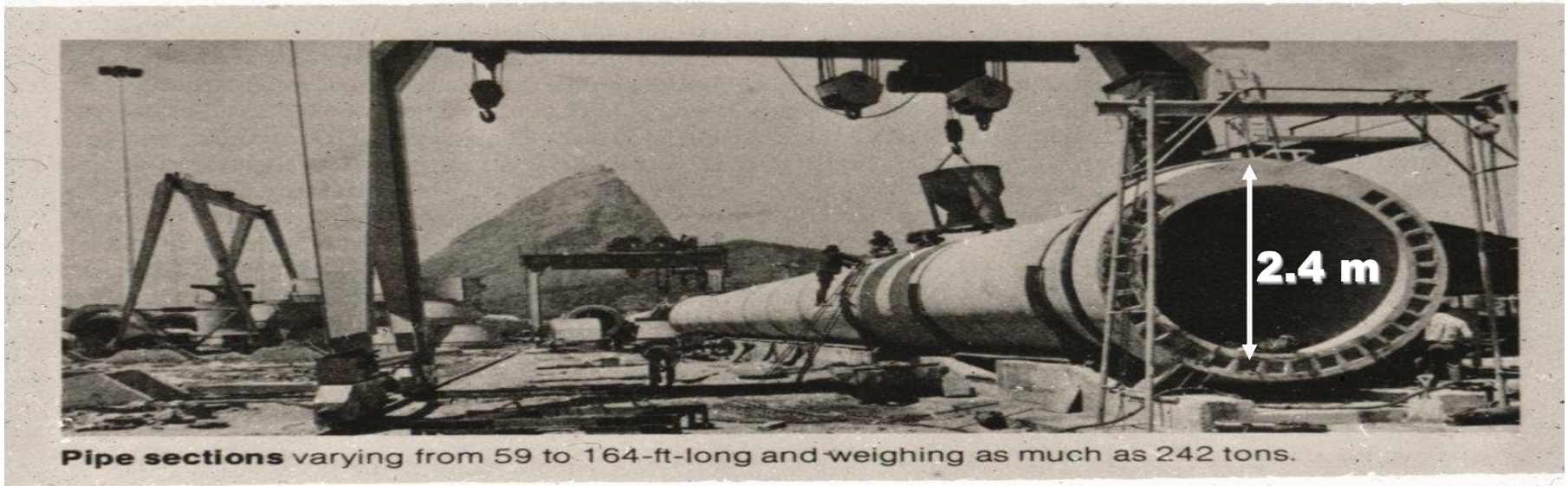
Desenho de sistemas de emissarios



$$C_e = C_{lim} + D (C_{lim} - C_b)$$

- Otimizar mistura inicial, D , dentro da zona de mistura legal (reduzir impactos locais)
- Definição do tratamento (C_e) para reduzir impactos regionais (acumulação)
- Definição do local com boas características de transporte e com menos probabilidade de interação com áreas de proteção (ou balneabilidade)
- Não existe solução padrão

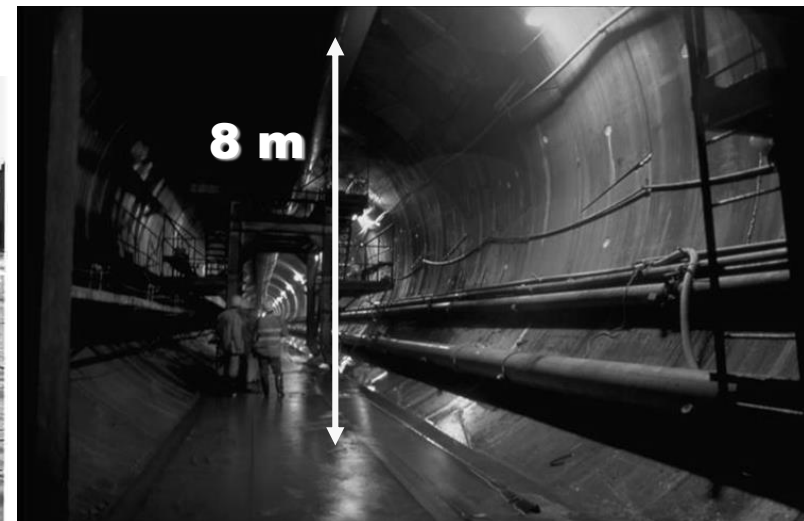
Tuberias de emissarios



Rio de Janeiro, Brasil, 4 km, concreto

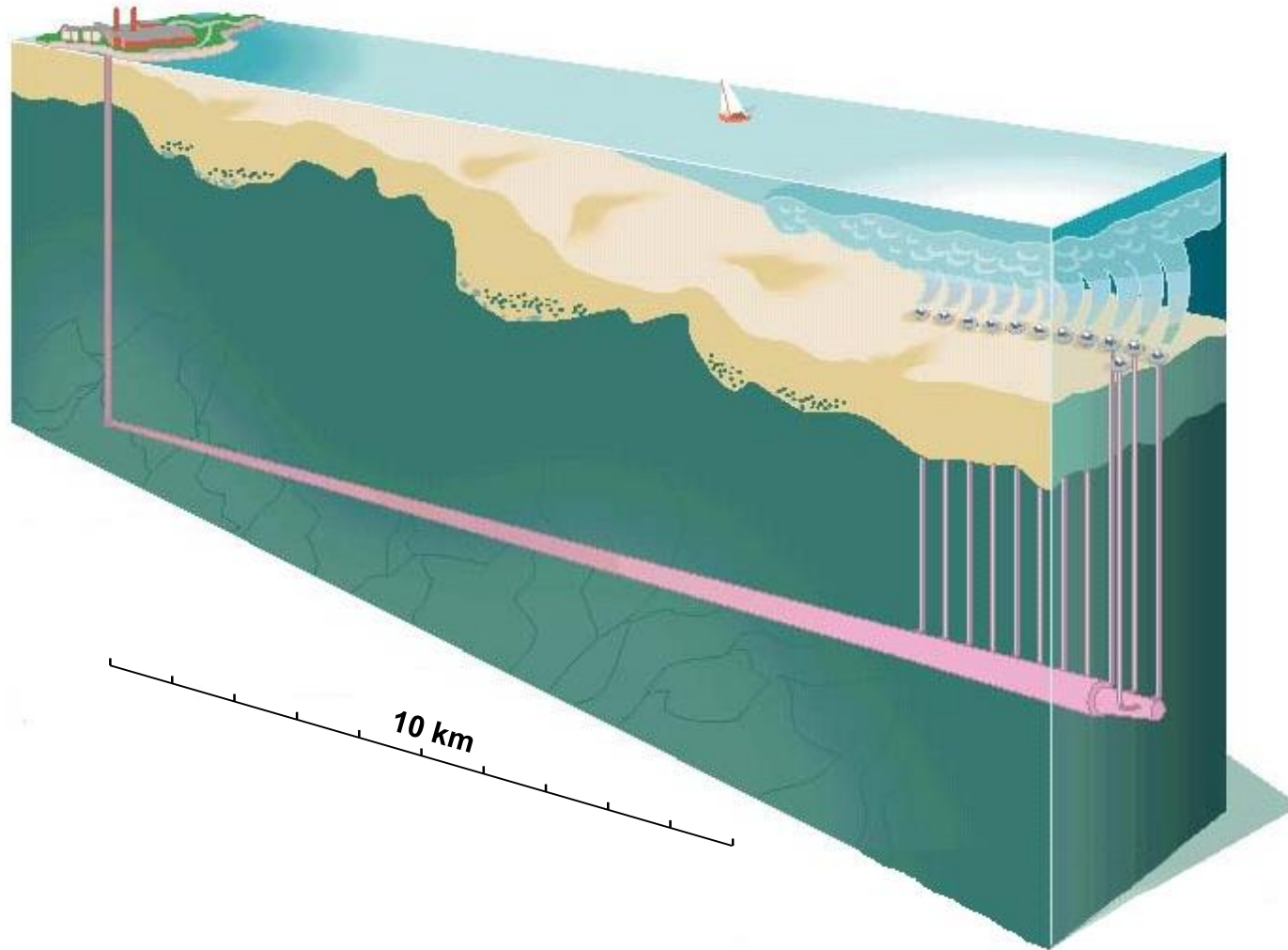


Antalya, Turquia, 2.6 km, PEAD



Boston, USA, 16 km, tunel

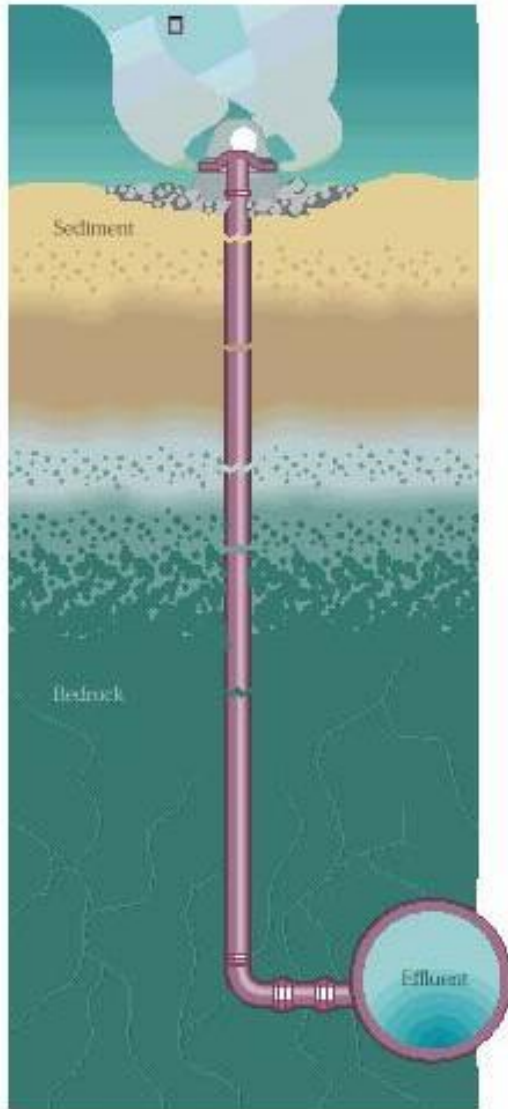
Boston Harbor Wastewater Project



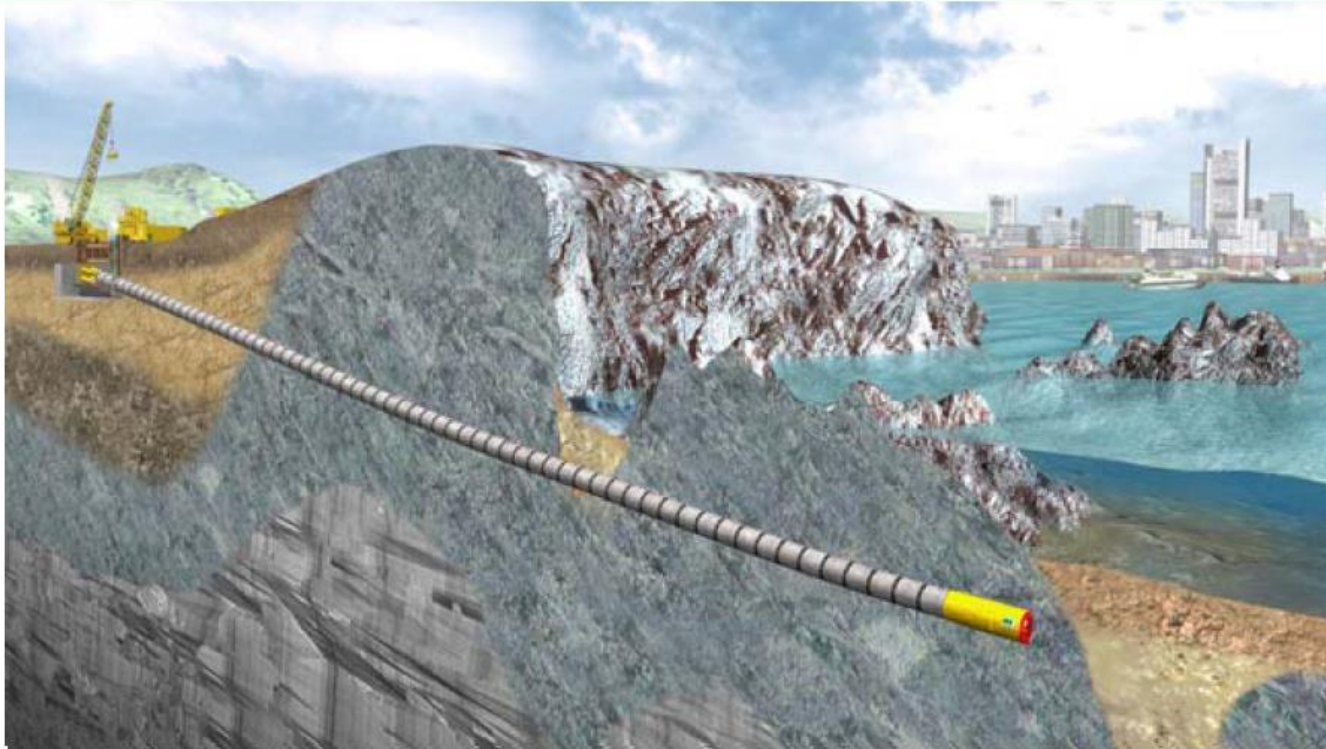
Inside the Outfall Tunnel



How Many Risers?



HERRENKNECHT AG | UTILITY TUNNELLING | TRAFFIC TUNNELLING



HERRENKNECHT AG.

Recovery of Microtunnelling Machines in the Sea without Shaft at Intakes and Sea Outfalls

Lutz zur Linde



HERRENKNECHT AG | UTILITY TUNNELLING | TRAFFIC TUNNELLING

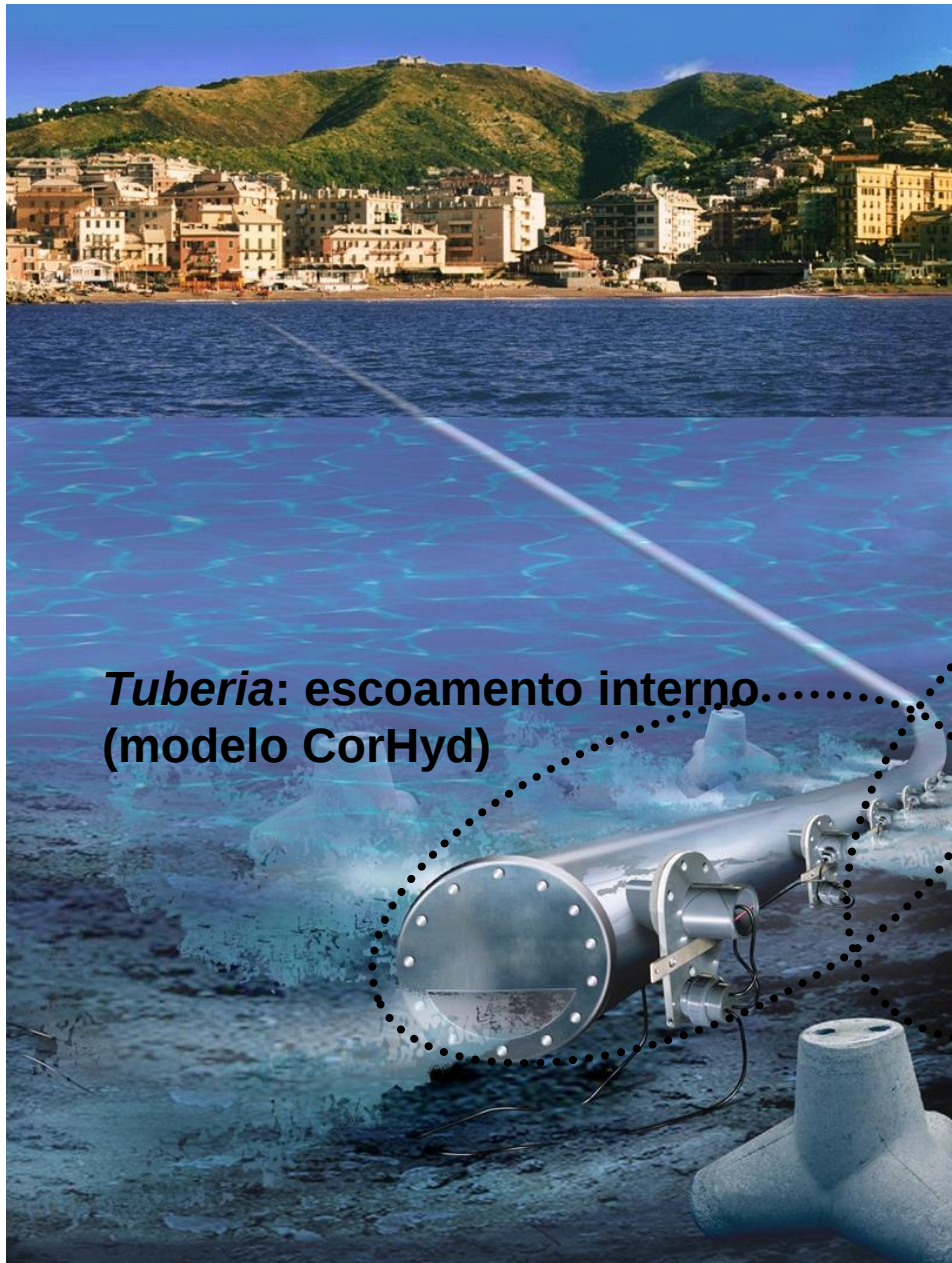
SANTOS Brasil, recovery without shaft



Difusores multiorificio



Processos de mistura



Tuberia: escoamento interno.....
(modelo CorHyd)

Campo intermediario:
Interação com contorno,
Espalhamento de densidade
(CORMIX submodels)



Campo afastado:
difusão pasiva do
ambiente, advecção,
degradação/ (modelos de
circulação e transporte)

Campo proximo: difusão ativa
de jato (modelo CorJet)

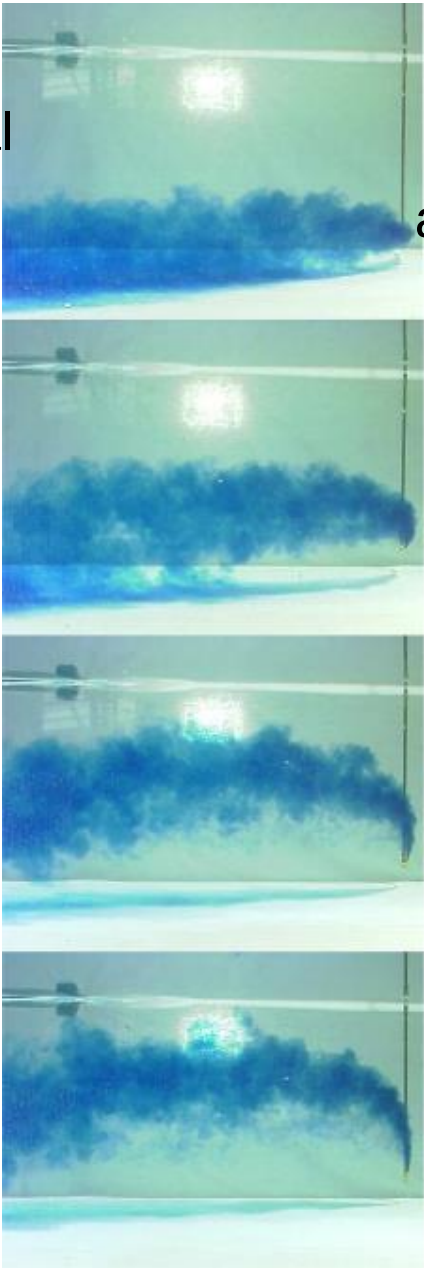
Laboratorio: jato denso em escoamento (vista lateral)



Laboratório: jato denso em escoamento



Vista lateral



0°
angulo vertical da descarga

30°

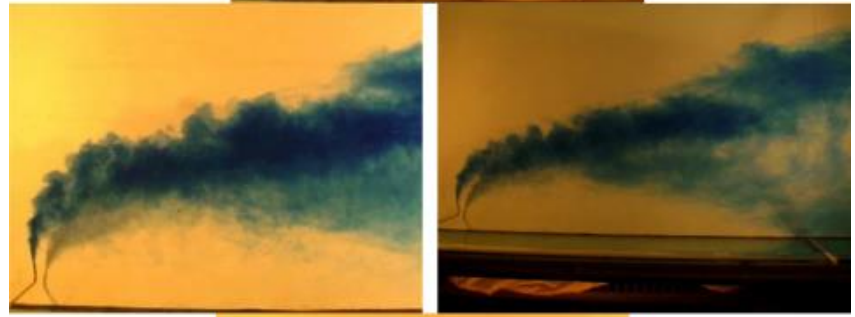
45°

60°

Vista planta



0°



30° ↗

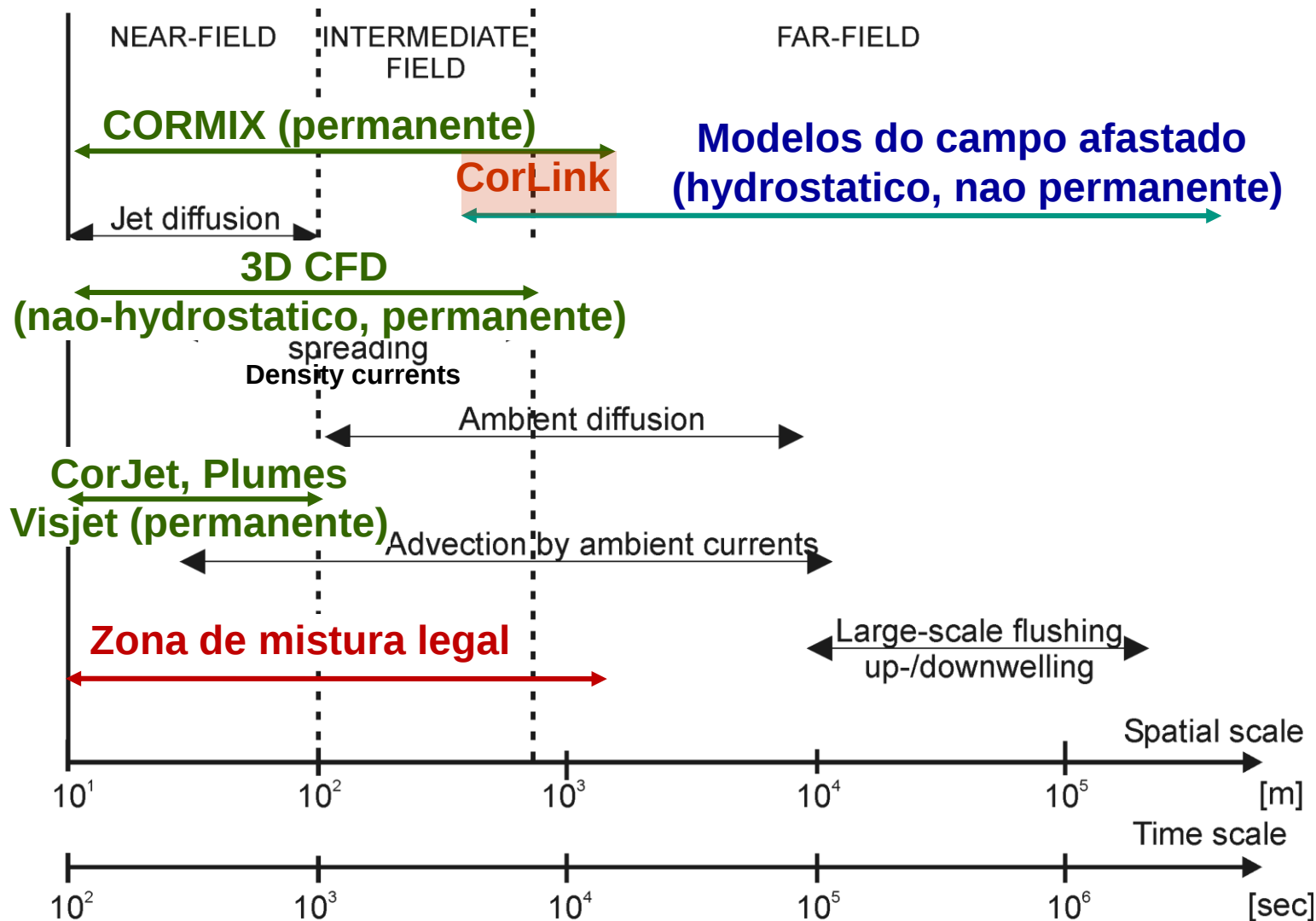


45°



60°

Diferencas de escala e processos



(modified from Fischer et. al, 1979; Jirka & Lee, 1994;)

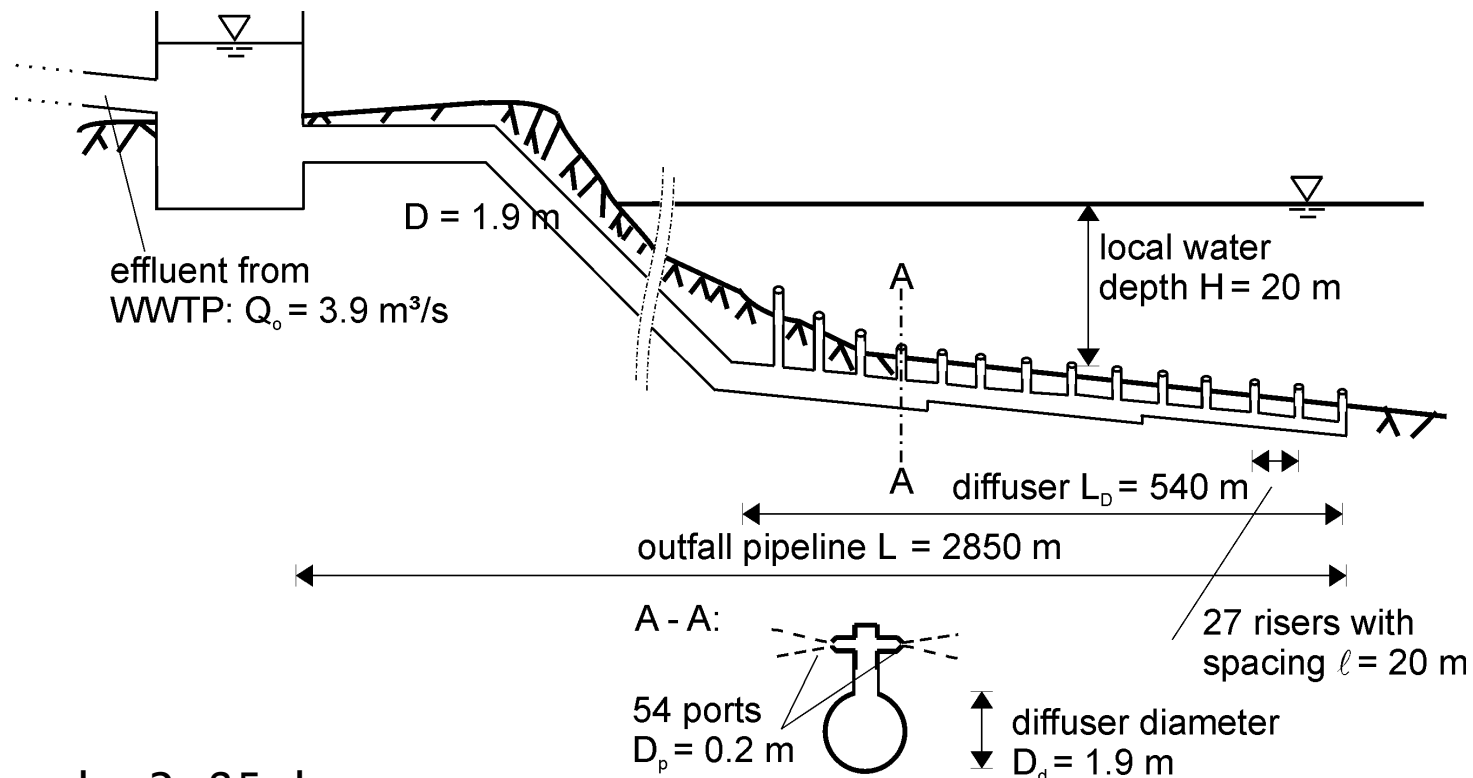
Estudo de caso

Emissario de Cartagena (Colombia)



- 400.000 pessoas beneficiadas
- Tratamento preliminar

Emissário de Cartagena

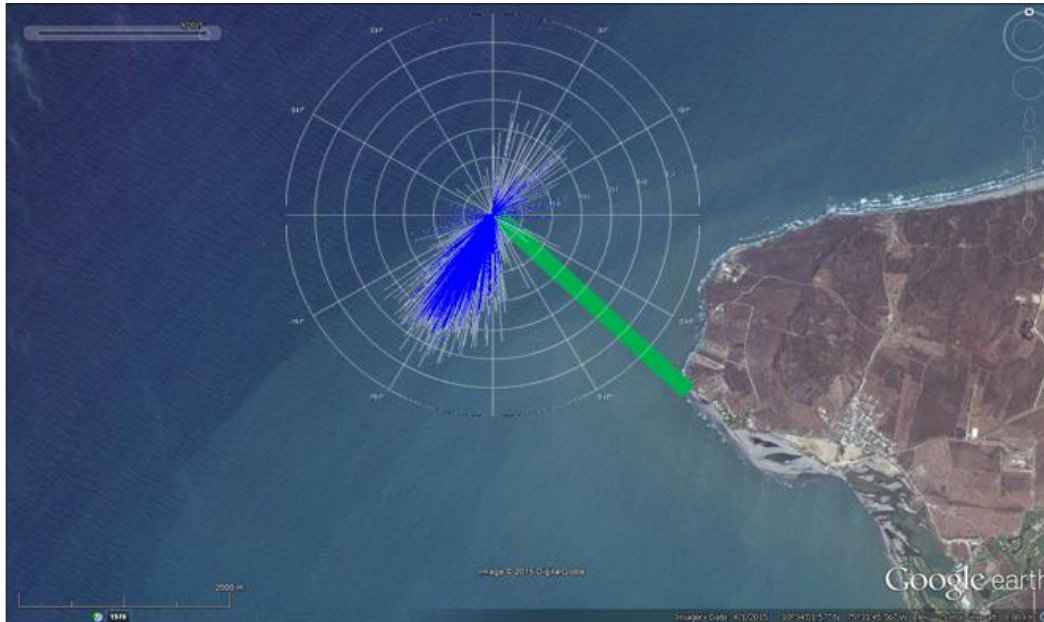


- Tubulação de 2,85 km
- Difusor com 540 m de comprimento
- Profundidade de 20m
- Vazão variando entre 2,37 – 3,94 m^3/s



Source: World Bank

Dados medidos

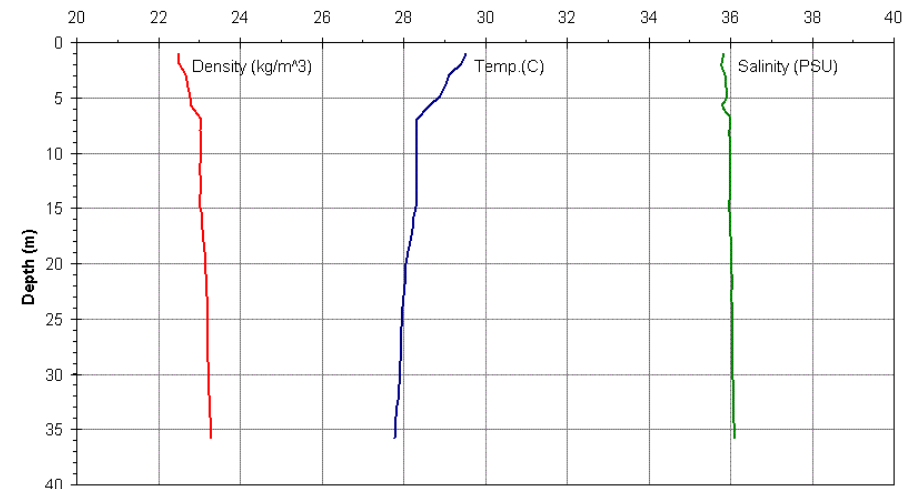
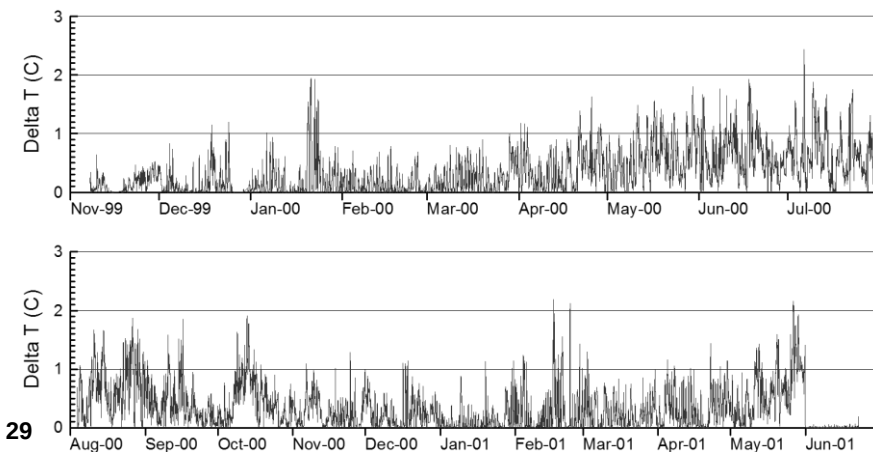


Medição com ADCP e CTD

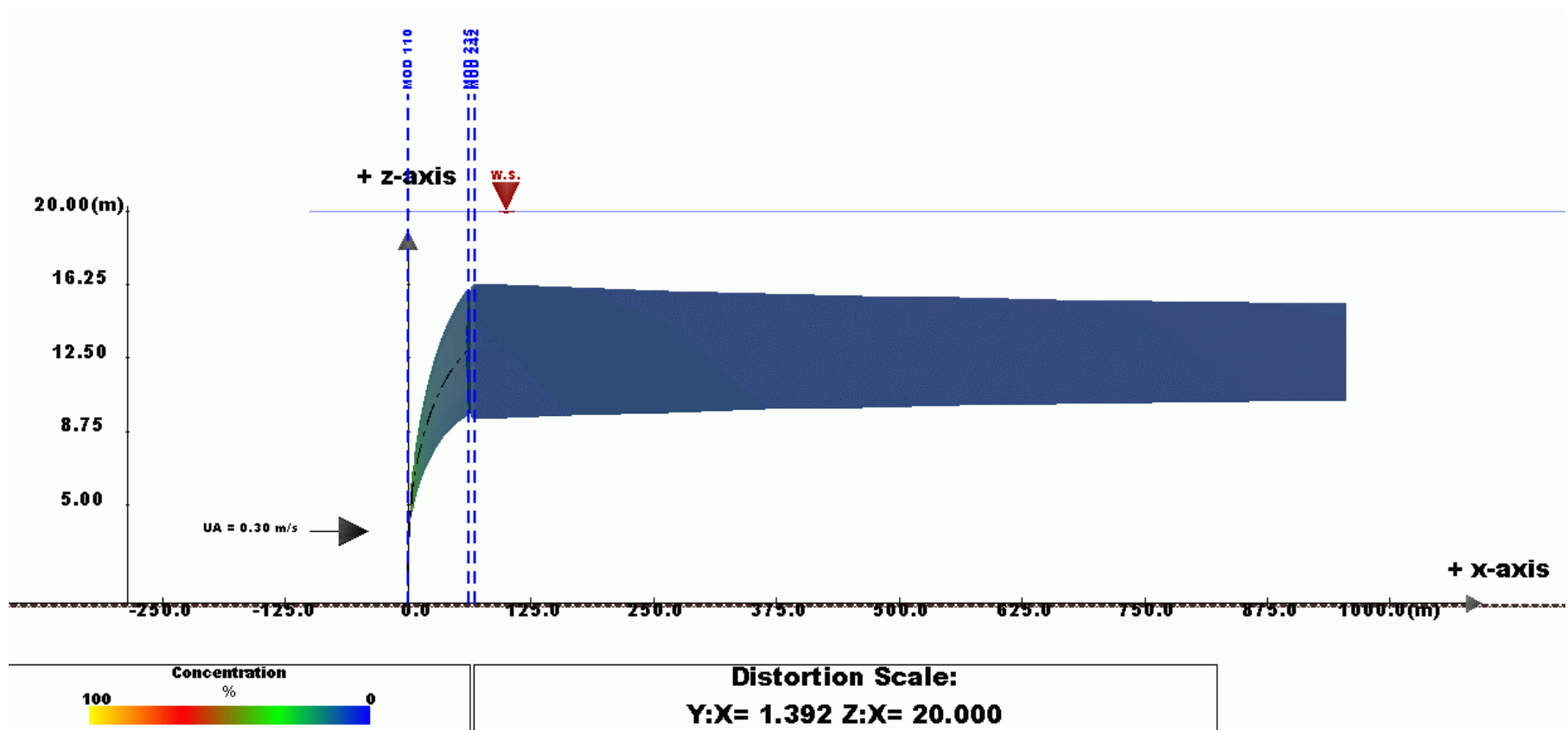
- velocidade média:
0,606 m/s
- Suavemente
estratificado
(1022,8 – 1023,6
kg/m³)

Variação da direção da velocidade do ambiente para cada passo temporal

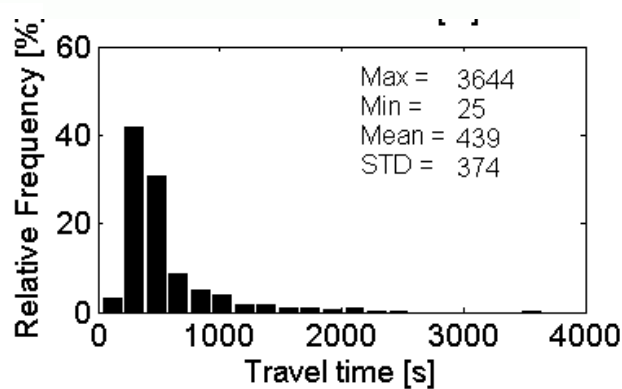
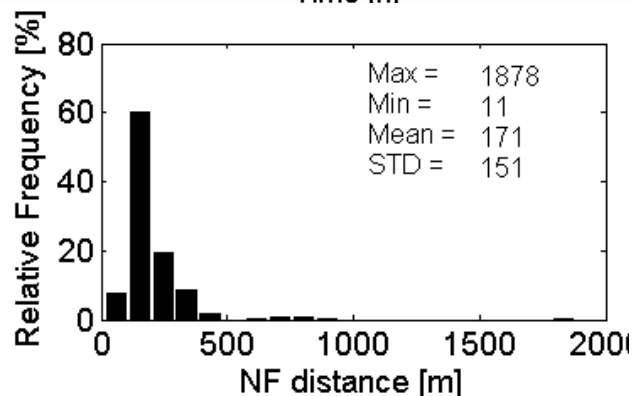
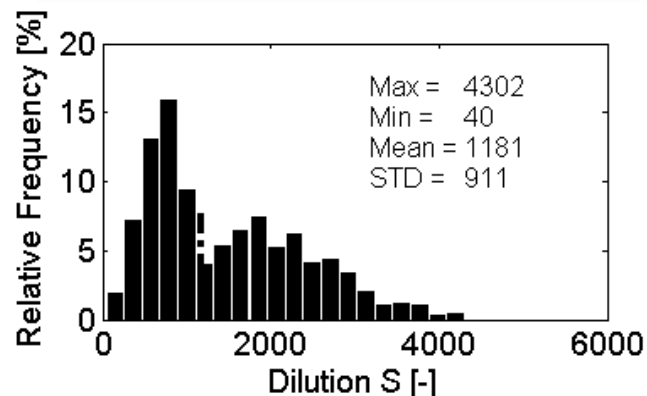
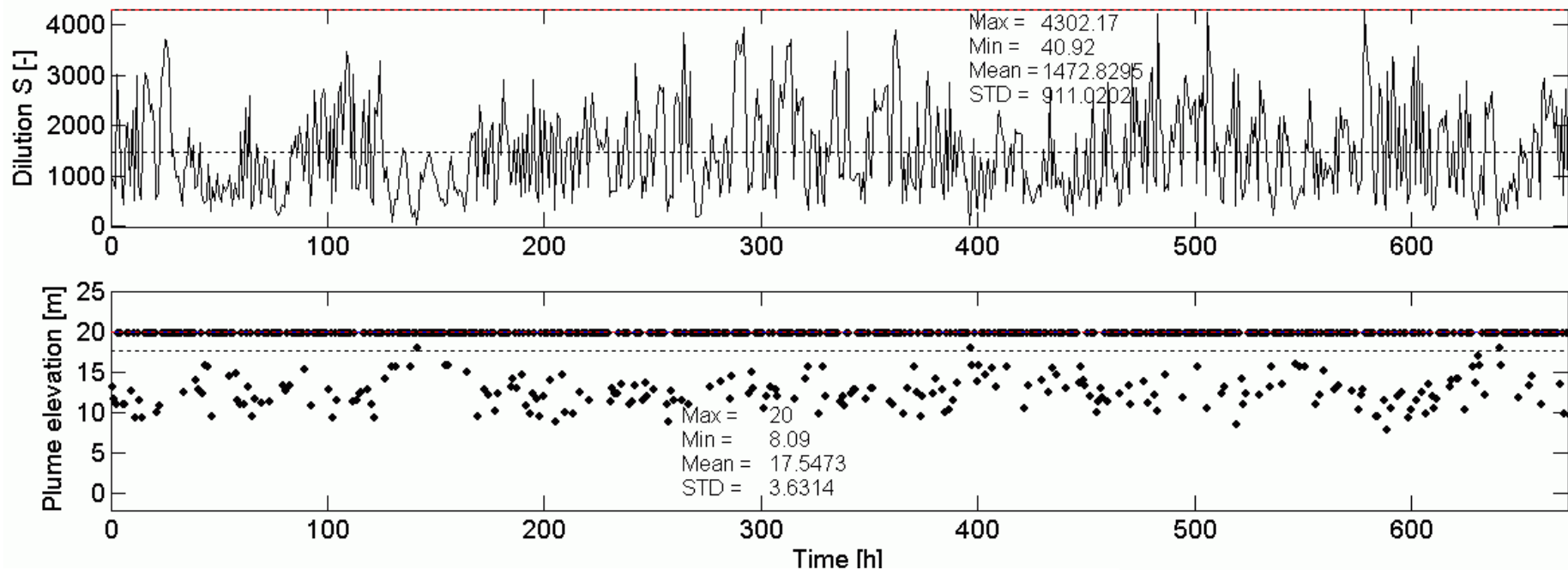
Fonte: Bleninger (2006) & Google Earth (2015) - Adaptado



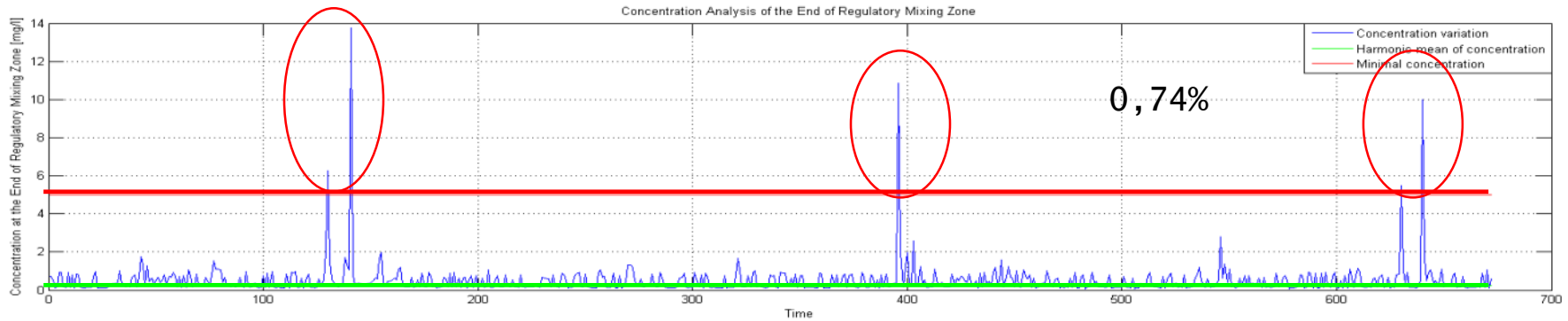
Resultados campo proximo



Resultados campo proximo

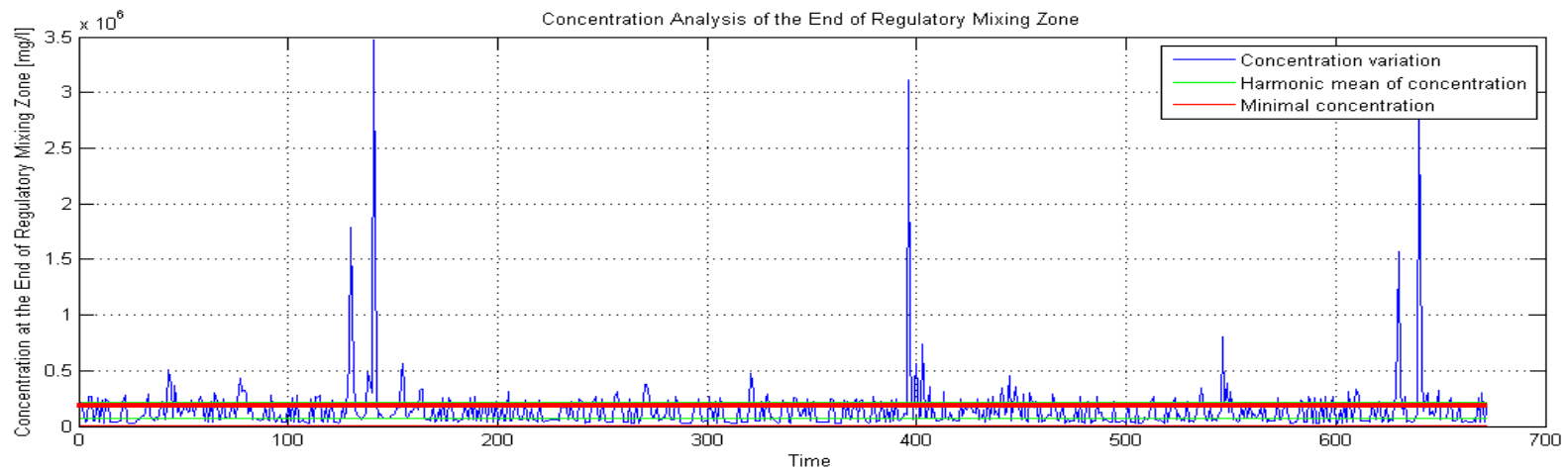


Resultados Cartagena:



DBO ao fim do campo proximo

Fonte: Mayra Ishikawa



Coliformes Totais ao fim do campo próximo (após diluição inicial)

Fonte: Mayra Ishikawa

Modelagem do campo afastado com Delft 3D

C.C.:

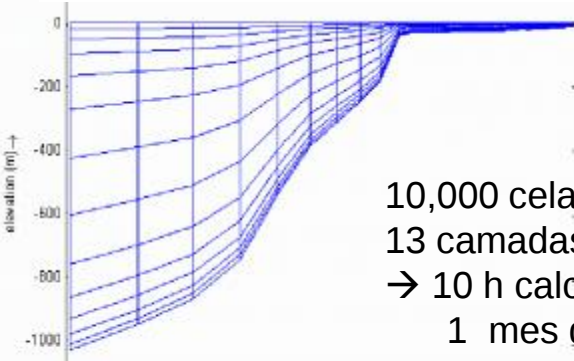
- correntes com distribuição logarítmica (resultados ELCOM e medições)
- perfis de densidade medidos

C.C.:

- níveis não permanentes (medições de nível)
- perfis de densidade medidos

C.C. (superfície):

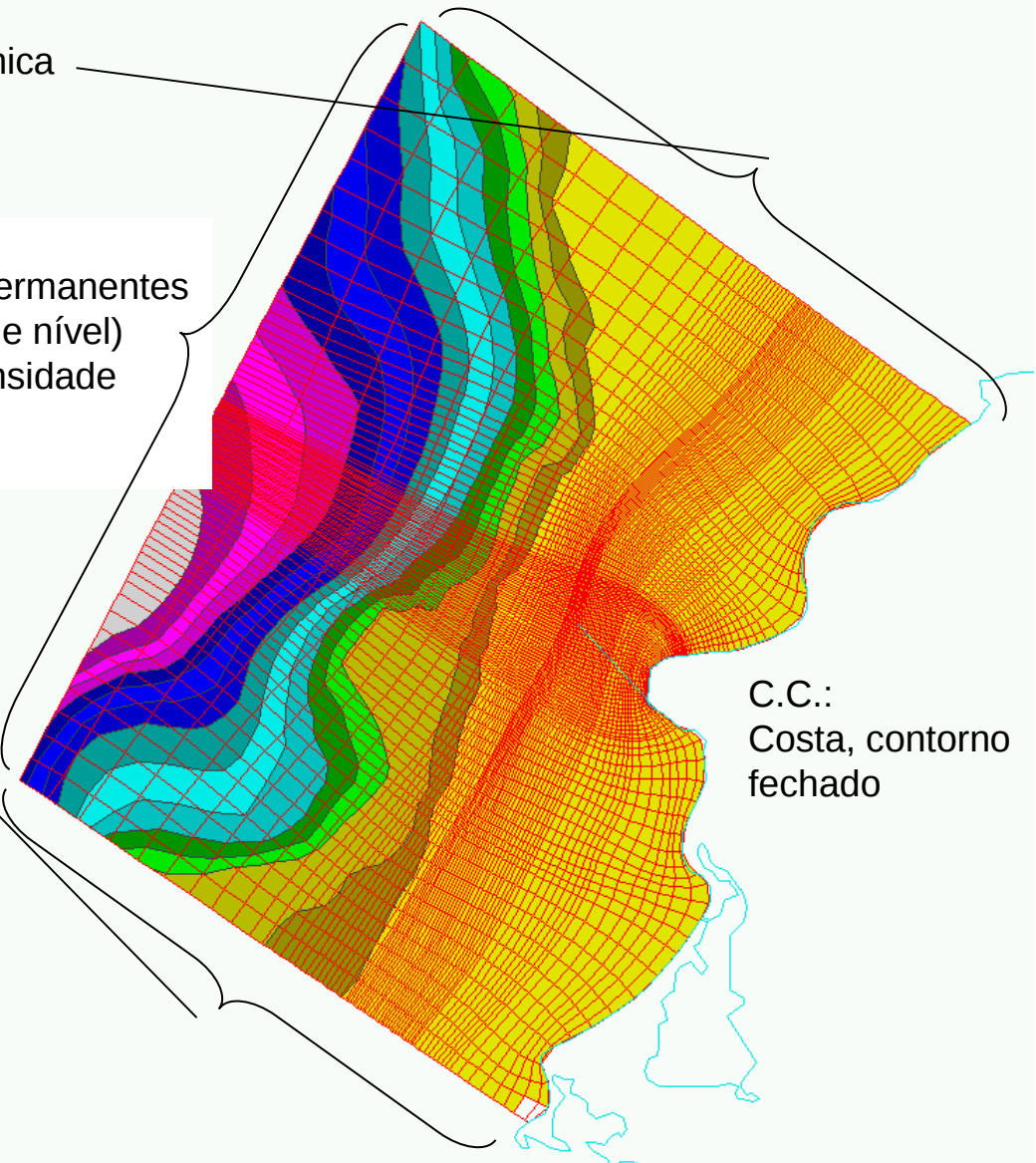
- superfície livre(sigma layer)
- vento não permanente, uniforme



10,000 celas na horizontal
13 camadas na vertical
→ 10 h calculo para
1 mes de simulacao

C.C. (leito):

- atrito(quadratic formulation)

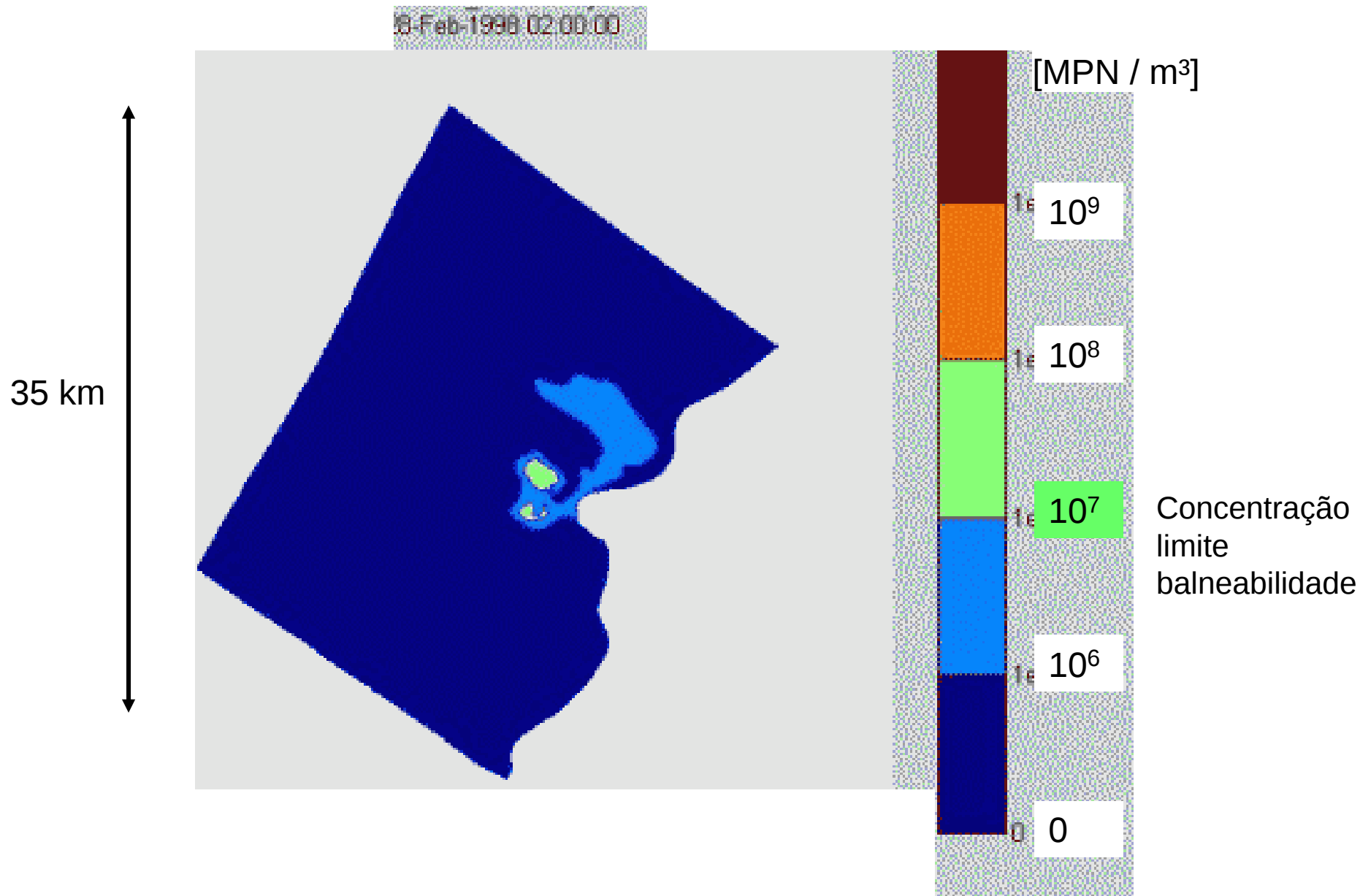


C.C.:
Costa, contorno
fechado

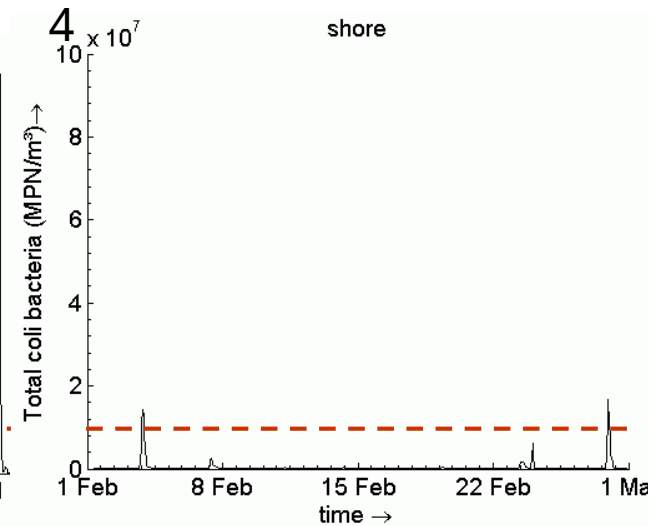
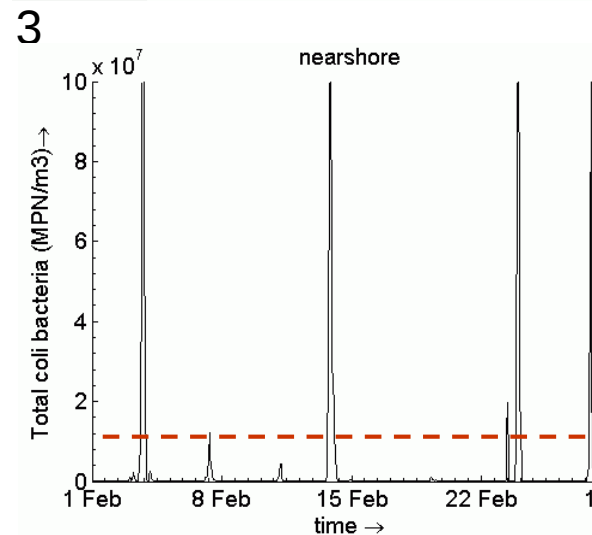
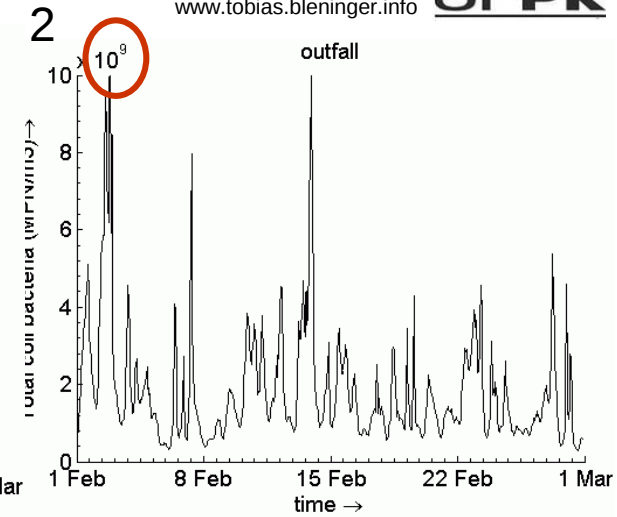
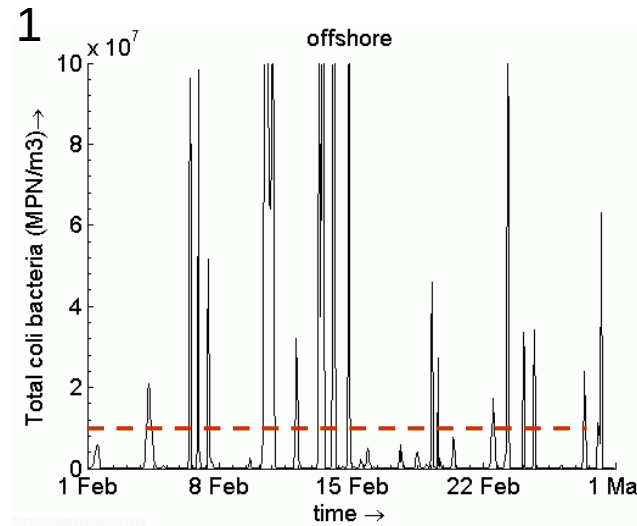
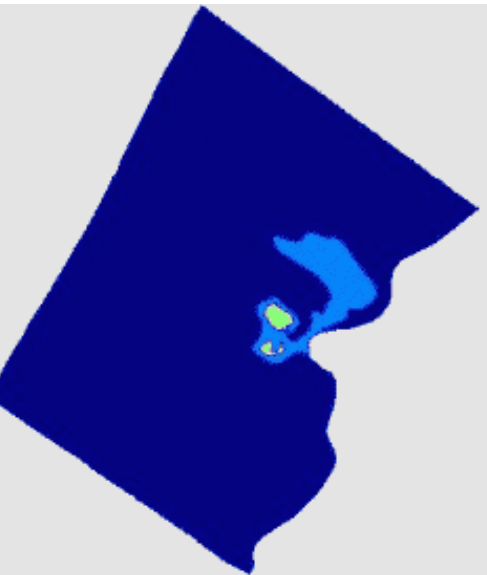
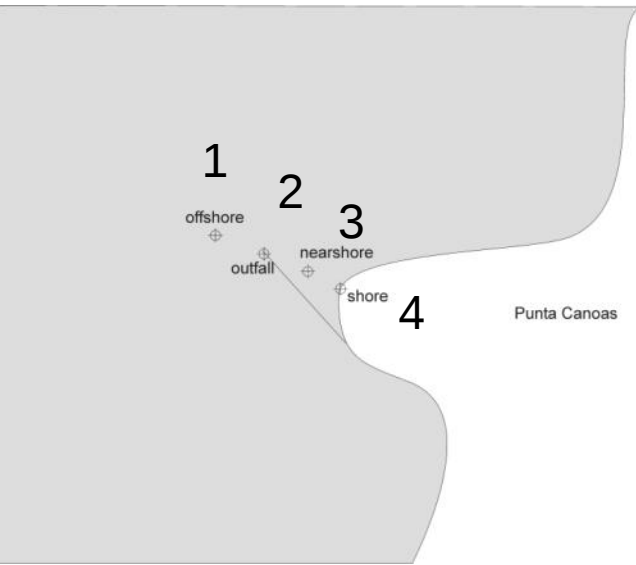
25 km

Resultado QA: concentração de bactérias

- Media vertical concentrações de coliformes ($C_0 = 10^{11}$ MPN/m³)

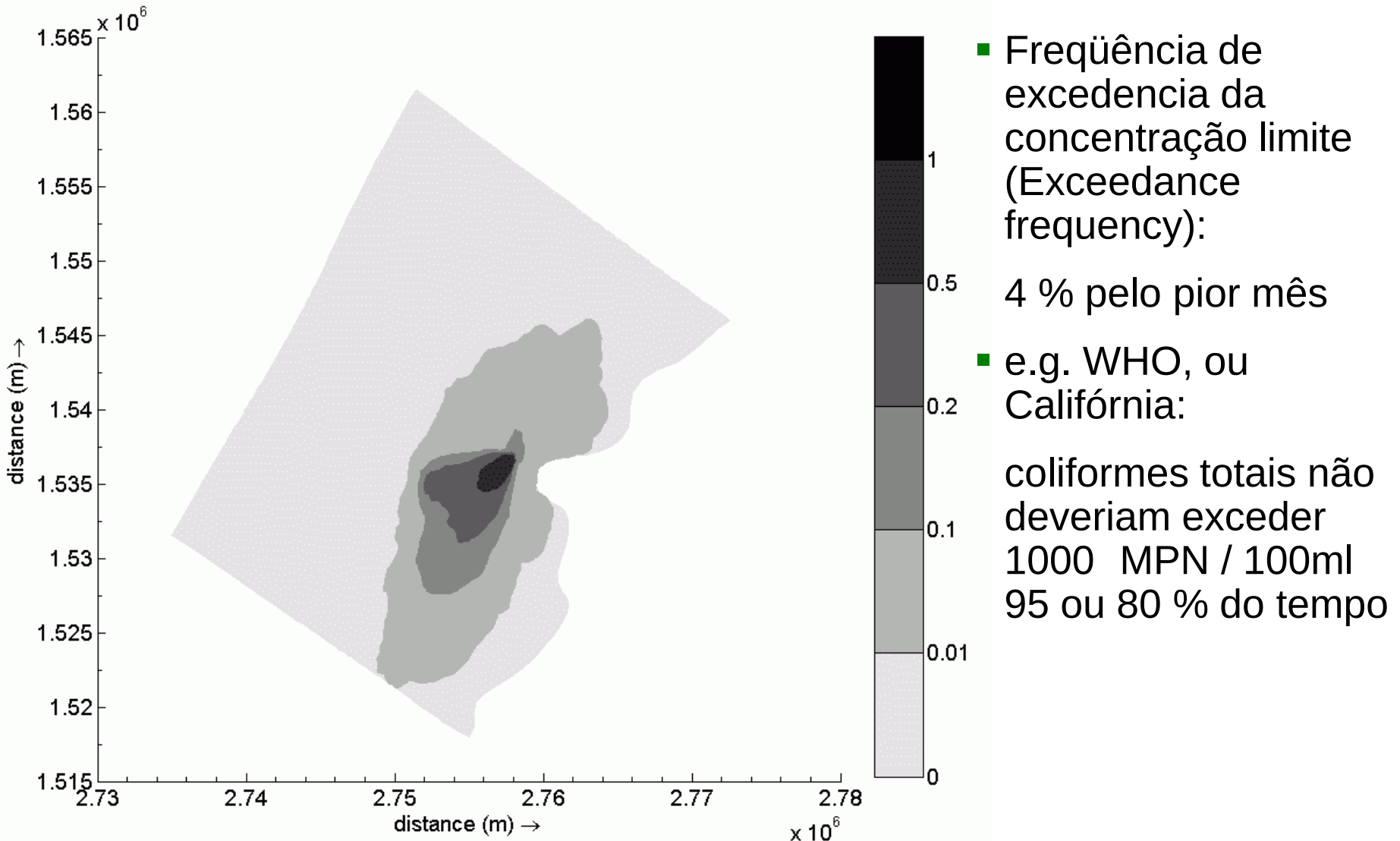


Resultados



----- Bathing water standard: 10^7 counts / m³ = 10^3 counts / 100 ml

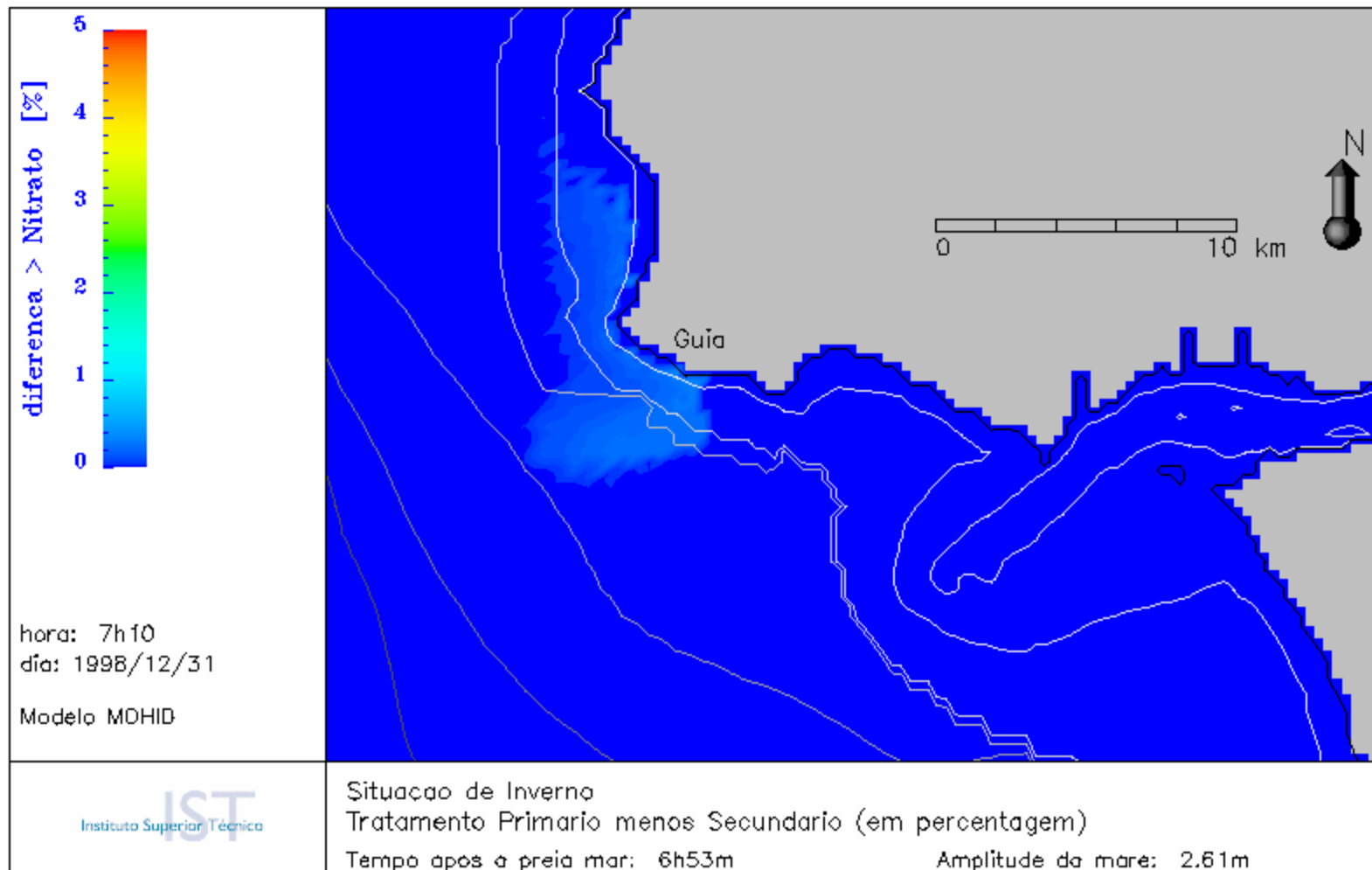
Frequencia de excedencia



Exceedance frequency of total coliforms exceeding 1000 MPN / 100 ml for the surface layer (0.4 m thickness) for the month February 1998

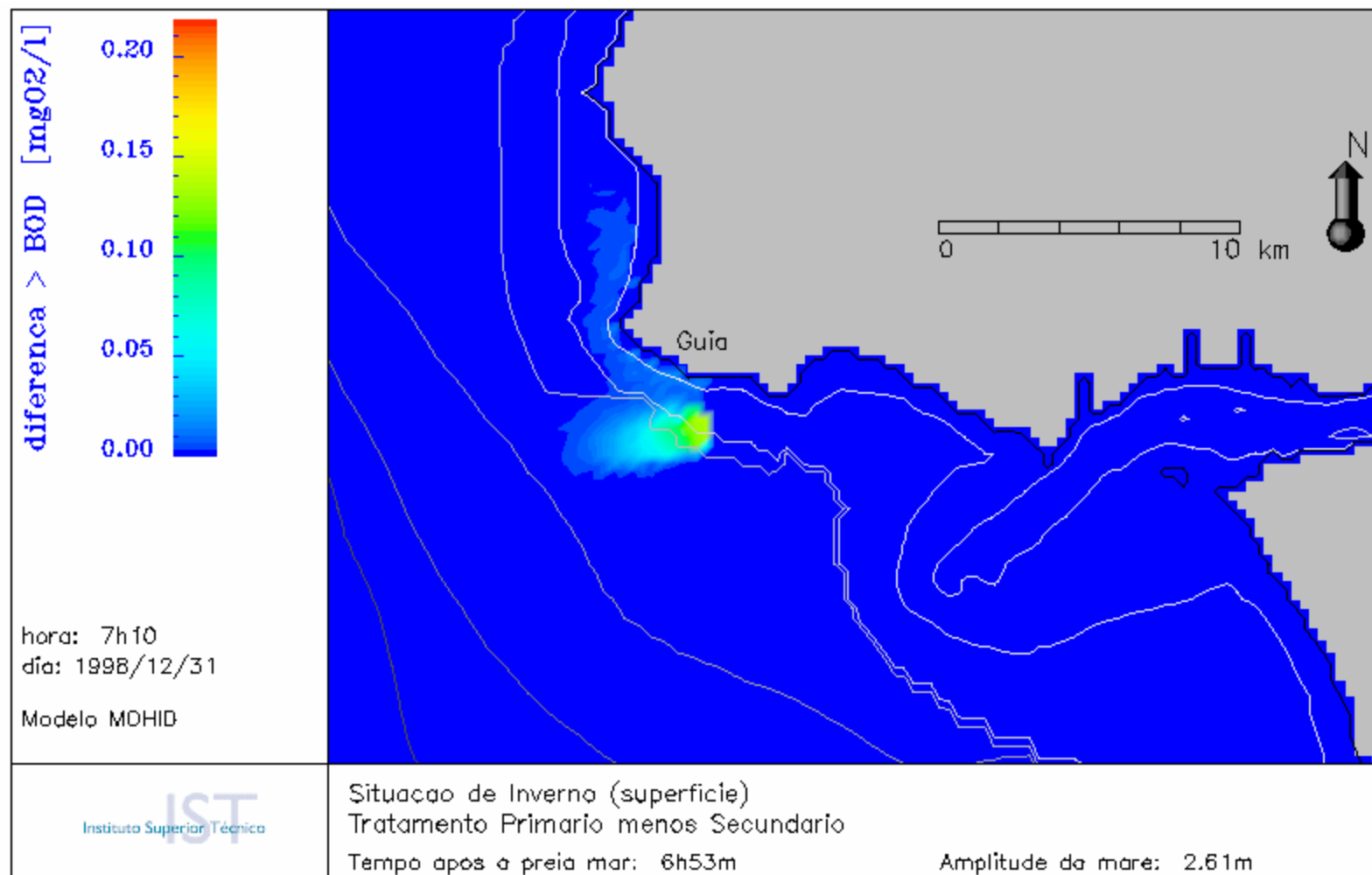
Estudo de caso 2: Lisboa, Portugal: Tratamento secundario vs. primario Nitrato em inverno

Courtesy: Ramiro Neves, IST, Modelo MOHID



Estudo de caso 2: Lisboa, Portugal: Tratamento secundario vs. primario DBO em inverno

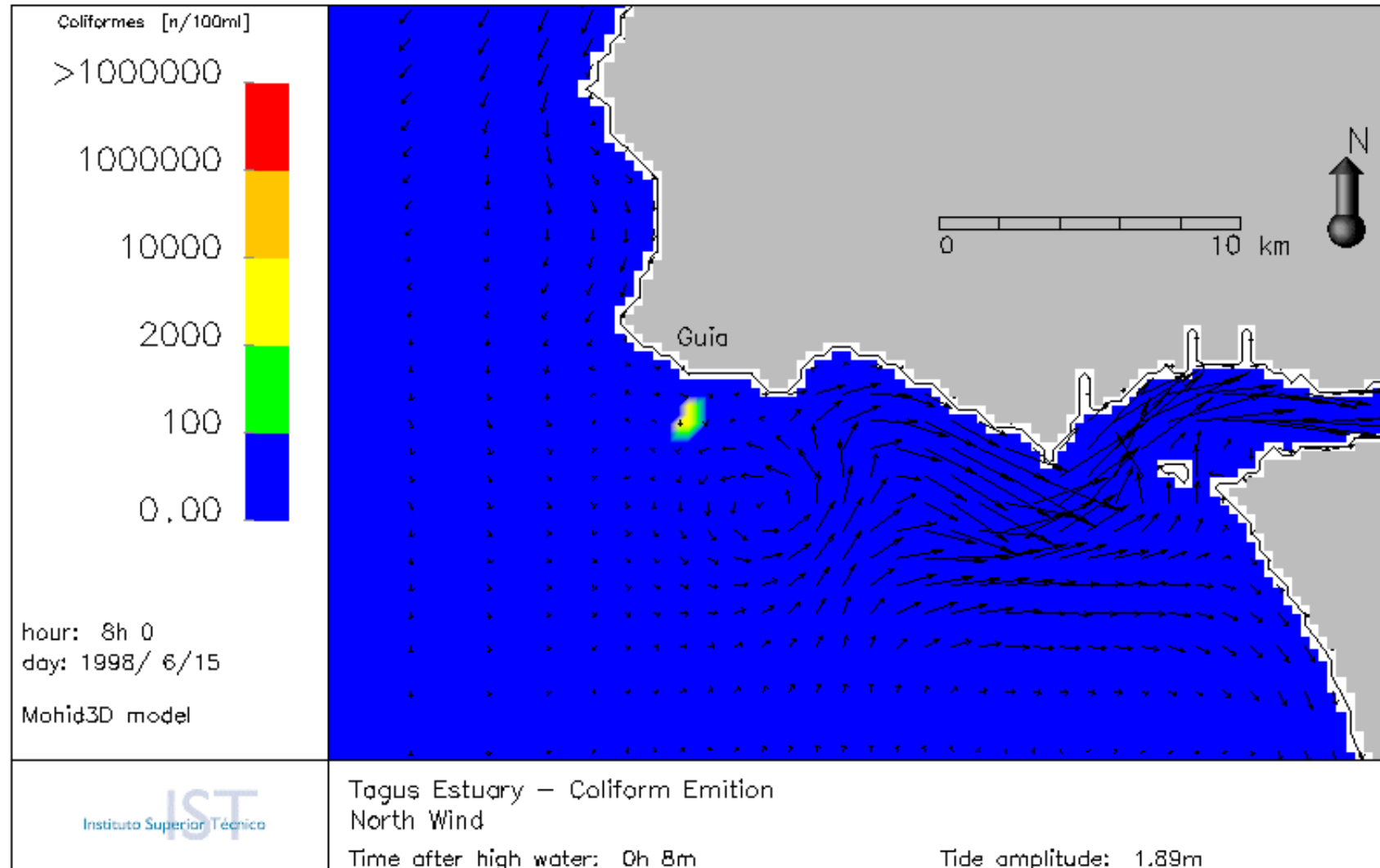
Courtesy: Ramiro Neves, IST, Modelo MOHID



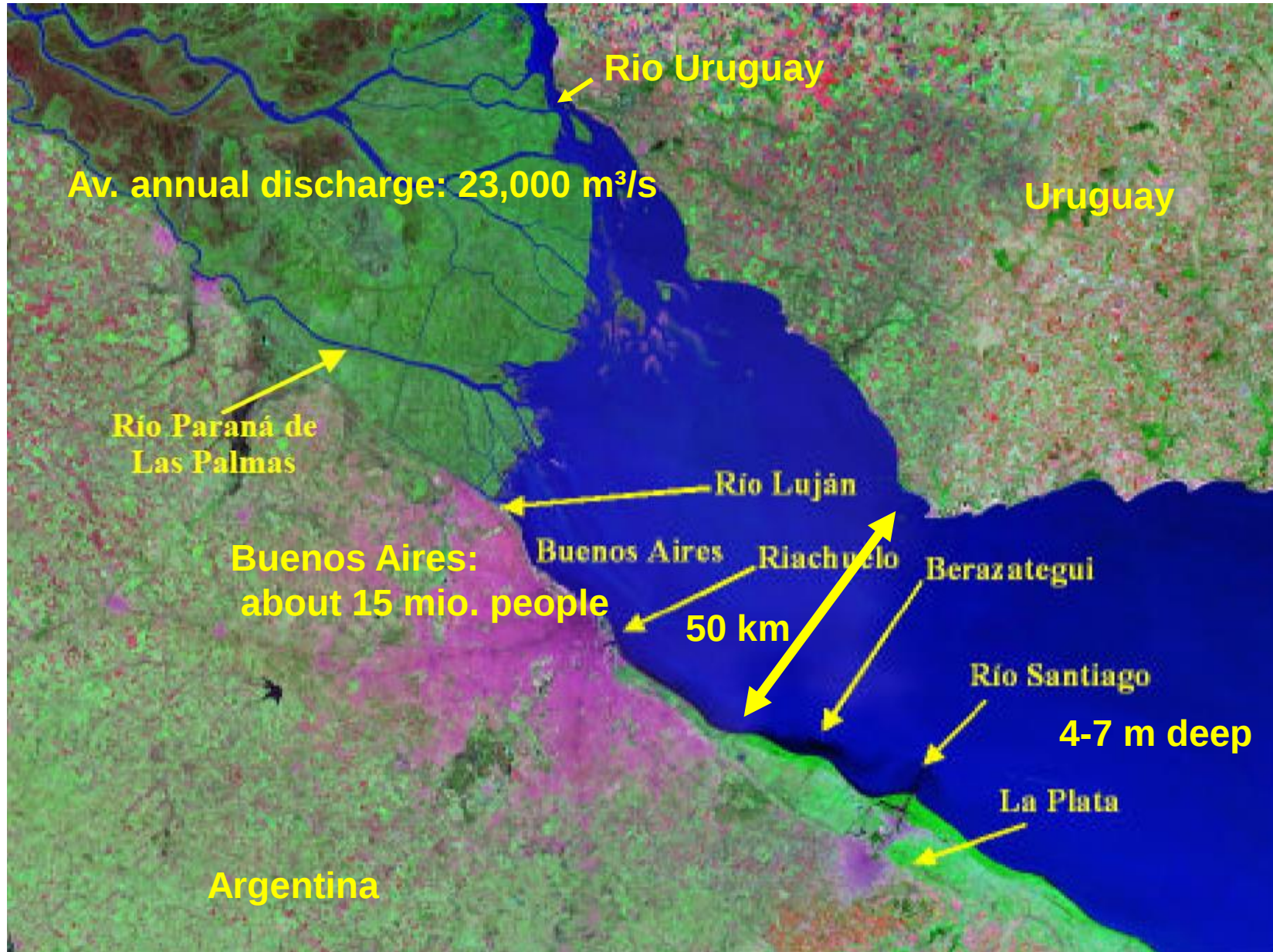
Tratamento preliminar

Coliformes fecais

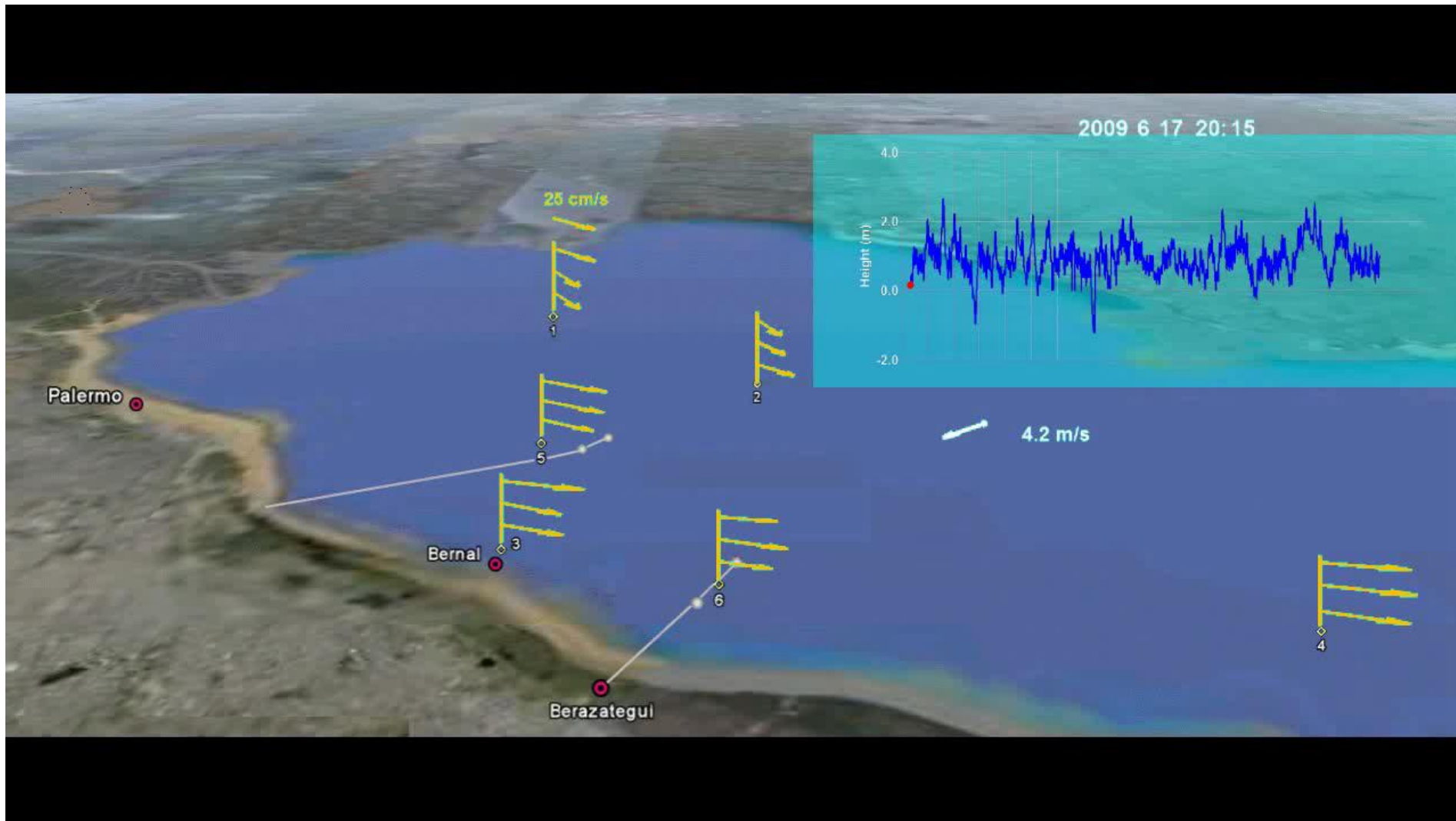
Courtesy: Ramiro Neves, IST, Modelo MOHID



Rio de la Plata

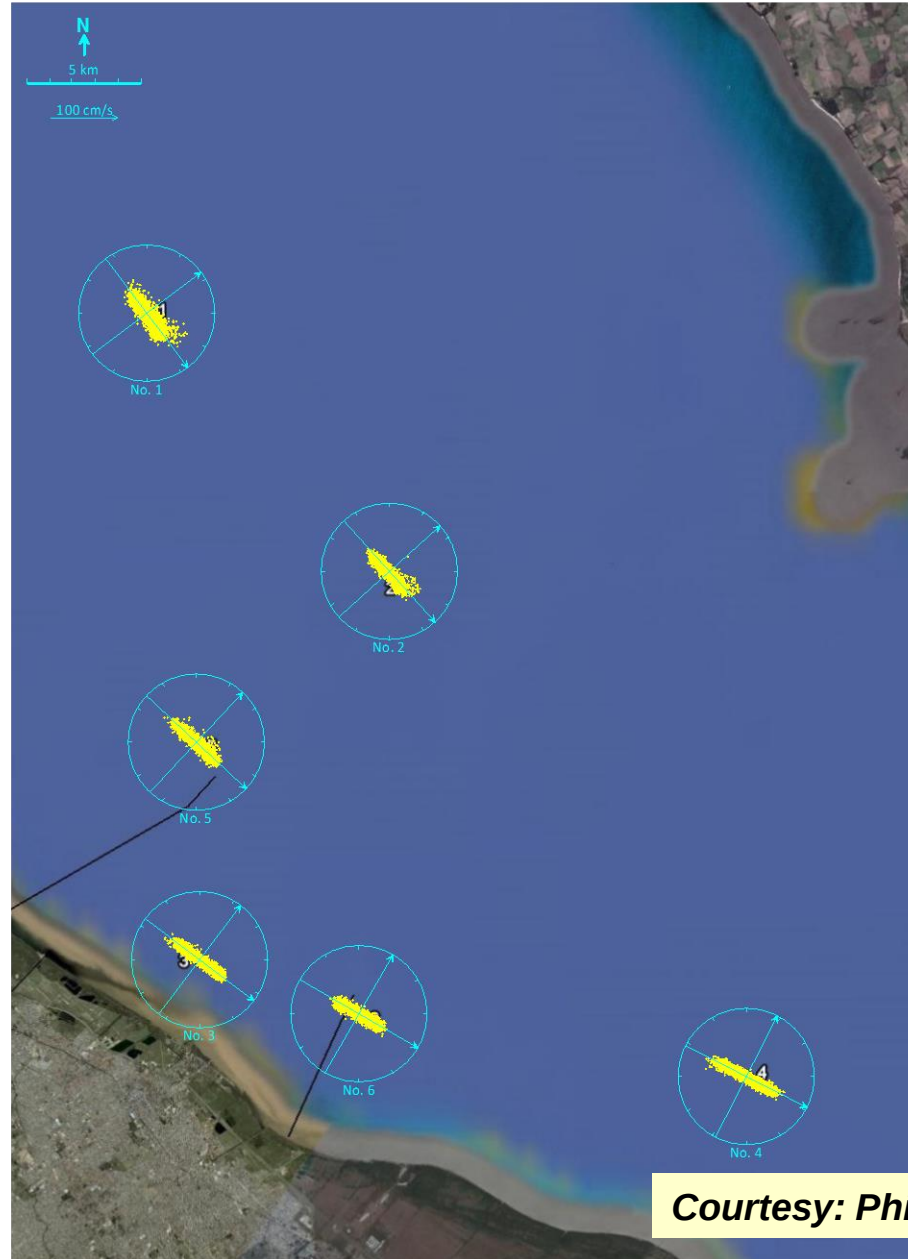


ADCP e vento



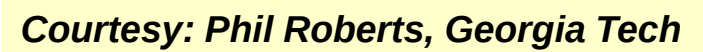
Courtesy: Phil Roberts, Georgia Tech

Polar Scatter Diagrams of Currents



Courtesy: Phil Roberts, Georgia Tech

A yellow flag is planted in the water, marking a location. The water is dark and rippled.



Drifter Experiment Riachuelo



Courtesy: Phil Roberts, Georgia Tech

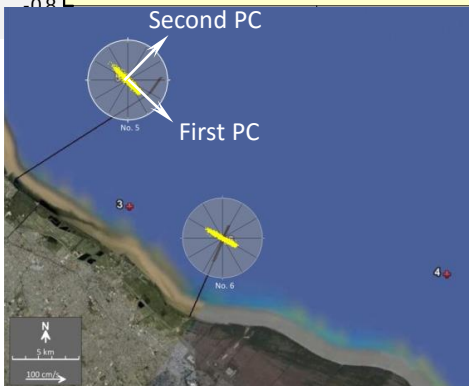
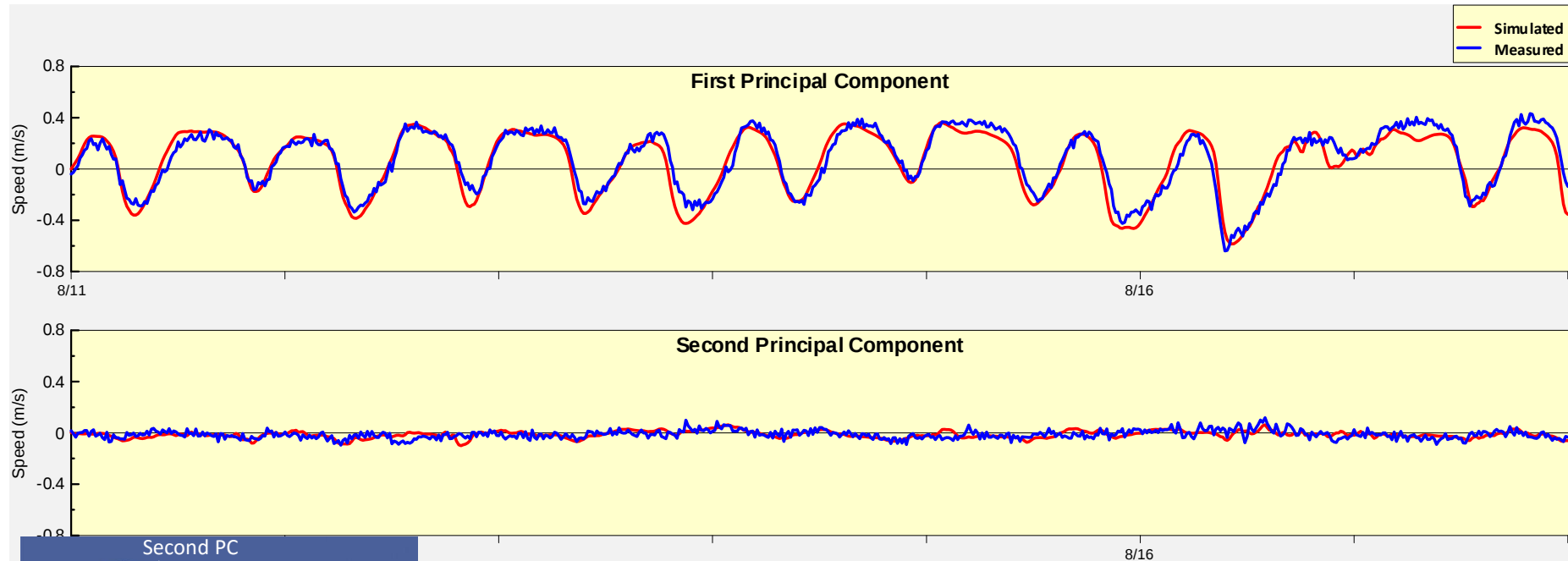
Modelo matematico

- Delft 3D
- Dados de ADCP e drifter justifiquem modelo 2D em malha pequena
- Modelo forçado com vento não uniforme, níveis na jusante e vazoes dos afluentes



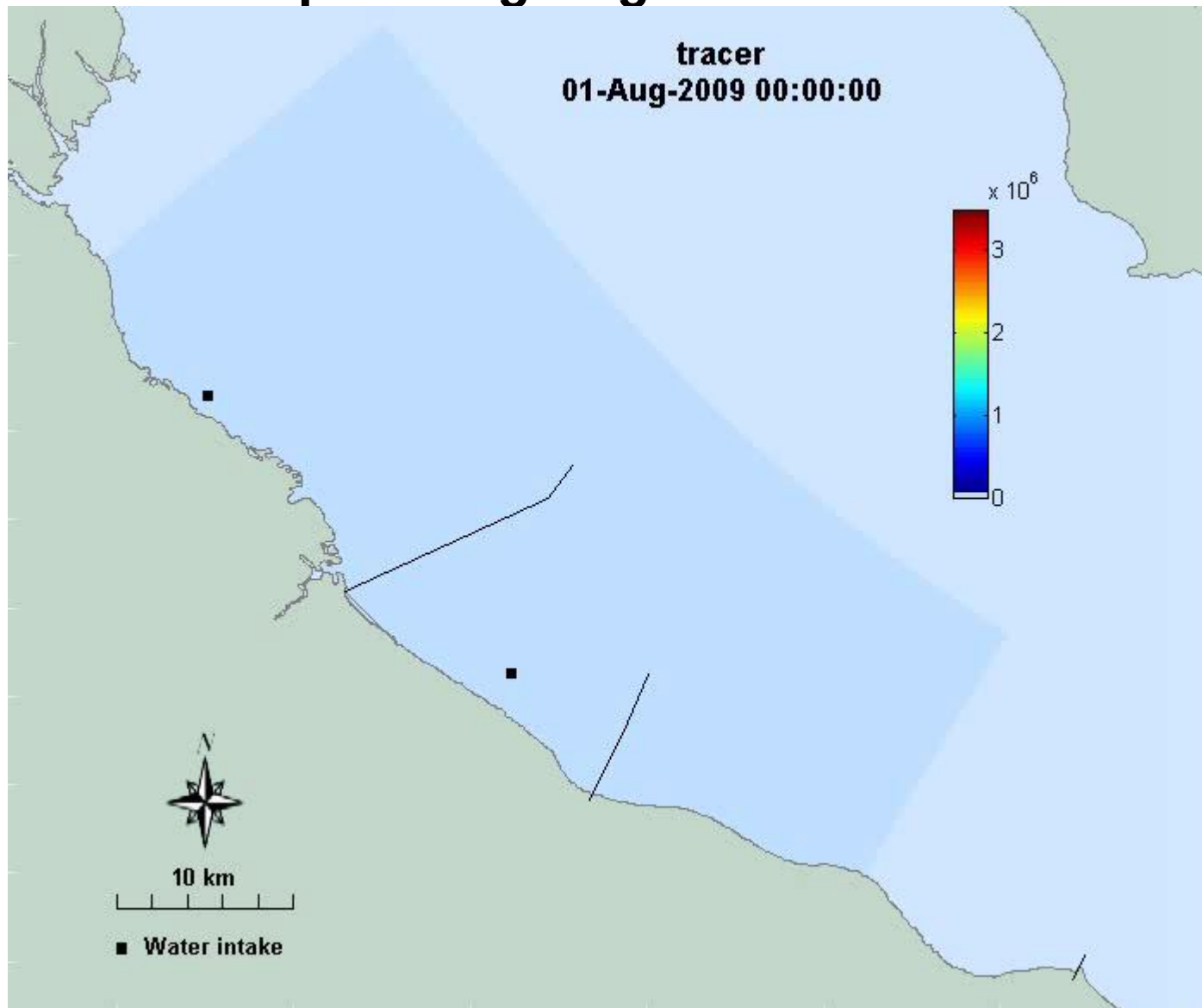
Courtesy: Phil Roberts, Georgia Tech

Comparação modelo com ADCP5

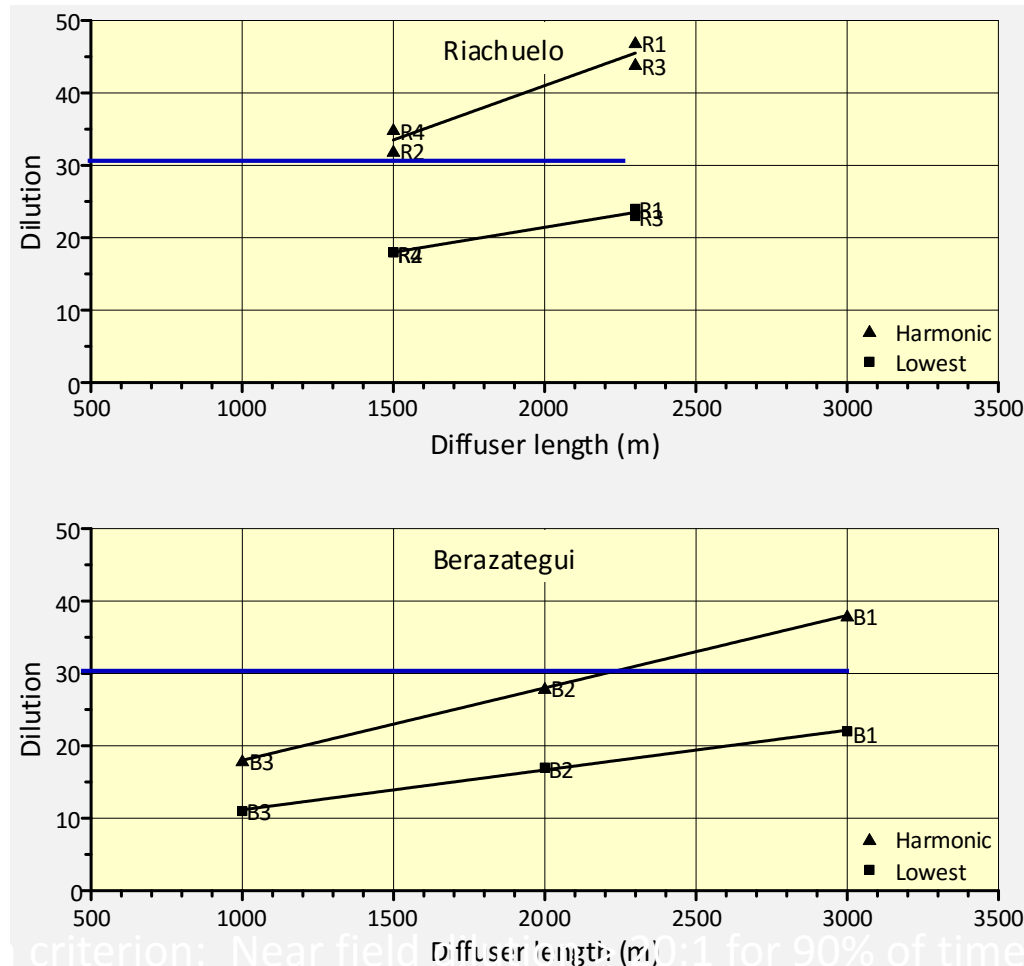


Courtesy: Phil Roberts, Georgia Tech

Modelo de transporte lagrangeano



Avaliação do comprimento dos difusores



Courtesy: Phil Roberts, Georgia Tech

Aspectos construtivos:

Estudo de caso: Berria, Cantabria, Espanha



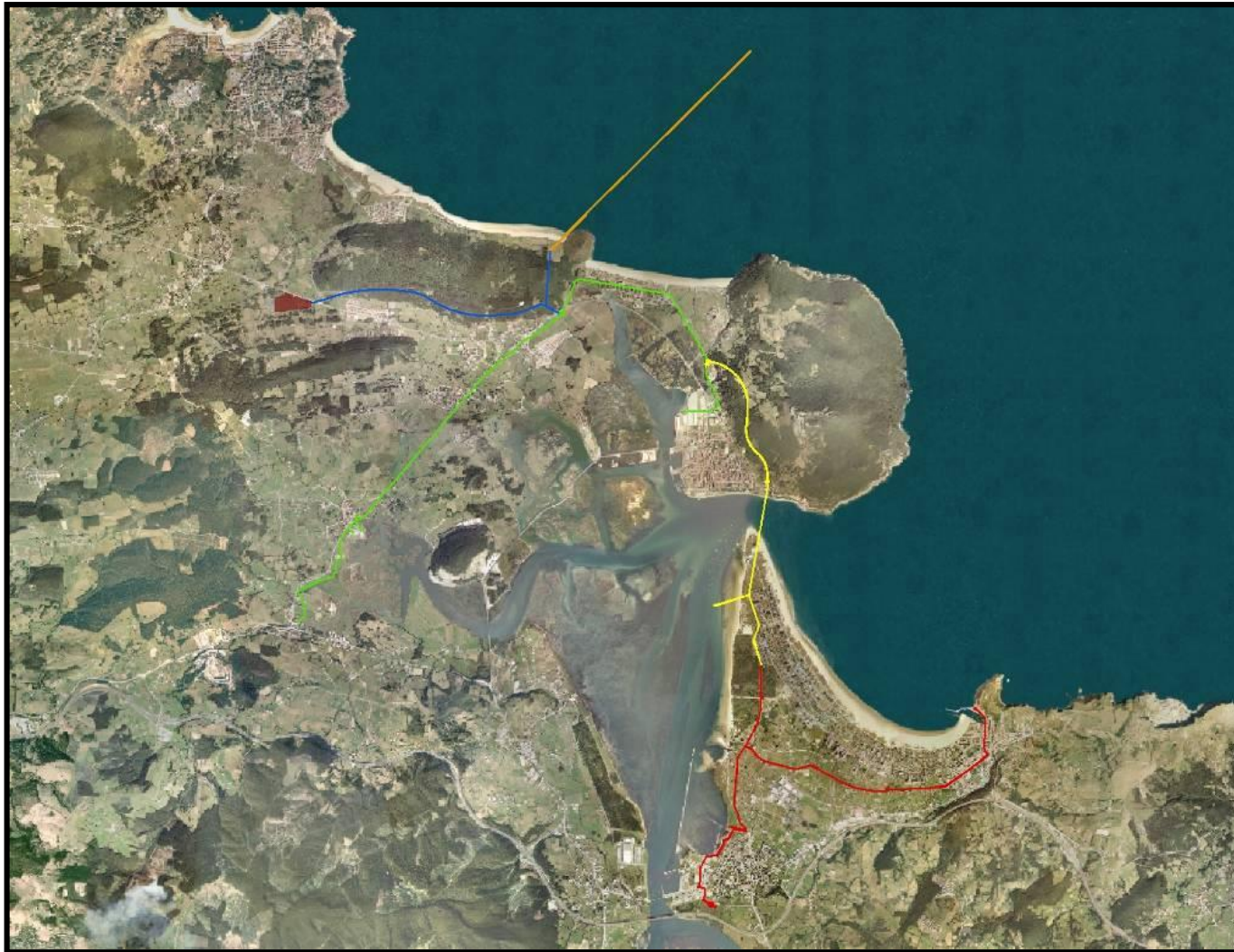
Courtesy: Eloy Pita, INCREA, , epita@increa.eu, www.increa.eu

BERRIA, SANTOÑA WETLANDS



Courtesy: Eloy Pita, INCREA, , epita@increa.eu, www.increa.eu

Plano geral de drenagem e saneamento

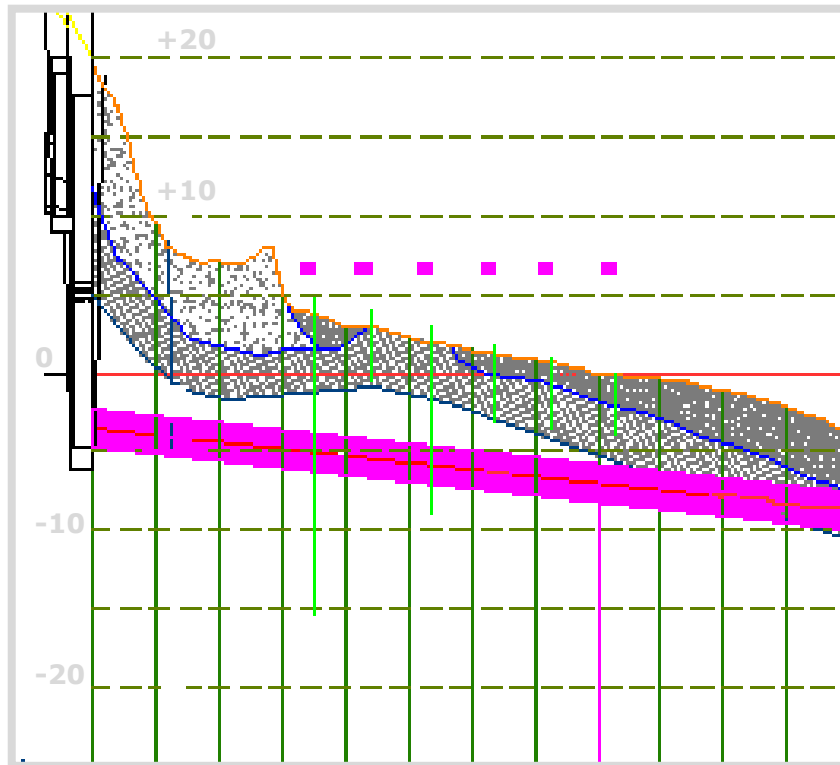


Courtesy: Eloy Pita, INCREA, , epita@increa.eu, www.increa.eu

Perfil longitudinal

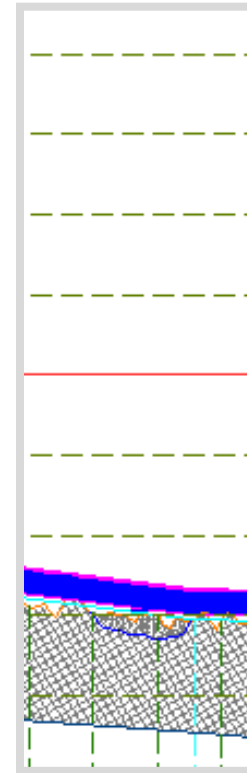
1. Surge chamber

2. Tunnelled outfalls



530 m

3. PE outfall



2.700 m

4. Diffusers



300 m

Vazão final = 5,123 m³/s
Por gravidade somente

1. Camera de descarga seguido por tuneis

- Minimização de impactos no ambiente
- Localização em reserva natural
- Coberto por solo natural



1. Camera de descarga



- **Concreto armado**
- **Dois compartimentos**
- **Duas comportas**

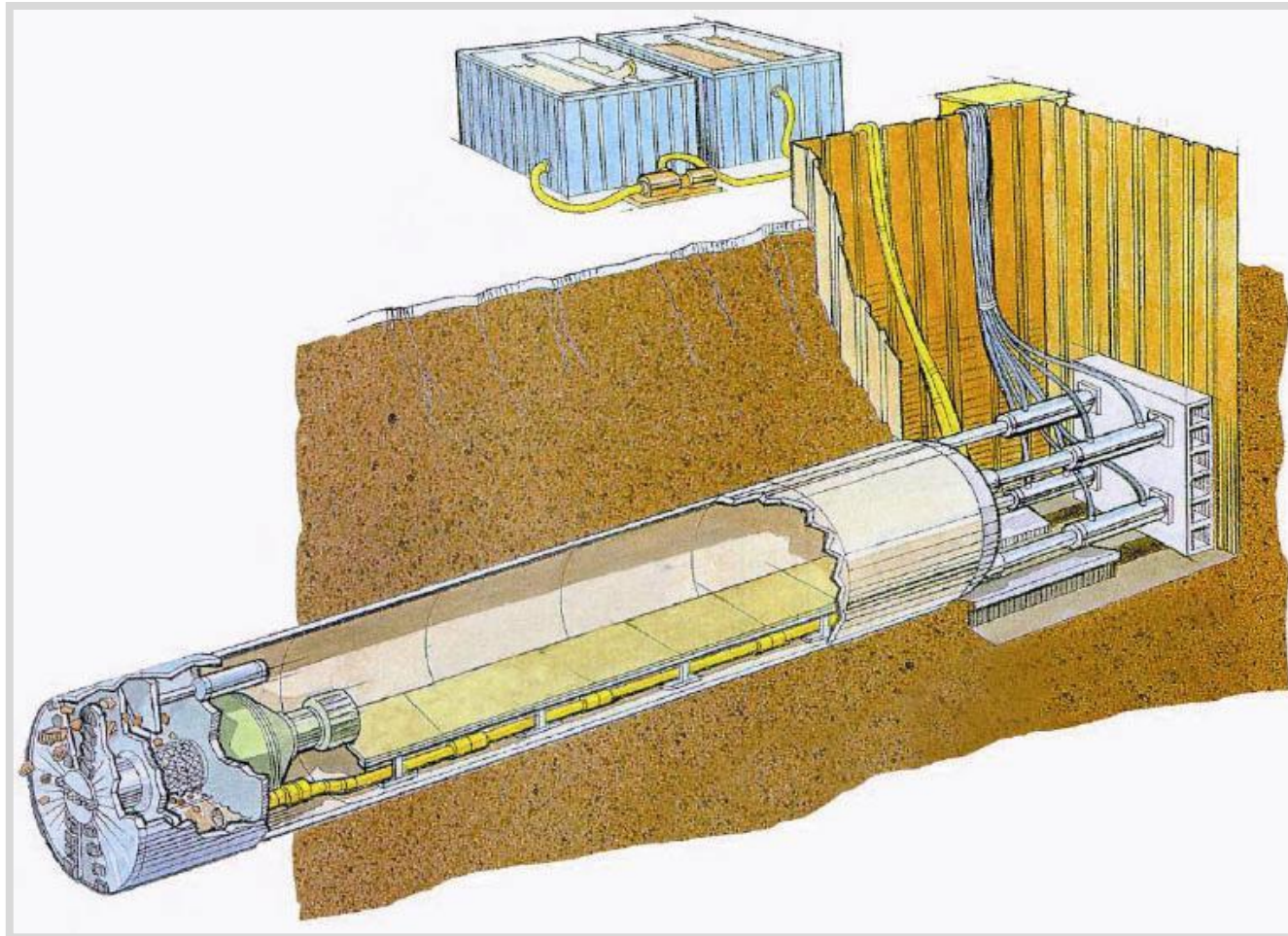
Courtesy: Eloy Pita, INCREA, , epita@increa.eu, www.increa.eu

2. Tuneis

- 2 tuneis (principal e emergencial) em paralelo
- Até profundidade de 10m
- Diametro interno: 2m
- Comprimento: 531 m



2. Tuneis com maquina empurrada pelos tubos



Courtesy: Eloy Pita, INCREA, , epita@increa.eu, www.increa.eu

2. Tuneis com maquina empurrada pelos tubos

- Camera de descarga como contra peso
- Furadeira apoiado nos tubos de concreto
- Final: recuperacao em canal aberto



3. Emissário de PEAD

- **Diametro de 1.600 mm**
- **Comprimento de 2.720 m**
- **Espessura de 61 mm**
- **Blocos de concreto como esos (a cada 6m)**



Fabricação na Suécia



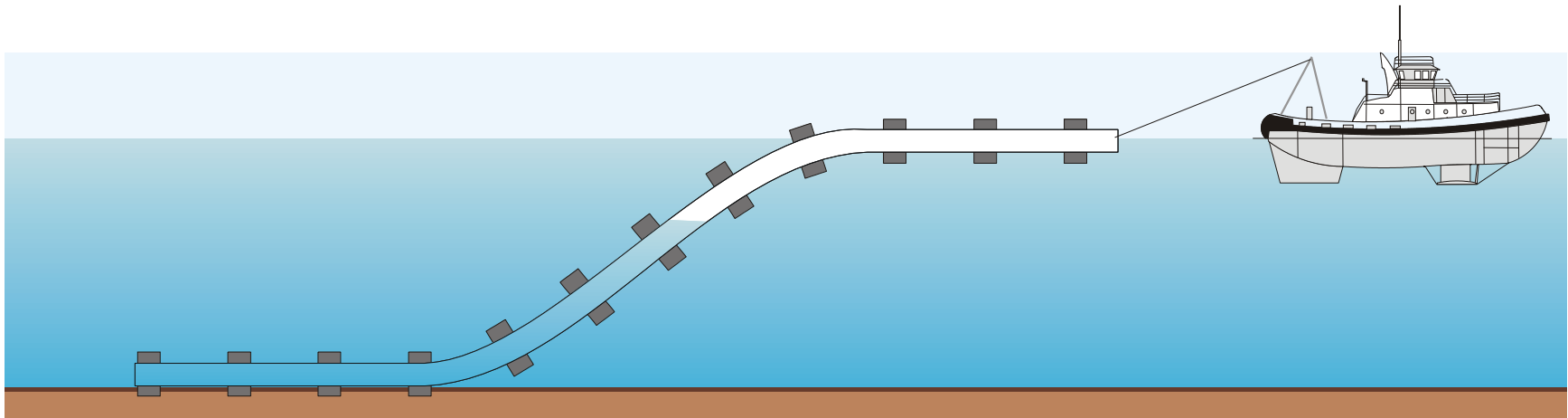
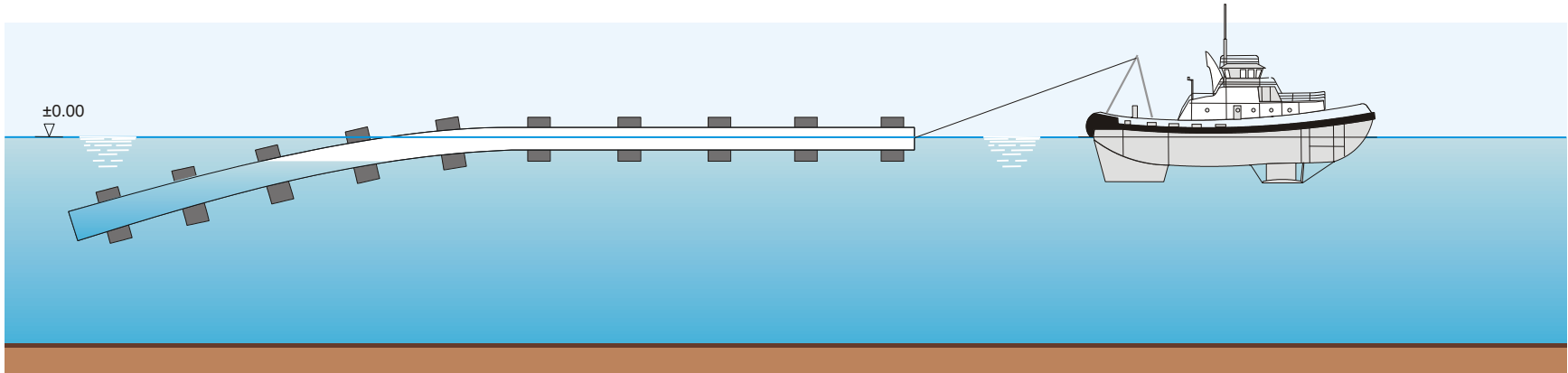
- Trechos 500m
- Transportado e estoquado no porto de Santander
- Colocacao dos pesos no porto

3. Instalação da tubulação PEAD

1. Puxando flutuando na superfície
2. Alinhando e baixando por um lado
3. Juntando os trechos no leito
4. Baixando de maneira controlada



Processo de baixar tubulação

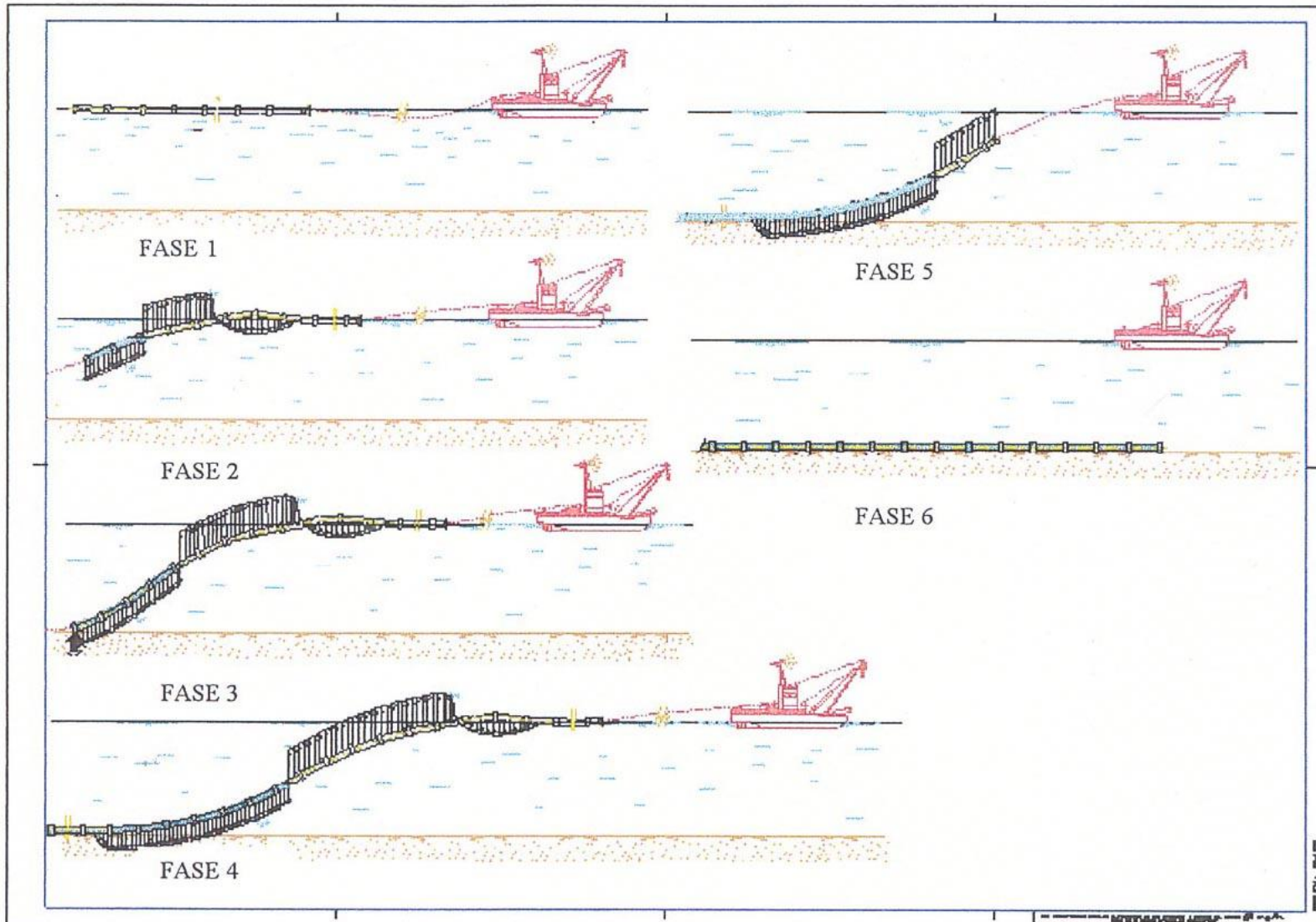


Processo de baixar tubulação

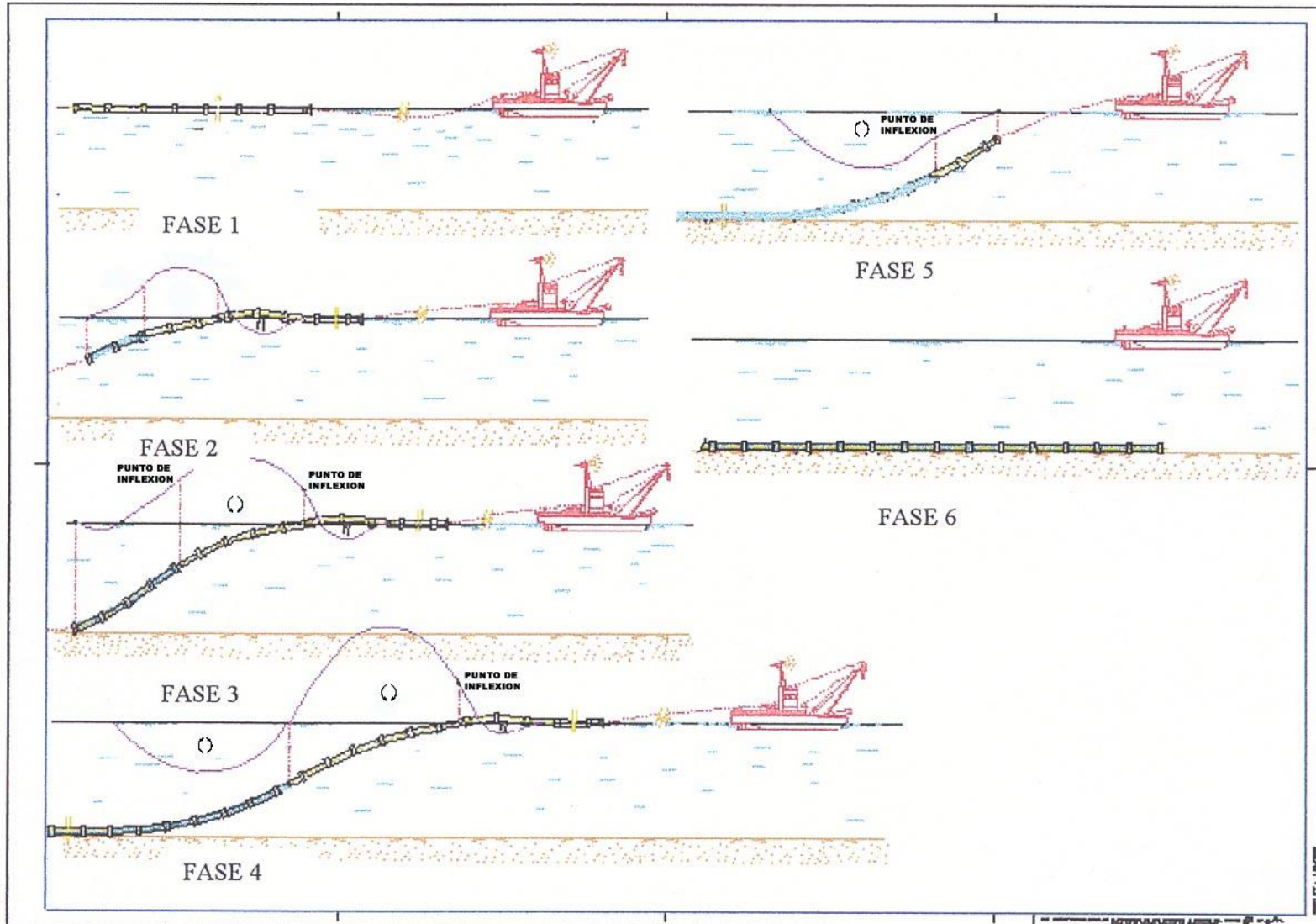


Courtesy: Eloy Pita, INCREA, , epita@increa.eu, www.increa.eu

Forças envolvidas

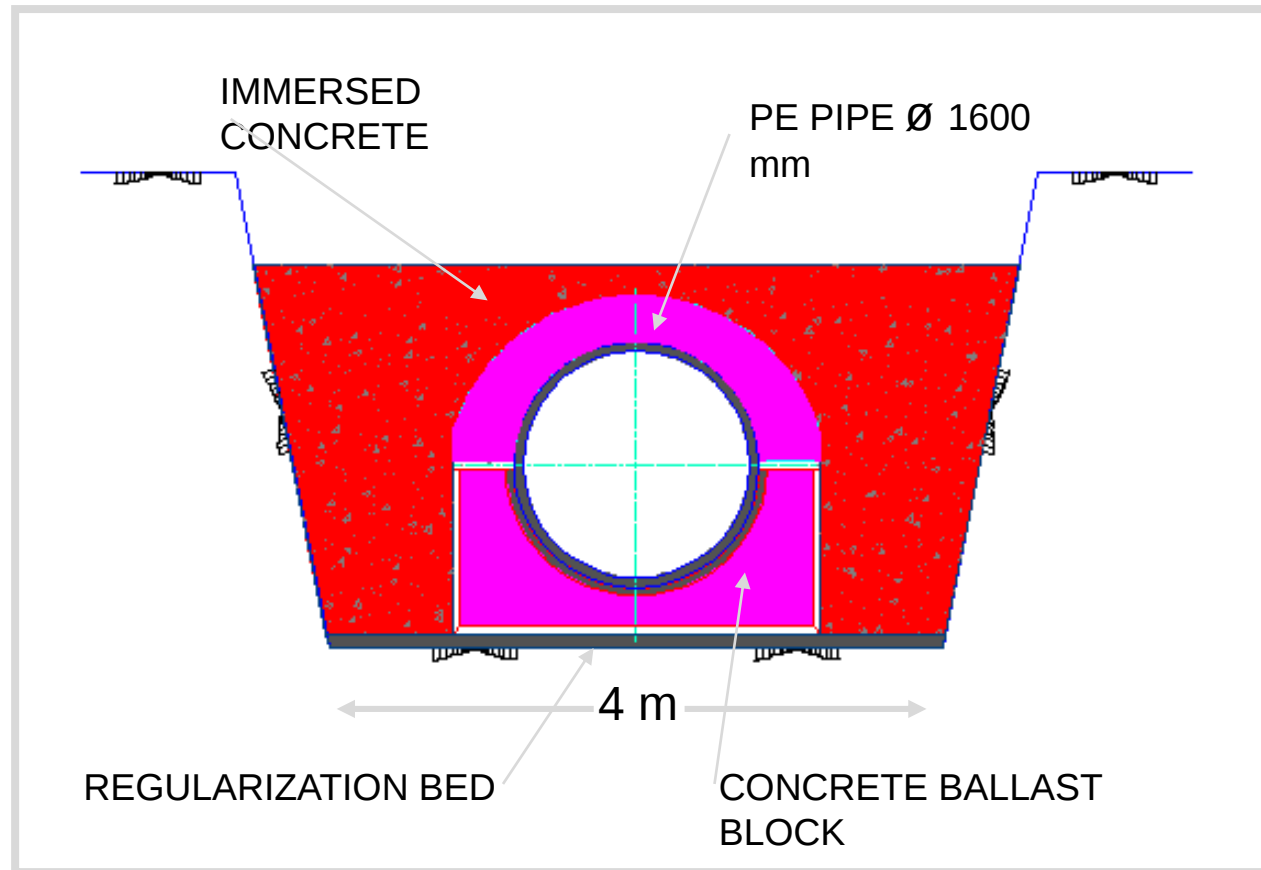


Momentos envolvidas



Courtesy: Eloy Pita, INCREA, , epita@increa.eu, www.increa.eu

Leito rochoso: tubo concretado em trincheira



Courtesy: Eloy Pita, INCREA, , epita@increa.eu, www.increa.eu

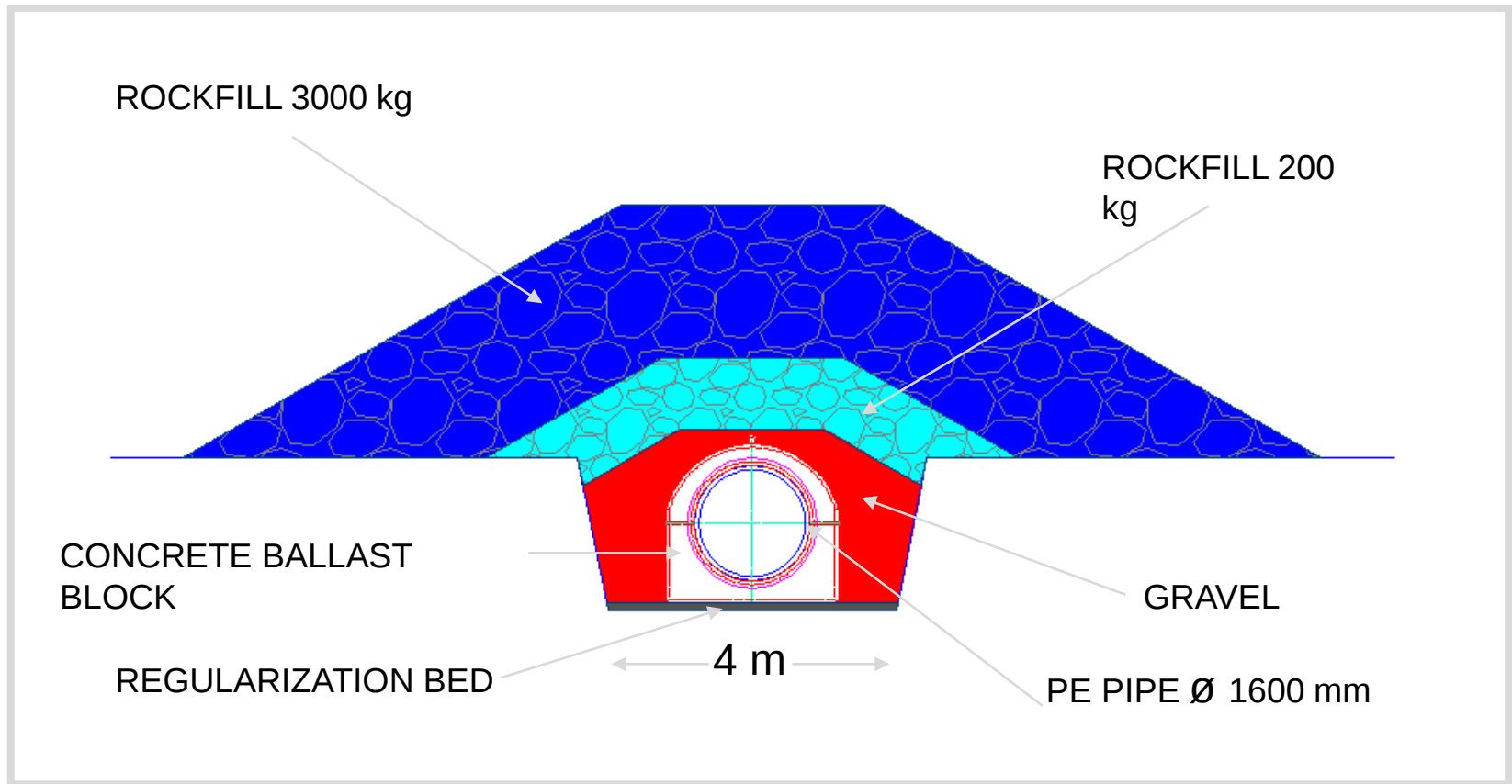
Leito rochoso: tubo concretado em trincheira



Concreting plant on a pontoon

Trecho intermediário:

(rocha – areia): concreto e rocha para proteção



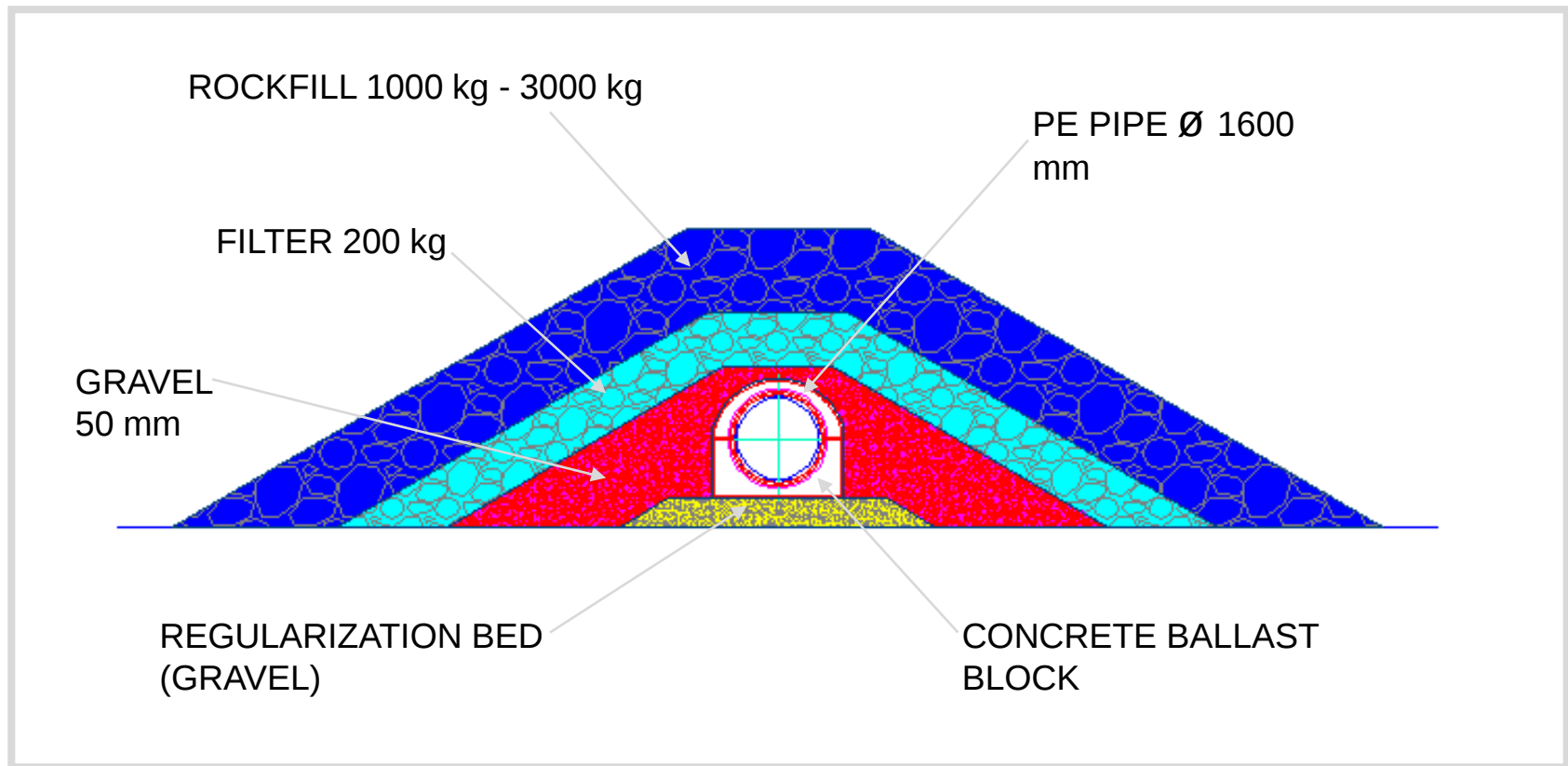
Nivelamento do leito

- Back-hoe on a hopper-barge
- Scuba divers
- Special underwater trench hoe



Courtesy: Eloy Pita, INCREA, , epita@increa.eu, www.increa.eu

Trecho final: tubo com rocha de proteção



Trecho final: tubo com rocha de proteção

Specifically designed stone-dumping
vessel for “sheet” dumping



4. Difusor



- Comprimento: 300m
- Profundidade: 28m
- Valvulas bico de pato

- Proteção de qualidade de água requer combinação de tecnologias
 - Não somente tratamento **ou** emissário mas tratamento **e** emissário!
 - Emissários submersos (e multiorifício) muito mais eficiente que canal na praia (mesmo com tratamento melhor!), especialmente considerando grandes variações de vazão.
 - Tratamento mínimo não é universal, mas depende do local
 - Longo prazo: intensificação reuso, saneamento descentralizado
- Processos e modelos
 - Não existe um modelo para tudo
 - Importante basear em muitos dados medidos
- Necessitamos mais monitoramento pré e pós operacional dos sistemas de saneamento:
 - O entendimento do sistema melhora assim

Referencias

IAHR / IWA Committee on Marine Outfall Systems:

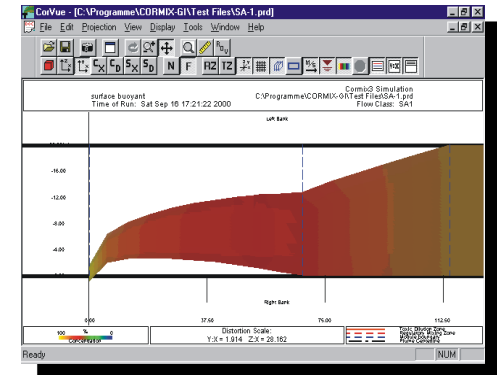
www.outfalls.bleninger.info

Modelos:

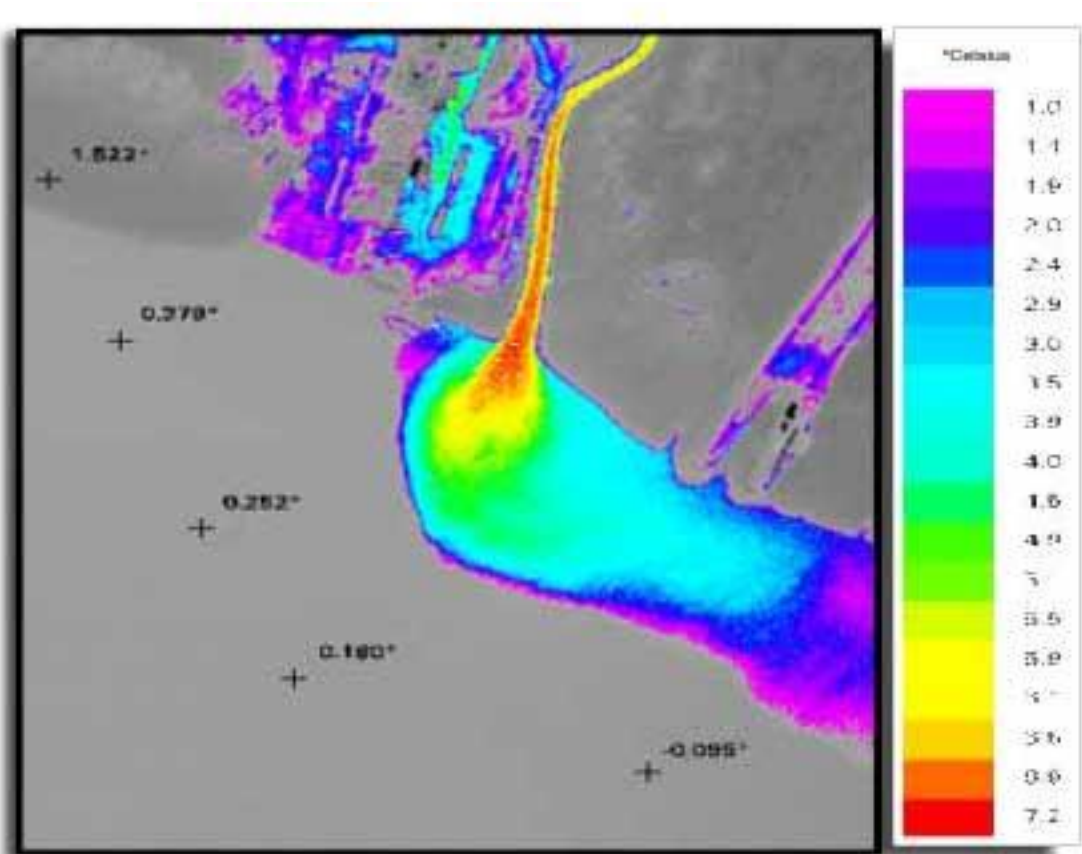
- CORMIX, www.cormix.info
- Delft3D, www.deltares.nl

Contato:

bleninger@ufpr.br
www.tobias.bleninger.info



Monitoramento



- Forward Looking Infrared (FLIR)
 - Muitos efluentes são “quentes”
- Camera detecta energia de calor

Delimitação das plumas mapeadas na Baía de Santos

