

BRUNA CAROLINE VIEIRA DE SOUZA

CAMILLA DO AMARAL OLIVAL

ISADORA GENNARI ENDRIGO

VICTÓRIA ROOS COELHO

ESTUDO DA DISPERSÃO DE EFLUENTES EM ALTERNATIVAS DE  
AMPLIAÇÃO PARA O EMISSÁRIO SUBMARINO DE SANTOS

Projeto de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo, no  
âmbito do Curso de Engenharia Ambiental

São Paulo

2017

BRUNA CAROLINE VIEIRA DE SOUZA

CAMILLA DO AMARAL OLIVAL

ISADORA GENNARI ENDRIGO

VICTÓRIA ROOS COELHO

ESTUDO DA DISPERSÃO DE EFLUENTES EM ALTERNATIVAS DE  
AMPLIAÇÃO PARA O EMISSÁRIO SUBMARINO DE SANTOS

Projeto de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo, no  
âmbito do Curso de Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Renato Carlos Zambon

São Paulo

2017

de Souza, Bruna Caroline Vieira; Olival, Camilla do Amaral; Endrigo, Isadora Gennari; Coelho, Victoria Roos  
ESTUDO DA DISPERSÃO DE EFLUENTES EM ALTERNATIVAS DE AMPLIAÇÃO PARA O EMISSÁRIO SUBMARINO DE SANTOS / Bruna Caroline Vieira de Souza, Camilla do Amaral Olival, Isadora Gennari Endrigo, Victória Roos Coelho – 2017.

86 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, CursoS de Engenharia Ambiental e Civil , São Paulo, 2017.  
Orientação: Prof. Dr. Renato Carlos Zambon.

1. Emissários Submarinos. 2. Dispersão de Poluentes em ambientes marítimos. 3. Delft3D. I. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Nosso primeiro agradecimento é ao Professor Doutor Renato Carlos Zambon, que nos acolheu como orientados nessa etapa tão importante de nossa vida acadêmica. Gostaríamos de agradecer por toda a paciência que teve conosco, pelos ensinamentos passados e pela disponibilidade. Muito obrigada pelos momentos de cobrança, pelas dicas e sugestões, sempre muito pertinentes.

No âmbito acadêmico, também gostaríamos de agradecer ao time do CTH: Professor Doutor José Carlos de Melo Bernardino e engenheiros Lucas Martins Pion e João Paulo Mendes Ferreira. Após o contato inicial com o Delft 3D, o verdadeiro desafio surgiu: garantir que o programa computacional trabalhasse a nosso favor. O time do CTH sempre presente e incrivelmente solícito lutou cada uma destas batalhas conosco. Sem esta orientação, não teríamos chegado ao resultado que queríamos. Obrigada, vocês são exemplos de engenheiros que queremos nos tornar no futuro próximo.

Um agradecimento especial aos professores doutores José Rodolfo Scarati Martins e Jayme Pinto Ortiz, cujas opiniões e correções na primeira etapa deste projeto nos guiaram durante toda a segunda fase e nos deram a certeza de que estávamos no caminho certo.

Agradecemos à doutora Claudia Condé Lamparelli que nos recebeu tão bem na Cetesb para uma reunião bastante elucidativa e esclarecedora. O livro que nos foi apresentado nesta ocasião foi de grande valia.

Por último, gostaríamos de agradecer às nossas famílias, aqueles que estiveram ao nosso lado na jornada cheia de surpresas que nos trouxe até aqui, até o ponto em que de verdade, gostaríamos de estar!

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVO	1
1.1	INTRODUÇÃO	1
1.2	OBJETIVO	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	ESGOTAMENTO SANITÁRIO	4
2.2	SANEAMENTO BÁSICO	5
2.3	TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DE ESGOTOS	6
2.3.1	LEGISLAÇÃO DE APOIO	7
2.3.1.1	LEI Nº 8.617	7
2.3.1.2	RESOLUÇÃO CONAMA 274/00	8
2.3.1.3	RESOLUÇÃO CONAMA 357/05	9
2.3.1.4	RESOLUÇÃO CONAMA 430/11	12
2.4	SANTOS	14
2.4.1	ECONOMIA	14
2.4.2	PORTO DE SANTOS E OS CANAIS	15
2.4.3	POPULAÇÃO E ÁREA	15
2.4.4	SANEAMENTO	17
2.4.5	O PROGRAMA ONDA LIMPA	18
2.4.5.1	Sobre o Programa	18
2.4.5.2	Investimentos e retornos	18
2.5	EMISSIONÁRIOS SUBMARINOS	19
2.5.1	EMISSIONÁRIO SUBMARINO DE SANTOS	25
2.6	RELATÓRIO DE QUALIDADE DAS PRAIAS LITORÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO	27
2.6.1	AVALIAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO	27
2.6.2	AVALIAÇÃO DA BALNEABILIDADE DAS PRAIAS	29
2.6.3	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS CURSOS D'ÁGUA AFLUENTES	31
2.6.4	RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DE SANTOS DE 2016	32
2.7	RELATÓRIO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS COSTEIRAS	33
2.7.1	ÍNDICES E RESULTADOS	35
2.7.1.1	Índice de Qualidade de Águas Costeiras - IQAC	35
2.7.1.2	Índice de estado trófico - IETC	37
2.7.1.3	Indicadores de contaminação fecal	37
3	MÉTODO	38
3.1	FERRAMENTA	38
3.1.1	O SOFTWARE ESCOLHIDO	39
3.1.2	O CAMPO AFASTADO	39
3.1.3	DELFT 3D MÓDULO FLOW	40
3.2	SIMPLIFICAÇÕES E CONDIÇÕES DE CONTORNO	41
3.3	DESCRIÇÃO	42
3.3.1	DEFINIÇÃO DA MALHA	42
4	LEVANTAMENTO DE DADOS	45
4.1	VISITA TÉCNICA À EPC DE SANTOS	45
4.1.1	PENEIRAMENTO E GRADEAMENTO	47
4.1.2	DESARENAÇÃO	48

4.1.3	CLORAÇÃO	52
4.1.4	EMISSÁRIO E LANÇAMENTO	53
4.2	DADOS DA CETESB	53
5	CENÁRIOS	56
6	METODOLOGIA E ANÁLISE	58
6.1	TRATAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
6.1.1	ANÁLISE DA PLUMA	60
6.1.2	ANÁLISE GRÁFICA	66
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

## RESUMO EXECUTIVO

O presente trabalho de conclusão de curso consiste na análise da atual situação do Emissário de Santos e na contribuição para avaliação de alternativas de melhoria, visando atenuar os impactos ambientais decorrentes de suas emissões.

Inicialmente, foi feita uma análise do saneamento no Brasil e no mundo, bem como sua evolução no decorrer dos anos, além de uma breve introdução ao método de tratamento de esgoto e ao processo de decaimento de poluentes em corpos hídricos.

Posteriormente, o desenvolvimento do estudo foi dividido em duas partes. A primeira consiste na análise da bibliografia acerca do assunto, em uma visita técnica à Estação de Pré Condicionamento José Menino, no levantamento de dados para modelagem, baseado na escolha das variáveis mais importantes a serem consideradas e, por fim, na escolha de um software capaz de simular o problema e auxiliar na avaliação de alternativas. O decaimento de poluentes é um tópico de grande importância pois, aliado à modelagem hidráulica, que considera ações de ventos, marés e correntes, formam a base conceitual para a simulação nos softwares de modelagem.

A segunda parte, desenvolvida na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, teve como objetivo a modelagem do problema utilizando o software eleito, que foi o Delft 3D, e a proposição e avaliação de alternativas com base nos resultados obtidos.

**Palavras-chave:** emissário submarino, decaimento de poluentes, Delft 3D, Santos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das águas das praias de Santo.....	3
Figura 2 - Região Metropolitana da Baixada Santista .....	14
Figura 3 - Esquema de sistema de disposições oceânicas .....	20
Figura 4 - Localização dos emissários submarinos da Baixada Santista (1).....	22
Figura 5 - Localização dos emissários submarinos da Baixada Santista (2).....	23
Figura 6 – Santos: Evolução do atendimento à legislação .....	32
Figura 7 - Pontos de monitoramento da rede costeira na Baixada Santista.....	34
Figura 8 - Pontos da Rede Costeira próximos ao Emissário .....	35
Figura 9 - Modelo do processo de difusão de efluentes no campo afastado.....	40
Figura 10 - Malha de Simulação.....	43
Figura 11 - Zoom da área de interesse .....	44
Figura 12 - Pontos de Observação.....	45
Figura 13 – Estação de Tratamento de Santos, canais e emissário .....	46
Figura 14 - Planta da EPC José Menino .....	47
Figura 15- Unidade de peneiras e gradeamento Rebouças .....	48
Figura 16 - Unidade de desarenação da EPC de Santos.....	49
Figura 17 – Representação do sistema completo de desarenação.....	49
Figura 18 - Fundo cilíndrico dos tanques de decantação .....	50
Figura 19 - Mecanismo do tipo parafuso para remoção de areia .....	51
Figura 20 - Tubo coletor e caçamba para armazenamento de areia residual .....	52
Figura 21 – Armazenamento e aplicação de cloro .....	53
Figura 22 – Vista dos pontos de saída do Emissário de Santos .....	57
Figura 23 – Alocação dos pontos de interesse.....	60
Figura 24 - Pluma crítica do cenário 1 .....	61
Figura 25 - Pluma crítica do cenário 2.....	62
Figura 26 - Pluma crítica do cenário 3.....	63
Figura 27 - Pluma crítica do cenário 4.....	64
Figura 28 - Pluma crítica do cenário 5.....	65
Figura 29 - Pluma crítica do cenário 6.....	66
Figura 30 - Espalhamento de COT no ponto 5, com ressaca.....	67
Figura 31 - Espalhamento de COT no ponto 5, sem ressaca.....	68
Figura 32 - Espalhamento de COT no ponto 6, com ressaca.....	69
Figura 33 - Espalhamento de COT no ponto 6, sem ressaca.....	69
Figura 34 - Espalhamento de COT no ponto 7, com ressaca.....	70
Figura 35 - Espalhamento de COT no ponto 7, sem ressaca.....	71
Figura 36 - Espalhamento de COT no ponto 8, com ressaca.....	72
Figura 37 - Espalhamento de COT no ponto 8, sem ressaca.....	72
Figura 38 - Concentração máxima de COT .....	74
Figura 39 - Concentração máxima de Fósforo Total .....	75
Figura 40 - Concentração máxima de N Amoniacal .....	76
Figura 41 - Concentração máxima de Nitrato.....	77
Figura 42 - Espalhamento de E. coli no ponto1, com ressaca .....	78
Figura 43 - Espalhamento de E. coli no ponto 1, sem ressaca .....	78
Figura 44 - Espalhamento de E. coli no ponto 2, com ressaca .....	79
Figura 45 - Espalhamento de E. coli no ponto 2, sem ressaca .....	79
Figura 46 - Espalhamento de E. coli no ponto 3, com ressaca .....	80
Figura 47 - Espalhamento de E. coli no ponto 3, sem ressaca .....	80
Figura 48 - Espalhamento de E. coli no ponto 4, com ressaca .....	81



Figura 49 - Espalhamento de E. coli no ponto 4, sem ressaca .....	81
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Zonas do oceano e suas características .....	8
Tabela 2 - Subcategorias de classificação das águas próprias .....	8
Tabela 3 - Classes de qualidade de águas salinas e suas características .....	10
Tabela 4 - Valores máximos de concentração de parâmetros inorgânicos para águas salinas de classe 1 .....	11
Tabela 5 - Valores máximos de concentração de parâmetros orgânicos para águas salinas de classe 1 .....	12
Tabela 6 – Censo Demográfico 2010 .....	16
Tabela 7 - População flutuante em Santos entre 2000 e 2030 .....	16
Tabela 8 - Vantagens e desvantagens da implantação de emissários submarinos ..	19
Tabela 9 - Característica dos emissários submarinos existentes .....	21
Tabela 10 - Vantagens e desvantagens da implantação de emissários submarinos	24
Tabela 11 - Fatores para cálculo do ICTEM .....	28
Tabela 12 - Saneamento básico em cidades litorâneas do Estado de São Paulo ....	29
Tabela 13 - Tipo de microrganismo e doença associada .....	30
Tabela 14 - Concentração de microrganismos e classificação .....	31
Tabela 15 - Porcentagem de classificações por praia .....	32
Tabela 16 - Coordenadas geográficas .....	34
Tabela 17 - Parâmetros do IQAC .....	36
Tabela 18 - Classificação do IQAC .....	36
Tabela 19 - Classificação IQAC 2016 .....	36
Tabela 20 - Faixas de classificação IETC .....	37
Tabela 21 - Classificação IETC .....	37
Tabela 22 - Categorias para classificação de contaminação fecal .....	38
Tabela 23 - Classificação para contaminação fecal .....	38
Tabela 24 – Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2014 .....	54
Tabela 25 - Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2015 .....	54
Tabela 26 - Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2015 .....	55
Tabela 27 - Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2016 .....	55
Tabela 28 - Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2016 .....	56
Tabela 29 – Especificações dos cenários .....	57
Tabela 30 – Concentrações dos parâmetros de entrada .....	58
Tabela 31 – Pontos de análise .....	59
Tabela 32 - Concentração máxima das variáveis .....	67
Tabela 33 - Valores médio e máximo de COT para ponto 5 .....	68
Tabela 34 - Valores médio e máximo de COT para ponto 6 .....	70
Tabela 35 - Valores médio e máximo de COT para ponto 7 .....	71
Tabela 36 - Valores médio e máximo de COT para ponto 8 .....	73
Tabela 37 – COT comparado com Conama .....	74
Tabela 38 – Fósforo Total comparado com Conama .....	75
Tabela 39 – N-Amônia comparado com Conama .....	76
Tabela 40 – Nitrato comparado com Conama .....	77
Tabela 41 – Pontos de amostragem dentro das subcategorias de classificação das águas próprias .....	82



## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CDS - Companhia Docas de Santos  
Censo - Conjunto de Dados Estatísticos  
Cetesb - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CNUDM - Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar  
Codesp - Companhia Docas do Estado de São Paulo  
Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COT - Carbono Orgânico Total  
CTH - Centro Técnico de Hidráulica  
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
E. COLI - *Escherichia Coli*  
EPC - Estação de Pré Condicionamento  
ETE - Estação de Tratamento de Esgoto  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICTEM - Índice de Coleta e Tratabilidade de Esgotos da População Urbana de Municípios  
IETC - Índice de Estado Trófico Costeiro  
IQAC - Índice de Qualidade de Águas Costeiras  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
NBR - Norma Brasileira  
NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl  
PIB - Produto Interno Bruto  
RMBS - Região Metropolitana da Baixada Santista  
Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo  
UFC – Unidade de Formação de Colônias  
USP - Universidade de São Paulo

## **1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

As cidades costeiras sempre foram de grande importância para o desenvolvimento brasileiro, e com uma balança comercial baseada, predominantemente, em exportação, muitas dessas cidades receberam infraestrutura de qualidade para dar suporte às trocas comerciais. (MDIC, 2017)

Da mesma forma, a cidade de Santos, fundada por volta de 1546, localizada no litoral sul do Estado de São Paulo, tornou-se de grande importância para o país e hoje é uma das grandes portas de entradas e saídas de produtos e produção brasileiros. Segundo o censo do IBGE de 2010, Santos é a 17ª economia do país, movida por atividades portuárias, turísticas, pesqueiras e comerciais. O grande destaque da região vai para o Porto de Santos, que foi inaugurado em fevereiro de 1892, e hoje é o maior porto da América Latina, com capacidade de movimentar mais de 114 milhões de toneladas. (Porto de Santos, 2017)

O adensamento populacional foi, portanto, uma consequência do processo de desenvolvimento da região, e tornou necessário maior controle dos efeitos adversos gerados pelos impactos ambientais provenientes da interação entre sociedade e meio ambiente.

O aspecto demográfico nas cidades litorâneas tem grande influência na qualidade das águas das praias. O estudo da população deve considerar tanto a população fixa como a população flutuante, que é a devida ao afluxo de turistas, que ocorre principalmente no verão, considerado um período de “alta temporada”.

A balneabilidade das praias é um fator determinante na atratividade do local e está diretamente relacionada às condições sanitárias do município. Ao mesmo tempo em que a qualidade das águas influencia a atratividade turística, a sazonalidade também afeta a qualidade e balneabilidade (Cetesb, 2016a).

A proximidade com o oceano faz com que as principais atividades se concentrem em torno das águas litorâneas como fonte de alimentação, recreação, transporte de mercadorias e pessoas, além destas serem o corpo receptor para efluentes domésticos e industriais. Apesar da capacidade de depuração natural dos corpos d'água, o lançamento de efluentes no meio aquático pode acarretar diversos prejuízos ambientais se o estudo do tratamento e do lançamento das águas

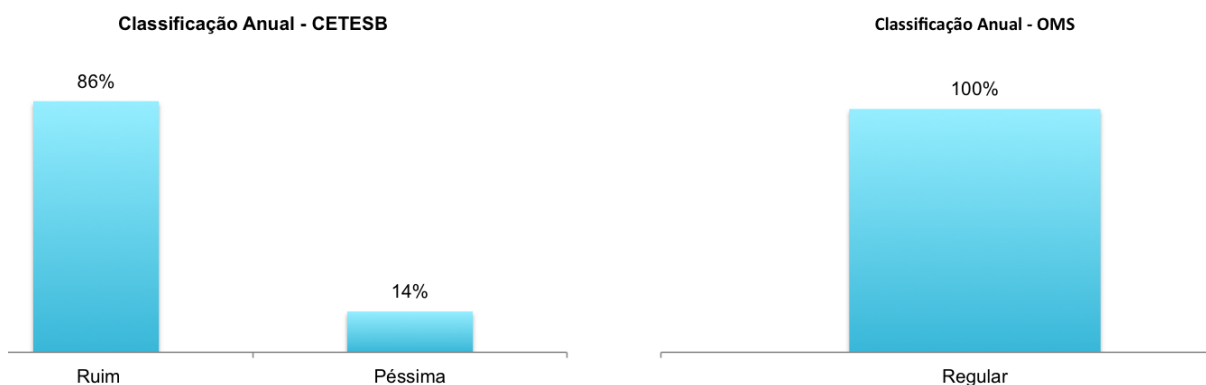
residuais for negligenciado. Para dimensionar adequadamente os sistemas de tratamento de efluentes, deve-se considerar tanto o volume de esgoto a ser tratado como sua composição e as características do corpo receptor.

Há dois tipos principais de destinação do esgoto sanitário coletado no litoral de São Paulo: ETEs (estações de tratamento de esgoto), onde o efluente é tratado e lançado em corpos d'água na região; e as EPCs (estações de pré condicionamento), cujo efluente é lançado no mar por meio de um emissário submarino (Cetesb, 2016a). O município de Santos possui em sua infraestrutura a EPC José Menino e o emissário de Santos, por onde os efluentes da região de Santos e São Vicente são lançados.

A qualidade de vida no município de Santos e o aumento da população trazem novas preocupações para o cenário ambiental da região. O aumento da geração de esgoto, aliado às mudanças climáticas, que modificam o transporte de poluentes nos oceanos, transformaram as condições de qualidade de água da praia em um foco de atenção em torno dos efeitos que o lançamento de efluentes no mar podem causar para a população e para a vida marinha local.

O Relatório das Praias da Cetesb de 2016 apresenta o resultado do monitoramento de seis praias de Santos (Ponta da Praia, Aparecida, Embaré, Boqueirão, Gonzaga e José Menino) feito em sete pontos dessas praias, sendo dois deles na Praia de José Menino, e classifica a qualidade das águas das praias, comparando com o ano anterior. A Figura 1 mostra a classificação anual da qualidade das águas. À esquerda está representada a classificação de acordo com a CETESB, considerando as qualidades “Ótima”, “Boa”, “Regular”, “Ruim” e “Péssima”. No ano anterior, todas as seis praias monitoradas apresentaram como qualificação anual a indicação de “péssima”. Em 2016, cinco das praias apresentaram pequena melhora e passaram a ser classificadas como “ruim”, sendo a Ponta da Praia a única que manteve a classificação anterior.

À direita, ainda na Figura 1, é apresentado um gráfico que qualifica a qualidade das águas de acordo com critérios da OMS. A diferença na análise consiste na associação entre a concentração de enterococos e o risco de contração de doenças, pela OMS. De acordo com essa outra classificação, as praias estão classificadas como “Regular”, considerando as classificações “Muito boa”, “Boa”, “Regular” ou “Ruim”

**Figura 1 - Classificação das águas das praias de Santo**

Fonte: adaptado de CETESB (2016, p.71)

## 1.2 OBJETIVO

Diante da preocupação ambiental com o futuro do ecossistema marinho e das populações que dele dependem, o presente estudo visa avaliar alternativas de atenuação dos efeitos do despejo do efluente de Santos e São Vicente na qualidade das águas da praia. A engenharia ambiental tem como uma de suas funções o planejamento considerando o desenvolvimento sustentável e daí vem a preocupação em estudar o cenário atual na região de Santos, e buscar diretrizes de planejamento de atividades futuras no local.

A melhora da qualidade das águas das praias pode ser alcançada de duas principais maneiras. Uma delas é com o aperfeiçoamento do tratamento dos efluentes antes de seu lançamento, e outra é com o afastamento mais adequado.

Melhorias no tratamento poderiam ser feitas com a implementação de tratamentos primário e secundário convencionais, e atuariam na correção da qualidade dos efluentes de modo a reduzir a necessidade de afastá-los. A alteração do comprimento da tubulação diminuiria sua aproximação da costa e suas consequências na balneabilidade das praias do litoral santista.

Apesar de a primeira opção ser mais assertiva, ela apresenta mais restrições tanto técnicas como econômicas. Os custos de tratamento de esgoto são muito elevados, e algumas tecnologias ocupam uma área que a EPC não comportaria. Para a situação de mar aberto, a solução do emissário submarino combinado ao pré-condicionamento é vantajosa em relação às soluções que utilizam tratamento

secundário com descarga mais próxima ao litoral, quando o emissário proporciona uma diluição eficiente do esgoto (Cetesb, 2007).

Como forma de contribuição na avaliação das vantagens e desvantagens de cada opção, foi escolhido como objetivo deste estudo a análise da qualidade das águas da praia para diferentes comprimentos do Emissário de Santos.

O desenvolvimento contará com o auxílio do software Delft 3D, com o qual é possível simular a dispersão de poluentes nos diferentes cenários. Deste modo, serão testadas novas possibilidades para que eventuais melhorias possam ser feitas para horizontes de projetos mais distantes, quando se estima que a situação ambiental esteja crítica.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

O volume de esgoto produzido mundialmente é crescente, e isto se deve a dois fatores principais. O primeiro deles é o crescimento da população, e o segundo são as mudanças das tecnologias de produção e dos hábitos de consumo, acarretada pelo desenvolvimento industrial e tecnológico. Ambos os fenômenos costumam concentrar-se em centros urbanos. No último Censo do IBGE, publicado em 2010, estima-se que a população brasileira no referido ano era de cerca de 190 milhões de pessoas, e estima-se que em 2030 este número será de, aproximadamente, 223 milhões (IBGE, 2017). Como consequência, tem-se o aumento do uso de água, que resulta no crescimento da produção de esgoto.

Um sistema de esgoto consiste, sucintamente, em um conjunto estrutural que compreenda canalizações coletoras, unidades de tratamento, transporte e de lançamento final, além de outros órgãos acessórios indispensáveis para o funcionamento do sistema, como estações elevatórias e poços de visita, por exemplo (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

Os esgotos gerados pelas populações urbanas podem ser de três tipos: esgoto doméstico, esgoto pluvial e esgoto industrial. No Brasil, há predominância do sistema separador, no qual há segmentação das águas pluviais e do esgoto sanitário, diferente do sistema unitário, em que a coleta dos três tipos de esgoto é processada em um único coletor (JORDÃO E PESSÔA, 2014). Na cidade de Santos, as águas das chuvas que escoam pelos sete canais existentes são controladas pela



Sabesp e pela prefeitura, e em situações sem estresse hídrico toda a água dos canais vai para a estação de pré-condicionamento juntamente com o esgoto produzido pela população (Cetesb, 2016a).

No que se refere à composição do esgoto, eles são constituídos de 0,1% de matéria sólida, uma porcentagem numericamente baixa, mas que representa grande significância para os impactos ambientais gerados em seu lançamento.

O volume de esgoto gerado por uma determinada população depende dos hábitos, horários e distribuição demográfica da mesma, o que torna de grande importância o cálculo adequado de projeção da população para a realização de qualquer projeto sanitário. As origens de esgoto são as contribuições domésticas, as vazões concentradas, que podem vir de indústrias ou outros locais de grande consumo, e as vazões de infiltração.

## **2.2 SANEAMENTO BÁSICO**

O saneamento básico é um direito garantido pela Lei nº.11.445/2007 e está previsto na Constituição Brasileira. Ele compreende a infraestrutura, as instalações e os serviços necessários à garantia dos direitos da população. Tais serviços devem ser universalizados e em quantidades suficientes às necessidades de todos.

Por definição, saneamento básico é um “conjunto de serviços, infraestruturas, e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas”. (Brasil, 2007).

Não há país desenvolvido sem saneamento básico e um dos fatores essenciais à redução da mortalidade infantil, que é um índice de desenvolvimento do país, é a garantia do acesso à água tratada e potável.

O acesso ao saneamento é, portanto, uma questão de saúde pública e a sua oferta tem resultados diretos na redução de enfermidades. A ingestão de água contaminada por agentes biológicos causa uma série de doenças, bem como o contato acidental com efluentes de esgotos industriais que não são tratados de maneira correta.

A coleta de esgoto está disponível a 50,3% da população, e assim, como o acesso à água tratada, existem muitas disparidades entre regiões. Mais de 100

milhões de brasileiros não têm acesso à uma coleta de esgoto adequada. Deixando a coleta e partindo para o tratamento do esgoto, os números são ainda mais baixos, apenas 43% do esgoto coletado é tratado antes de ser despejado (SNIS, 2015).

No Brasil, os serviços de saneamento são cedidos pelas prefeituras por concessão, as concessionárias são as responsáveis por tudo que envolve a prestação deste serviço. O acordo entre a prefeitura e concessionária é chamado de convênio. No Estado de São Paulo estes serviços são prestados em grande parte pela Sabesp, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Na região de Santos e São Vicente, que é objeto deste trabalho, é ela quem opera as atividades de esgotamento sanitário (SANEAMENTO BRASIL, 2016).

Um dos instrumentos utilizados para a implantação do saneamento é o Plano Municipal de Saneamento, que está previsto na Lei nº.11.445/2007 e é desenvolvido pelas prefeituras. Este plano determina os diversos princípios envolvidos na prestação do serviço, como obrigações da concessionária, condições para delegação do serviço, regras para relações entre a concessionária e os titulares e condições para retomada dos serviços.

O governo federal, por sua vez, é o responsável por garantir os recursos que serão investidos em saneamento básico e instituir políticas nacionais. O Ministério das Cidades auxilia o governo federal apoiando os municípios com mais de 50 mil habitantes e o Ministério da Saúde é responsável por definir qual deverá ser o padrão de qualidade da água para consumo e apoia municípios com menos de 50 mil habitantes (Ministério do Planejamento, 2014).

No município de Santos o sistema de saneamento compreende a rede coletora de esgoto que recai em dois interceptores, o Interceptor Rebouças e o Interceptor Oceânico, a Estação de Pré Condicionamento José Menino, onde ocorre o tratamento preliminar do esgoto, e o emissário por onde o esgoto pré tratado é lançado no mar. Por ser uma cidade predominantemente plana, o sistema conta também com estações elevatórias para o transporte até a EPC.

### **2.3 TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DE ESGOTOS**

Tratamento de esgotos sanitários é o modo como a sociedade ameniza os impactos ao meio ambiente e à saúde humana potencialmente causados por esta

água residuária, que é a mais produzida no mundo. O processo consiste, basicamente, na remoção de poluentes do esgoto.

O método a ser utilizado depende das características físicas, químicas e biológicas do efluente, e, além disso, o tratamento deve ser adequado de modo a atender às exigências legais, sejam essas locais ou federais. Assim, a decisão acerca do que remover e da eficiência com que isso se dará estarão relacionados com padrões de qualidade e padrões de emissão no corpo receptor.

A norma brasileira, ABNT NBR 12209, fornece condições recomendadas para a elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários (ETEs) aplicadas para os seguintes processos de tratamento: separação de sólidos por meios físicos; processos físico-químicos; processos biológicos; tratamento de lodo; desinfecção de efluentes tratados, e tratamento de odores.

Para a concepção das estações de tratamento, há diversas possibilidades de combinações de unidades. É recomendado que primeiro haja o tratamento preliminar, composto pela remoção de sólidos grosseiros, com auxílio de gradeamento; pela remoção de areia, por meio de caixas de areia; e pela remoção de gordura, com as caixas de gordura. Em seguida o tratamento primário remove sólidos sedimentáveis com um decantador primário. O tratamento secundário remove a matéria orgânica em reatores ou lagoas. A partir deste, o tratamento terciário remove nutrientes, compostos orgânicos complexos e aplica a desinfecção, por meio de unidades específicas. Por fim, há o manejo do lodo com seu tratamento e disposição final, passando pelos processos de adensamento, digestão e secagem. As combinações de unidades não seguem necessariamente tal ordenamento e o tratamento pode não conter todas as etapas. No caso específico de Santos, o tratamento é o pré-condicionamento e é descrito no item sobre levantamento de dados deste projeto.

### **2.3.1 LEGISLAÇÃO DE APOIO**

#### **2.3.1.1 LEI N° 8.617**

A Lei nº8.617/1993 define as características de mar territorial, zona contígua, zona econômica exclusiva e plataforma continental, conforme apresentado na tabela 1. Dessa forma, pode-se definir como mar aberto a zona que vai além da área definida como jurisdição nacional.

**Tabela 1 - Zonas do oceano e suas características**

ZONA	Extensão	Características legais
Mar territorial	Até 12 milhas náuticas a partir da costa ou linhas de base de cada país	É considerada parte do território do país costeiro que tem soberania sobre esse espaço.
Zona Contígua	12 milhas adicionais a partir do Mar Territorial	O país tem direito de controlar imigração, alfândega e poluição.
Zona Econômica Exclusiva	Estende-se até 200 milhas náuticas a partir da costa	Direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais das águas sobrejacentes ao leito do mar, do leito do mar ao seu subsolo.
Plataforma Continental	Compreende o leito e o subsolo das áreas submarinas até a borda da margem continental. No mínimo 200 milhas náuticas até 350 milhas náuticas da costa	O país tem direito sobre os recursos minerais dessa plataforma inclusive petróleo
Mar aberto	Zona marítima que se estende além das áreas de jurisdição nacional	Uso comum

Fonte: Brasil, 1993

As áreas de influência direta do despejo de esgoto estão contidas no mar territorial, portanto a regulação e controle deste tipo de poluição cabe ao Brasil.

### 2.3.1.2 RESOLUÇÃO CONAMA 274/00

A Resolução Conama 274/00 estabelece padrões para que as águas salinas destinadas à balneabilidade possam ser classificadas como próprias ou impróprias.

As águas próprias podem se enquadrar em três subcategorias, descritas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Subcategorias de classificação das águas próprias**

Classificação das águas próprias	
Excelente	Em pelo menos 80% de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver no máximo 250 coliformes fecais ou 200 <i>Escherichia coli</i> ou 25 enterococos para cada 100 ml de amostra
Muito boa	Em pelo menos 80% de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver no máximo 500 coliformes fecais ou 400 <i>Escherichia coli</i> ou 50 enterococos para cada 100 ml de amostra
Satisfatória	Em pelo menos 80% de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das 5 semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver no máximo 1000 coliformes fecais ou 800 <i>Escherichia coli</i> ou 100 enterococos para cada 100 ml de amostra

Fonte: Adaptado de Conama (2000)

Segundo a Resolução Conama 274/00, as águas são consideradas impróprias quando:

- a. Os critérios para águas próprias não forem atendidos;
- b. Autoridades sanitárias indicarem incidência de enfermidades transmissíveis por via hídrica;
- c. Houver resíduos ou despejos de esgoto sanitário, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar a recreação desagradável;
- d. Seu pH estiver inferior a 6,0;
- e. Houver floração de algas ou outros organismos, sem que haja comprovação de que não oferecem risco à saúde humana;
- f. Outros fatores que impliquem a contraindicação da recreação de contato primário, temporária ou permanentemente.

### **2.3.1.3 RESOLUÇÃO CONAMA 357/05**

A resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005, “ dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”. Uma vez que as decisões acerca do tratamento devem ser tomadas com base na legislação vigente, a resolução em questão, dispõe, no capítulo III, sobre as condições e padrões de qualidade das águas para as diferentes classificações, que são: águas doces de classes 1, 2, 3 e especial; águas salinas de classes 1, 2, 3 e especial; e águas salobras de classes 1, 2, 3 e especial. Para fins deste projeto as águas salinas serão de maior importância. As águas salinas brasileiras são classificadas como de classe 1, uma vez que ainda não foi realizado o enquadramento dessas águas (Cetesb, 2016b).

As características gerais e específicas para águas salinas são descritas na Tabela 3.

**Tabela 3 - Classes de qualidade de águas salinas e suas características**

Classe	Características gerais	Características para águas salinas
Classe Especial	É a mais restritiva. Mantém as condições e o equilíbrio naturais.	Águas destinadas à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
Classe 1	Para esta classe, não é verificado efeito tóxico crônico a organismos.	Águas destinadas à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas, à aquicultura e à atividade de pesca.
Classe 2	Para esta classe, não é verificado efeito tóxico agudo a organismos.	Águas destinadas à pesca amadora e à recreação de contato secundário.
Classe 3	É a menos restritiva e requer poucos padrões.	Águas destinadas à navegação e à harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado de Conama (2005).

Na mesma resolução, são estabelecidos limites de substâncias orgânicas e inorgânicas para cada uma das classes.

A Tabela 4 apresenta os valores máximos de parâmetros inorgânicos para a Classe 1, e a Tabela 5, de parâmetros orgânicos.

**Tabela 4 - Valores máximos de concentração de parâmetros inorgânicos para águas salinas de classe 1**

<b>CLASSE 1 - ÁGUAS SALINAS</b>	
<b>Parâmetros inorgânicos</b>	<b>Valores máximos</b>
Alumínio dissolvido	1,5 mg/L Al
Arsênio total	0,01 mg/L As
Bário total	1 mg/L Ba
Berílio total	5,3 µg/L Be
Boro total	5 mg/L B
Cádmio total	0,005 mg/L Cd
Chumbo total	0,01 mg/L Pb
Cianeto livre	0,001 mg/L CN
Cloro residual total	0,01 mg/L Cl
Cobre dissolvido	0,005 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe
Fluoreto total	1,4 mg/L F
Fósforo Total	0,062 mg/L P
Manganês total	0,1 mg/L Mn
Mercurio total	0,0002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	0,4 mg/L N
Nitrito	0,07 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	0,4 mg/L N
Polifosfatos	0,031 mg/L P
Prata total	0,005 mg/L Ag
Selênio total	0,01 mg/L Se
Sulfetos	0,002 mg/L S
Tálio total	0,1 mg/L Tl
Urânio Total	0,5 mg/L U
Zinco total	0,09 mg/L Zn

Fonte: Adaptado de Conama (2005)

**Tabela 5 - Valores máximos de concentração de parâmetros orgânicos para águas salinas de classe 1**

<b>CLASSE 1 - ÁGUAS SALINAS</b>	
<b>Parâmetros orgânicos</b>	<b>Valores máximos</b>
Aldrin + Dieldrin	0,0019 µg/L
Benzeno	700 µg/L
Carbaril	0,32 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,004 µg/L
2,4-D	30 µg/L
DDT(p,p'-DDT+p,p'-DDE+p,p'-DDD)	0,001 µg/L
Demeton(Demeton-O+Demeton-S)	0,1 µg/L
Dodecacloro pentaciclododecano	0,001 µg/L
Endossulfan	0,01 µg/L
Endrin	0,004 µg/L
Etilbenzeno	25 µg/L
Fenóis	60 µg/L
Gutien	0,01 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,001 µg/L
Lindano	0,004 µg/L
Malation	0,1 µg/L
Metoxicloro	0,03 µg/L
Monoclorobenzeno	25 µg/L
Pentaclorofenol	7,9 µg/L
PCBs - Bifenilas Policloradas	0,03 µg/L
2,4,5-T	10 µg/L
Tolueno	215 µg/L
Toxafeno	0,0002 µg/L
2,4,5-TP	10 µg/L
Tributilestanho	0,01 µg/L
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	80 µg/L

Fonte: Adaptado de Conama (2005)

#### **2.3.1.4 RESOLUÇÃO CONAMA 430/11**

No que se refere ao lançamento de efluentes em corpos d'água receptores, a resolução Conama n° 430 “dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357”. Ou seja, pode-se estabelecer padrões e diretrizes para o tratamento de esgotos para que estes sejam lançados no meio ambiente de forma adequada. O parágrafo único do Art. 1° aponta que “O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas,



disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário”.

A seção III, discorre sobre as condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários. No Art. 22 determina-se que “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”. “Este lançamento deve ser precedido de tratamento que garanta o atendimento das seguintes condições e padrões específicos, sem prejuízo de outras exigências cabíveis:

I - pH entre 5 e 9;

II - Temperatura inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

III - Após desarenação;

IV - Sólidos grosseiros e materiais flutuantes: virtualmente ausentes; e

V - Sólidos em suspensão total: eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação. ”

Alguns parâmetros utilizados para avaliar a qualidade de um esgoto sanitário e sua adequação para disposição final em corpos hídricos são a presença e concentração de:

a. matérias orgânicas solúveis, que leva à diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na água e causa odor;

b. matérias tóxicas e de íons de metais pesados, que podem levar à intoxicação de seres vivos, e de sua transferência ao longo da cadeia alimentar;

c. fósforo e nitrogênio, elementos nutritivos que levam à eutrofização do meio;

d. materiais refratários, que levam à formação de espumas;

e. materiais oleosos, que prejudicam a degradação biológica e são esteticamente desagradáveis;

f. ácidos e álcalis, que também interferem nas atividades biológicas;

g. matérias em suspensão, que podem obstruir os canais de esgoto;

A temperatura do efluente também deve ser adequada para evitar um quadro de poluição térmica, que altera a concentração de oxigênio dissolvido e desequilibra as reações físico-químicas e biológicas.

## 2.4 SANTOS

A Figura 2 ilustra os municípios integrantes da Região Metropolitana da Baixada Santista.

**Figura 2 - Região Metropolitana da Baixada Santista**



Fonte: Programa Onda Limpa, Governo do Estado de SP (2014)

### 2.4.1 ECONOMIA

Santos, o município portuário que é a sede da Região Metropolitana da Baixada Santista, localizado no Estado de São Paulo, abriga o maior porto da América Latina. A presença do porto é um fator preponderante para colocar a cidade dentre as cinco não capitais mais influentes para a economia do país. Apesar de hoje ser reconhecida pela importância de seu porto, a cidade já impactou a economia devido a outras atividades, como a comercialização do café. (MEMÓRIA DE SANTOS, 2017)

Atualmente, Santos detém o maior PIB da Região Metropolitana da Baixada Santista, e o quinto maior PIB do Estado de São Paulo. Entre as atividades que atualmente impactam neste indicador estão as atividades do Complexo Portuário, o turismo e serviços. (IBGE, 2017)

### **2.4.2 PORTO DE SANTOS E OS CANAIS**

O Porto de Santos foi inaugurado em fevereiro de 1892 e finalizado pela Companhia Docas de Santos (CDS). Desde sua inauguração, o porto não parou de expandir, atravessando todos os ciclos de crescimento econômico do país, aparecimento e desaparecimento de tipos de carga, até chegar ao período atual de amplo uso dos contêineres. Açúcar, café, laranja, algodão, adubo, carvão, trigo, sucos cítricos, soja, veículos, grãos líquidos diversos, em milhões de quilos, têm feito o cotidiano do porto, que já movimentou mais de 1.000.000.000 de toneladas de cargas diversas até hoje.

Em 1980, o Governo Federal criou a Codesp (Companhia Docas do Estado de São Paulo) que é uma companhia mista, de capital majoritário da União, pois havia terminado o período legal de concessão da exploração do porto pela Companhia Docas de Santos. No ano de 2013, o Porto de Santos superou 114 milhões de toneladas movimentadas, adiantando a projeção base de 112,6 milhões de toneladas, que era prevista apenas para 2014. (PORTO DE SANTOS, 2017)

Os Canais de Santos, marcos da cidade, possuem mais de 100 anos de idade e têm a finalidade de drenar os terrenos alagadiços da planície santista e conduzir as águas pluviais ao mar, uma vez que essas águas eram focos constantes de doenças nos verões quentes da cidade. Trata-se de uma combinação de planejamento urbano (arruamento das zonas atravessadas pelos canais) e separação entre redes de águas pluviais e rede de esgotos. São numerados de maneira sequencial, servindo como pontos de referência para localizações. (FARIA, 2015)

### **2.4.3 POPULAÇÃO E ÁREA**

Segundo o Censo de 2010, a Baixada Santista tinha 1.765.277 habitantes, sendo Santos a cidade mais populosa. Na cidade de Santos foram registrados 419.400 habitantes e uma densidade demográfica de 1.494 habitantes por quilômetro quadrado. Em 2016 foram estimados e publicados no Censo 434.359 habitantes no município. Possui uma área territorial de 281 quilômetros quadrados. Do total da população 95% apresenta coleta e tratamento adequados (IBGE, 2017).

Além dos dados fornecidos, existe uma característica típica de cidades litorâneas com potencial de atração turística: o movimento da população flutuante. População flutuante se refere ao conjunto de indivíduos presentes em um lugar em certa data, por um período de curta duração, por motivos recreativos, de turismo, visita a familiares ou de negócios. Sabendo que o IBGE não faz estudos sobre a população de temporada, é preciso fazer a comparação entre duas tabelas. A primeira é do Censo Demográfico de 2010. (IBGE, 2010)

**Tabela 6 – Censo Demográfico 2010**

<b>Município</b>	<b>Área (km²)</b>	<b>%</b>	<b>População (hab)</b>	<b>%</b>	<b>Densidade Demográfica</b>
<b>Santos Ilha</b>	40,76	14,5	416.233	99,24	10211,8
<b>Santos Continente</b>	239,29	85,14	3.167	0,76	13,23
<b>Santos Total</b>	281,056	11,68	419.400	25,2	1492,23

Fonte: IBGE, 2010

A segunda refere-se à dinâmica da população flutuante entre os anos de 2000 e 2030. (Agência Metropolitana da Baixada Santista, 2013).

**Tabela 7 - População flutuante em Santos entre 2000 e 2030**

<b>Município</b>	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Santos</b>	73,627	70,875	68,111	65,632	63,320	61,814	60,036

Fonte: Agência Metropolitana da Baixada Santista, 2013

Comparando as duas tabelas, é possível perceber que a população flutuante de Santos é significativa. Isto gera críticas negativas relacionadas à infraestrutura da cidade, pois boa parte dela é destinada aos negócios imobiliários voltados aos turistas que adquirem ou alugam residências, ociosas na maior parte do ano.

Sem desconsiderar a importância das projeções populacionais para a análise dos cenários considerados possíveis de desenvolvimento da área em questão, também é possível apontar a relação histórica do crescimento demográfico com os ciclos de novos investimentos, do desenvolvimento econômico, com o reflexo na geração de empregos. Sendo assim, há necessidade de sobreposição de métodos com relação à modelagem tendencial do desenvolvimento da região, de acordo com

a projeção da população prevista, considerando fatores econômicos. Desse modo, tais cenários não tendenciais são definidos:

“■ Cenário Prospectivo, no qual 60% dos investimentos identificados para a região se realizam até 2030; e

■ Cenário Intenso (desejado), no qual a totalidade dos investimentos se realiza até 2030. A realização de projeções demográficas em tais situações implica no estabelecimento da relação direta entre empregos gerados e seu potencial de atração demográfica”. (Agência Metropolitana da Baixada Santista, 2013)

#### **2.4.4 SANEAMENTO**

Para continuidade do projeto, deve-se analisar como é o sistema de esgotamento sanitário da cidade de Santos.

Com relação ao operacional, desde 1973 a Sabesp é a empresa responsável pelo fornecimento de água e pelo sistema de coleta e tratamento de esgoto. A Prefeitura assinou um contrato histórico com a empresa estatal, em 2015, com duração de 30 anos, e que deverá atrair grandes investimentos voltados para o tema. Por exemplo, para ações de melhoria no abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e manutenção geral serão direcionados 424 milhões de reais. De acordo com a secretária de Meio Ambiente, Débora Blanco Bastos Dias, a rede, coleta e tratamento do sistema de esgoto de Santos são quase 100% completos e o foco atual é ampliar a manutenção e monitoramento para melhorar os indicadores da cidade. Como indicadores, pode-se citar: Atendimento total de água (100%), Atendimento urbano de água (100%), Atendimento total de esgoto (98,54%), Atendimento urbano de esgoto (98,61%) e Esgoto tratado para água consumida (97,6%) (Prefeitura de Santos, 2016). A Prefeitura de Saneamento e Recursos Hídricos, em conjunto com a Escola Politécnica, realizou um seminário internacional em novembro de 2016, reunindo especialistas nacionais e internacionais, a fim de discutir sobre o assunto da Qualidade das Águas Costeiras e a disposição de esgoto por emissários submarinos. Com o intuito de expor diferentes pontos de vista relacionados ao assunto, o evento reuniu professores e expôs a situação atual da qualidade das águas da região costeira, apontando necessidade de monitoramento contínuo. (Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, 2016).

## **2.4.5 O PROGRAMA ONDA LIMPA**

### **2.4.5.1 Sobre o Programa**

O Programa Onda limpa foi criado em 2007 pelo Governo do Estado de São Paulo, motivado pelos baixos índices de atendimento em serviços de coleta e tratamento de esgoto que a Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) apresentava. As cidades que participam do Programa, além de Santos e São Vicente, são Praia Grande, Guarujá, Itanhaém, Peruíbe, Mongaguá, Cubatão e Bertioga. Ele é considerado um dos maiores programas de saneamento da América Latina, e também a maior intervenção ambiental na costa brasileira. (Programa Onda Limpa Baixada Santista, SABESP- 2014). O Programa teve seu planejamento dividido em duas etapas. A primeira foi realizada entre os anos de 2007 e 2012, a segunda teve início em 2013 e previsão de término em 2020.

### **2.4.5.2 Investimentos e retornos**

Estima-se que, até o encerramento do programa, serão investidos em torno de R\$ 4,6 bilhões, durante duas etapas. A primeira etapa recebeu R\$ 1,5 bilhão, utilizados para construção de 845 km de redes coletoras, 48 km de coletores tronco, 2 km de interceptores, 73 km de linhas de recalque, 89 estações elevatórias, 86.797 ligações domiciliares, 7 estações de tratamento, 2 estações de pré-condicionamento, 2 km de emissários terrestres e 4 km de emissário submarino, para toda a Baixada.

Para Santos, foram executadas obras de melhoria tanto para o tratamento como para o afastamento do esgoto. A EPC de Santos teve sua capacidade aumentada e o emissário foi prolongado com 400 metros de difusores. A Sabesp relatou que a capacidade foi elevada a 5,3 m<sup>3</sup>/s, o que significa atender até 3,8 milhões de habitantes (Prefeitura de Santos, 2013). O Programa pretende ainda realizar uma reforma que aumente de 4,4 km para 6 km (Programa Onda Limpa, 2014).

Tais melhorias, entretanto, não refletiram os resultados almejados para a qualidade ambiental da praia, analisada mais detalhadamente nas seções 2.7 e 2.8 deste documento.

## 2.5 EMISSÁRIOS SUBMARINOS

Emissários submarinos são sistemas de disposição oceânica. São longas tubulações assentadas no fundo marinho e em seu trecho final atingem grandes profundidades. O lançamento do efluente ocorre por meio de vários orifícios difusores, que permitem sua diluição eficaz. Os emissários utilizam-se da grande capacidade de depuração do oceano, que se deve ao seu enorme volume de água e reações físicas, químicas e biológicas que ocorrem no meio (Cetesb, 2007).

A solução para os sistemas de tratamento de esgoto na região costeira via emissário submarino com pré condicionamento ou tratamento preliminar de esgoto é competitiva, quando comparada com outras soluções de tratamento para o litoral paulista e brasileiro (Cetesb, 2007). A tabela 8 mostra algumas vantagens e desvantagens que o sistema de disposição oceânica implica.

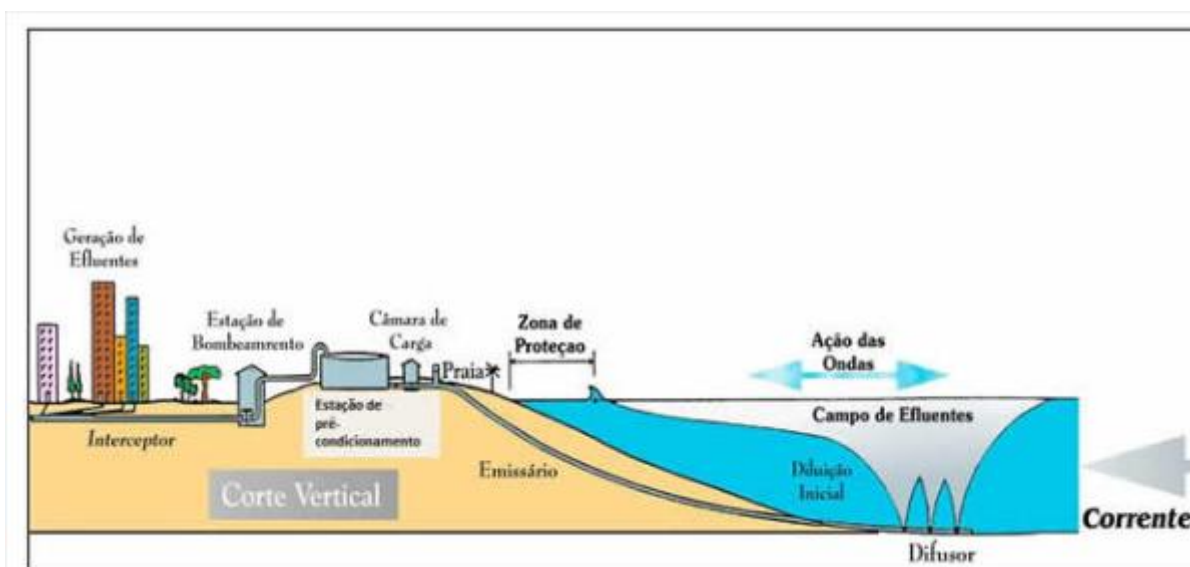
**Tabela 8 - Vantagens e desvantagens da implantação de emissários submarinos**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Eficiência na disposição, e tratamento dos esgotos domésticos;	Dificuldade na construção do emissário;
Não causa poluição visual e problemas de odor (exceto na zona de mistura);	Danos estruturais podem ser difíceis de reparar;
Custo de capital menor ao longo da vida útil;	Pode oferecer riscos para navegação e pesca;
Custo de manutenção menor;	É difícil detectar descargas tóxicas ilegais;
Requer menor área para a parte terrestre do emissário;	Pode resultar em perda potencial da qualidade de água (na zona de mistura);
Requer poucos funcionários para operação;	Requer estudos de monitoramento costeiro e inspeção subaquática;
Gasto menor em energia elétrica;	Pode reunir objeções de ambientalistas e outro.
O problema da disposição de lodo é menor;	
Preservação dos rios costeiros como classe 1.	

Fonte: (Adaptado de Emissários Submarinos, 2007)

Nas cidades brasileiras onde ocorre a destinação de esgoto por meio de emissários submarinos, os efluentes gerados são coletados por uma rede coletora e podem ser bombeados em estações elevatórias, que se fazem necessárias quando a topografia é desfavorável ao escoamento por gravidade. O esgoto é então encaminhado para estações de pré-condicionamento (EPC), onde passam por gradeamento, peneiramento para remoção dos sólidos, e por fim pela cloração. Posteriormente, o efluente pré-condicionado é direcionado para o mar, por meio de emissários terrestres e marítimos (Cetesb, 2007). A Figura 3 representa simplificada este sistema.

**Figura 3** - Esquema de sistema de disposições oceânicas



Fonte: Emissário Submarino, CETESB (2017)

A maioria dos emissários submarinos do Brasil encontra-se no Estado de São Paulo, cuja costa possui atualmente oito sistemas de disposição oceânica em operação. Implantados e operados pela Sabesp, eles estão distribuídos em cinco municípios: Santos, Guarujá, Praia Grande, São Sebastião e Ilhabela. A Tabela 9 mostra as características técnicas dos emissários, e as figuras 4 e 5 mostram sua disposição na costa. (Cetesb, 2017)



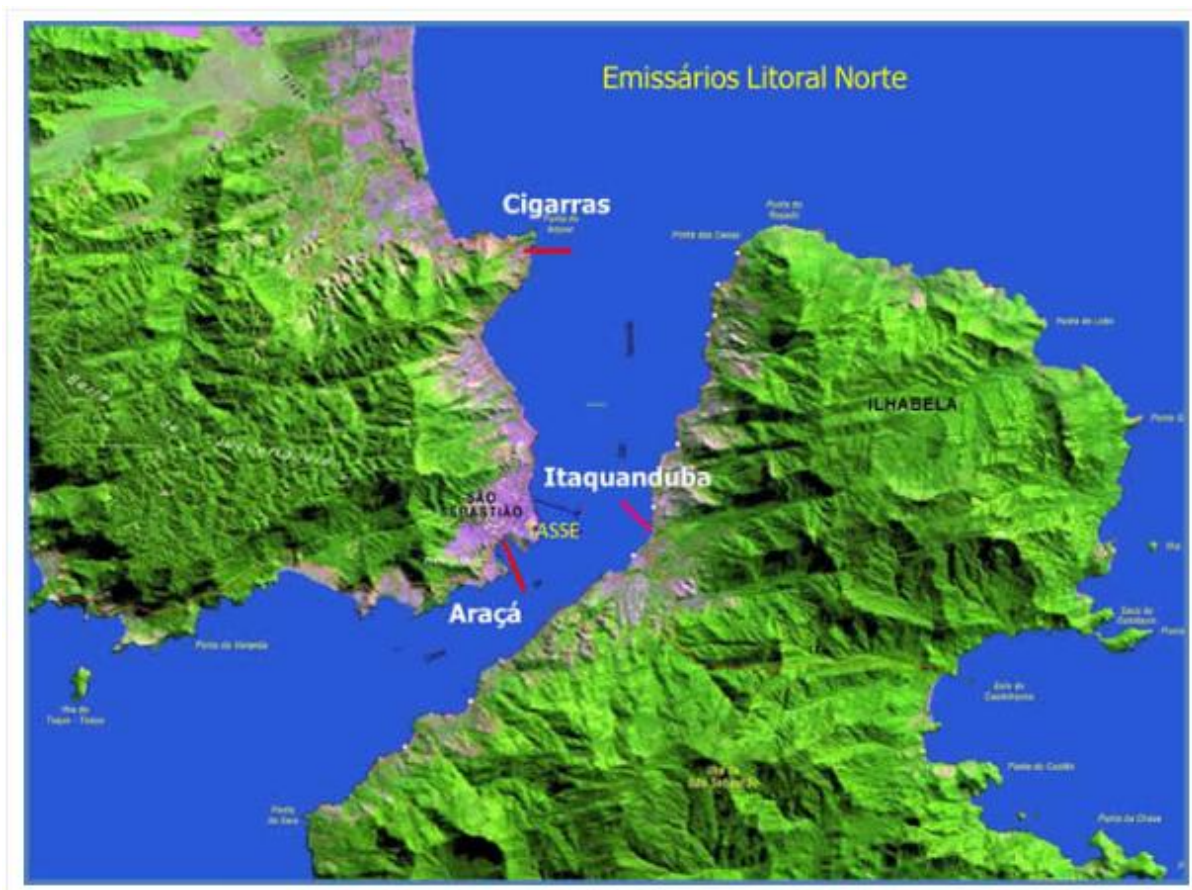
**Tabela 9 - Característica dos emissários submarinos existentes**

Município - Local	População máxima	Vazão máxima (m³/s)	Comprimento (m)	Profundidade (m)	Diâmetro (m)	Tubo difusor (m)	Nº de Orifícios	Início da Operação
Ilhabela Itaquanduba	26.000	0,15	1800	37	0,4	30	8	2010
São Sebastião Pta. Cicarras	1.600	0,012	1068	8	0,16	3,5	7	1985
São Sebastião Pta. Araçá	21.396	0,14	1200	17	0,4	25	6	1991
Guarujá Enseada	445.858	1,4	4500	14	0,9	300	150	1998
Santos/ São Vicente	1.332.100	5,3	4000	10	1,75	400	158	1979
Praia Grande I Praia do Forte	253.755	1,04	3300	12,5	1	435	174	1998
Praia Grande II Vila Tupi	348.635	1,3	3400	13	1	570	228	1998
Praia Grande III Vila Caiçara	348.635	1,4	4000	12,5	1	435	570	2010

Fonte: Emissários Submarinos, CETESB (2017)



**Figura 5 - Localização dos emissários submarinos da Baixada Santista (2)**



Fonte: Emissários Submarinos, CETESB (2017)

Apesar da capacidade de autodepuração do oceano, o lançamento de efluentes neste meio envolve uma série de aspectos ambientais que podem acarretar impactos significativos. O acúmulo de matéria orgânica e o excesso de nutrientes podem ocasionar o processo de eutrofização. O nível elevado de sólidos em suspensão diminui a transparência da água e pode impactar as atividades do ecossistema. A presença de microrganismos patogênicos, em determinadas concentrações; pode acarretar a contaminação do meio. Todos estes impactos prejudicam a qualidade e afetam a balneabilidade do mar na região.

Medidas para minimização do impacto da disposição oceânica no meio ambiente devem ser tomadas. O primeiro passo é o dimensionamento adequado do sistema tratamento-emissário-difusor, para que otimize a redução de poluentes de forma rápida e eficaz nas piores condições ambientais. Para atingir tal objetivo pode-se contar, por exemplo, com um difusor que promova diluições iniciais superiores a 100 vezes, ou com um emissário com comprimento adequado para evitar o retorno de poluentes à praia (CETESB, 2017).

Ações preventivas ou corretivas de um sistema de disposição oceânica são melhores visualizadas através de uma matriz de impactos, que é apresentada na tabela 10.

**Tabela 10 - Vantagens e desvantagens da implantação de emissários submarinos**

Fator Ambiental	Descrição dos Impactos	Atributos do Impacto Negativo						Medidas Controle Ambiental		
		Fase do empreendimento	Probabilidade de ocorrência	Duração	Reversibilidade	Intensidade	Área de Influência	Identificação	Natureza	Responsável
Águas do Mar	Alteração das características físico-químicas das águas na zona de mistura	operação	Provável	Permanente	Reversível	Alta	Local	Operação adequada do sistema; Monitoramento da zona de influência do emissário.	Preventiva	Sabesp
	Alteração na granulometria dos sedimentos	operação	Provável	Permanente	Irreversível	Alta	Local	Operação adequada do sistema; Monitoramento da zona de influência do emissário.	Preventiva	Sabesp
Ecossistema Marinho	Alterações quantitativa e qualitativa no fitoplâncton.	Implementação/Operação	Provável	Permanente	Reversível	Alta	Local	Enterramento do emissário em época de calmaria. Monitoramento do fitoplâncton e das características físico-químicas da água (nutrientes, carbono total, material em suspensão, oxigênio dissolvido). Melhoria no pré-tratamento	Preventiva Preventiva Corretiva	Empreiteira Sabesp Sabesp
	Alterações quantitativa e qualitativa no zooplâncton	operação	Provável	Permanente	Reversível	Alta	Local	Monitoramento do zooplâncton e das características físico-químicas da água (nutrientes, carbono total, material em suspensão, oxigênio dissolvido). Melhoria no pré-tratamento	Preventiva Corretiva	Sabesp Sabesp
	Alterações quantitativa e qualitativa no bentos	Implementação/Operação	Certa	Permanente	Irreversível	Alta	Local	Enterramento do emissário em época de calmaria. Monitoramento da comunidade bentônica e dos sedimentos (características físico-químicas e sedimentológicas). Melhoria no pré-tratamento	Preventiva Preventiva Corretiva	Empreiteira Sabesp Sabesp
	Alterações quantitativa e qualitativa na ictiofauna	Implementação/Operação	Provável	Permanente	Reversível	Média	Local	Enterramento do emissário em época de calmaria. Monitoramento da ictiofauna (composição e abundância). Melhoria no pré-tratamento	Preventiva Corretiva	Empreiteira Sabesp Sabesp
	Contaminação de organismos (peixes, moluscos, crustáceos).	operação	Provável	Permanente	Reversível	Média	Local	Monitoramento dos peixes, moluscos e crustáceos quanto à contaminação por patógenos. Melhoria no sistema de pré-tratamento, com especial atenção à cloração do efluente.	Preventiva	Sabesp

Fonte: (Adaptado de Emissários Submarinos, 2007)

### 2.5.1 EMISSÁRIO SUBMARINO DE SANTOS

Em 1969, o Plano Diretor de Esgotos das Cidades de Santos – São Vicente já indicava a disposição oceânica como a alternativa mais viável. Os diferentes tipos alternativos de disposição final de efluentes exigiram uma análise das consequências do lançamento em função das características dos corpos receptores, das áreas a serem preservadas, dos usos benéficos previstos e dos padrões de qualidade correspondentes.

Data do ano de 1975 o Projeto Técnico do Sistema Integrado de Disposição Oceânica dos Esgotos da Ilha de São Vicente, elaborado pela HIDROCONSULT. Este conclui que por razões físicas, ecológicas, técnicas e econômicas, o ponto ótimo de lançamento dos esgotos de Santos e São Vicente seria a 4 km ao sul do ponto de mergulho na praia José Menino. O emissário submarino de Santos foi projetado para atender uma população máxima de cerca de 1.300.000 habitantes (Cetesb, 2007).

Assim, sob o Parque Municipal Roberto Mário Santini, em frente ao bairro José Menino, em Santos, passa o Emissário Submarino de Santos, que foi inaugurado em 1978. A estrutura tem até 10 metros de profundidade, sua tubulação possui 1,75 metro de diâmetro interno, possuía, inicialmente, 4 quilômetros de extensão (Emissário Submarino de Santos, SABESP, 2017), e é constituído por tubos de aço e revestido externamente de concreto. “A tubulação difusora foi projetada com 200 metros de extensão e 40 orifícios com tubos verticais (*risers*) espaçados a cinco metros, e diâmetro interno de 30 centímetros”. A vazão que pretendia-se atender nesse projeto era de **7,3 m<sup>3</sup>/s** (SUBTIL, 2012).

Na década de 1990 o número de emissários submarinos no Estado de São Paulo cresceu, a Cetesb iniciou o monitoramento desses sistemas em 2002 realizando amostragens semestrais. Os estudos preliminares indicaram alguns impactos ambientais no meio marinho que podiam ser associados à operação dos emissários.

As águas da Baía de Santos apresentaram concentrações de nitrogênio amoniacal, fósforo total e sulfeto, que não atendem aos padrões da legislação. Esses resultados mostram que está ocorrendo um enriquecimento por nutrientes

dessas águas. Foram observados, também, elevadas concentrações de indicadores microbiológicos de poluição fecal como enterococos e coliformes termotolerantes.

Em algumas amostras foram detectados valores baixos de oxigênio dissolvido nas camadas mais profundas da coluna d'água. O que pode ser explicado pela influência das condições do sedimento nessas camadas de água.

Os sedimentos da zona no entorno do emissário apresentam grande acúmulo de matéria orgânica, observados pelos resultados de potencial redox, concentrações de carbono orgânico total e pelas razões C/N indicando origem alóctone de material. Além disso, os elevados teores de enxofre indicam presença de matéria orgânica em estágio avançado de decomposição (Cetesb, 2007).

Em 2009, o emissário foi ampliado (Emissário Submarino de Santos, SABESP, 2017) e o sistema difusor do emissário foi reformado. Atualmente, o sistema conta com 400 metros e 158 difusores de diâmetro interno de 0,11 metros, sendo a altura de cada difusor de 1,2 metros. A vazão máxima de descarga passou a ser de **5,3 m³/s** (SUBTIL, 2012). As alterações ocorreram por incentivo do Programa Onda Limpa, que teve por objetivo assegurar o desenvolvimento sustentável da RMBS, e trazer melhorias para a saúde, o meio ambiente e a balneabilidade das praias. O programa visa ainda uma reforma que aumente os 4,4 km atuais para 6 km no futuro (Programa Onda Limpa, 2014).

O pesquisador Eduardo Lucas Subtil, em sua tese de doutorado, estudou o tratamento de águas residuárias de emissários submarinos e avaliou o nível de tratamento para uma disposição oceânica ambientalmente segura. Sob a ótica das conclusões desta tese, que leva em conta o emissário de Santos, constata-se que o futuro aumento da vazão de esgoto produzido e a permanência do tratamento preliminar atual tornarão o sistema incapaz de controlar e reduzir a concentração de alguns componentes presentes nas águas residuárias. A concentração de fósforo, por exemplo, pode acarretar a contaminação e morte de peixes e espécies vegetais devido ao crescimento da população de algas tóxicas (SUBTIL, 2012).

De acordo com o mesmo pesquisador, o tratamento primário avançado do esgoto enviado para o emissário submarino de Santos caracteriza a melhor solução, em termos econômicos e ambientais, e em comparação com outros sistemas. Tal tratamento já é utilizado nos Estados Unidos e China, e segundo Eduardo, "É um sistema relativamente mais fácil e barato de ser implementado do que os tratamentos secundário e terciário, que podem custar três vezes mais" (SUBTIL,



2012). Outra alternativa apontada pelo pesquisador é o aumento da extensão do emissário para distanciar o ponto de emissão da baía e facilitar sua dispersão.

Para Subtil, o Brasil tem a necessidade de que a legislação estabeleça qual pré-tratamento deve ser adotado no uso de emissários submarinos e quais compostos presentes no esgoto precisam ser removidos antes de chegar ao oceano, de forma a minimizar os impactos ambientais.

## **2.6 RELATÓRIO DE QUALIDADE DAS PRAIAS LITORÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**

A avaliação do relatório publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo em 2016 foi crucial na escolha do tema a ser estudado.

A CETESB elabora e publica anualmente estes documentos que “visam sintetizar os resultados obtidos pelas redes de monitoramento da CETESB e apresentam entre outras informações: dados de medição, comparações com os valores legais, principais tendências de comportamento dos poluentes, permitindo um diagnóstico ambiental amplo de forma a orientar e subsidiar o aprimoramento dos programas de controle ambiental e o planejamento e gestão do meio ambiente no Estado” (Cetesb, 2016a).

A Companhia possui uma rede com 7 pontos de monitoramento em locais representativos ao longo de toda a extensão das 6 praias de Santos, portanto o índice de monitoramento nesta região é de 100%. Bandeiras indicando a qualidade da água são fixadas em frente a estes pontos para alertar os banhistas, e são substituídas sempre que há alteração dos resultados divulgados no boletim semanal. Os resultados também podem ser consultados em seu portal online.

### **2.6.1 AVALIAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO**

No relatório é apresentado o índice ICTEM (Índice de Coleta e Tratabilidade de Esgotos da População Urbana de Municípios), que mede a remoção de carga orgânica em relação à carga potencial gerada pela população urbana, além de considerar a coleta, o afastamento, o tratamento, o atendimento à legislação, e aos padrões de qualidade do corpo receptor. A tabela 11 mostra os fatores que o compõe:

Tabela 11 - Fatores para cálculo do ICTEM

<b>Elementos do indicador</b>	<b>Composição (%)</b>	<b>Ponderação</b>
Coleta	15	1,5
Tratamento e eficiência de remoção	15	1,5
Eficiência global de remoção	65	6,5
Destino Adequado de lodos e resíduos de tratamento	2	0,2
Efluente da estação não desenquadrada a classe do corpo receptor	3	0,3
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>10</b>

Fonte: Qualidade das Praias, CETESB (2016)

A partir da tabela 12 pode-se avaliar comparativamente a qualidade da coleta e do tratamento para as cidades litorâneas de São Paulo. O sistema de Santos é o que atende à maior população tanto em termos absolutos como relativos. Entretanto, o tratamento é considerado nulo, pois esta parcela do índice avalia apenas a remoção de carga orgânica. Por este motivo, apesar de apresentar um elevado índice de coleta, Santos apresenta um baixo ICTEM.



**Tabela 12 - Saneamento básico em cidades litorâneas do Estado de São Paulo**

Município	População IBGE (2016)		Atendimento (%)		Carga Poluidora (kg DBO/d)			ICTEM	Corpo Receptor
	Total	Urbana	Coleta	Tratamento	Potencial	Removida	Remanescente		
Ubatuba	87.364	85.246	30%	100%	4.603	1.231	3.372	3,74	Rios diversos/ mar
Caraguatatuba	115.071	111.136	69%	100%	6.001	3.721	2.280	7,29	Rios diversos/ mar
São Sebastião	84.294	83.343	36%	55%	4.501	809	3.691	3,07	Rios diversos/ mar
Ilhabela	32.782	32.556	28%	4%	1.758	18	1.741	1,04	Rios diversos/ mar
Bertioga	57.942	57.024	27%	100%	3.079	740	2.339	3,85	Rio Itapanhaú
Guarujá	313.421	313.366	62%	6%	16.922	567	16.355	1,75	Enseada/ Est. De Santos
Cubatão	127.887	127.887	49%	100%	6.906	3.052	3.854	5,68	Rio Cubatão
Santos	434.359	434.034	97%	0%	23.438	0	23.438	1,66	Baia de Santos
São Vicente	357.989	357.308	71%	18%	19.295	2.213	17.082	2,28	Humaitá, R. Mariana, Samaritá, Rio Branco; Insular, Est. De Santos
Praia Grande	304.705	304.705	70%	0%	16.454	0	16.454	1,25	Mar
Mongaguá	53.384	53.151	80%	100%	2.870	2.054	817	7,81	Mar e Rio Aguapeú
Itanhaém	97.439	96.527	34%	100%	5.212	1.590	3.622	3,25	Rios Poço, Itanhaém e Curitiba
Peruíbe	65.907	65.171	73%	100%	3.519	2.055	1.464	5,34	Rio Preto
Iguape	30.519	26.132	52%	100%	1.411	664	747	5,06	R, Ribeira de Iguaape
Ilha Comprida	10.476	10.476	40%	100%	566	203	363	4,58	Rio Candapiú
Cananéia	12.606	10.760	67%	100%	581	309	272	6,64	Mar Pequeno

Fonte: Divisão de Apoio ao Controle de Fontes de Poluição (Cetesb)

Além das condições de aporte de esgoto que o ICTEM abrange, há fatores naturais que afetam sua dispersão e, logo, a qualidade das águas para onde a pluma se espalha. Entre estes fatores, os principais são a morfologia da praia, as condições de chuvas e as condições de marés. Estes fatores, com exceção das chuvas, serão considerados nas simulações dos cenários críticos, por meio do Delft 3D.

## 2.6.2 AVALIAÇÃO DA BALNEABILIDADE DAS PRAIAS

A balneabilidade pode ser definida como a qualidade da água de recreação na qual tem-se contato primário. Monitora-se a balneabilidade pela presença de microrganismos patogênicos, e sua avaliação é feita confrontando os resultados aos padrões preestabelecidos. Vale ressaltar que a balneabilidade é um indicador importante para a saúde da população, mas, por restringir-se aos microrganismos, não é suficiente para garantir a saúde e equilíbrio do meio.

A presença de microrganismos indicadores de contaminação fecal pode levar a diversas doenças, que se relacionam com o tipo de microrganismo, conforme mostra a tabela 13.

**Tabela 13 - Tipo de microrganismo e doença associada**

<b>Microrganismos</b>	<b>Doenças</b>
<b>Bactérias</b>	Febre tifoide, febre paratifoide, outras salmonelas, shigelose (disenteria bacilar), diarreia por E. coli patogênica, cólera, legionelose.
<b>Vírus</b>	Gastroenterite por rotavírus ou outro vírus, enterovirose, hepatite A e hepatite E.
<b>Protozoários</b>	Amebíase, giardíase, criptosporidíase.
<b>Helmintos (vermes)</b>	Esquistossomose, ascaridíase.

Fonte: Qualidade das Praias, CETESB (2016)

Devido à inviabilidade técnico-econômica de monitorar cada tipo de microrganismo, pela sua diversidade e, em certos casos, pela baixa concentração, optou-se por avaliar a presença de microrganismos constantemente presentes nas fezes, que são a bactéria *Escherichia coli* e os enterococos do grupo dos estreptococos fecais. Estas bactérias constituem bons indicadores da possibilidade de haver microrganismos patogênicos de origem fecal nas águas, mas apenas sua presença em si não determina uma condição infectante. O risco de afetar a saúde da população é função, além da presença das bactérias, da saúde da população que gera o esgoto, da frequência e tempo de contato, e também da imunidade do banhista.

A tabela 14 detalha o limite da concentração de microrganismos para cada classificação determinada pela Cetesb.

**Tabela 14 - Concentração de microrganismos e classificação**

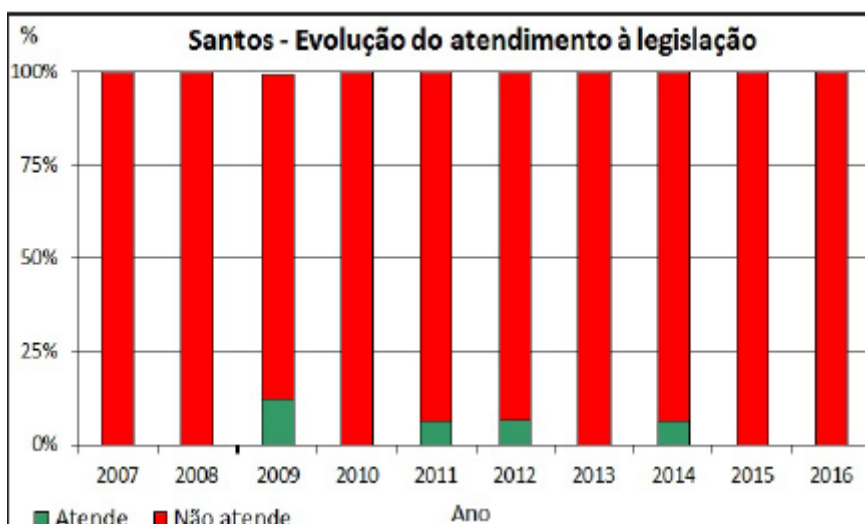
Categoria		Coliforme Termotolerante (100 ml)	Escherichia coli (100 ml)	Enterococos (100 ml)
própria	excelente	máx. de 250 em 80% ou mais tempo	máx. de 200 em 80% ou mais tempo	máx. de 25 em 80% ou mais tempo
	muito boa	máx. de 500 em 80% ou mais tempo	máx. de 400 em 80% ou mais tempo	máx. de 50 em 80% ou mais tempo
	satisfatória	máx. de 1000 em 80% ou mais tempo	máx. de 800 em 80% ou mais tempo	máx. de 100 em 80% ou mais tempo
imprópria		superior a 1000 em mais de 20% do tempo	superior a 800 em mais de 20% do tempo	superior a 100 em mais de 20% do tempo
		maior que 2500 na última medição	maior que 2000 na última medição	maior que 400 na última medição

Fonte: Qualidade das Praias, CETESB (2016)

### 2.6.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS CURSOS D'ÁGUA AFLUENTES

Os sete canais distribuídos pela cidade de Santos são direcionados para as praias, e são responsáveis por drenar as águas de chuvas e evitar inundações. Eles são equipados com comportas normalmente fechadas, desviando a vazão para a EPC. Em situações de anormalidade, quando o volume de chuvas excede a capacidade do sistema, as comportas são abertas e o efluente é despejado diretamente nas praias. Além destas situações, há contribuições resultantes de efluentes clandestinos de regiões sem infraestrutura de saneamento básico adequada.

O relatório publicado em 2016 revelou que, no mesmo ano e no ano anterior, todas as 8 amostras excederam o valor máximo da bactéria *Escherichia coli*, de 600 UFC por 100 ml de amostra, determinado pela norma da Cetesb. Nos anos anteriores, o número de amostras que atenderam à legislação também foi extremamente insatisfatório, conforme pode-se observar no gráfico da figura 6.

**Figura 6 – Santos: Evolução do atendimento à legislação**

Fonte: Qualidade das Praias, CETESB (2016)

No presente projeto, a qualidade das águas dos canais não será avaliada diretamente, mas será analisado o efeito sinérgico destas contribuições na qualidade das águas após a mistura, em situações onde as comportas estão fechadas, e que a carga de poluição difusa coletada pelos canais é direcionada para a EPC e, em seguida, para o Emissário.

#### 2.6.4 RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DE SANTOS DE 2016

Conforme pontuado na seção 1.1 deste documento, a classificação anual de Santos atribuída pela Cetesb foi majoritariamente ruim (86% dos monitoramentos) e parcialmente péssima (os 14% restantes). Seguindo o critério da OMS, baseado na concentração de enterococos, a classificação foi regular.

No mesmo relatório da Cetesb, foi feito um detalhamento da quantidade de classificações segmentadas por praia, e os resultados seguem na tabela 15.

**Tabela 15 - Porcentagem de classificações por praia**

Praia - local de amostragem	Excelente (%)	Muito boa (%)	Satisfatória (%)	Imprópria (%)	Qualificação anual
Ponta da Praia	15	12	17	56	PÉSSIMA
Aparecida	21	35	6	38	RUIM
Embaré	37	10	25	29	RUIM
Boqueirão	35	15	10	40	RUIM
Gonzaga	33	19	12	37	RUIM
José Menino (R. Olavo Bilac)	46	10	10	35	RUIM
José Menino (R. Fred. Ozanan)	23	37	2	38	RUIM

Fonte: Adaptado de Relatório de Qualidade das Praias Litorâneas do Estado de São Paulo, CETESB (2016)

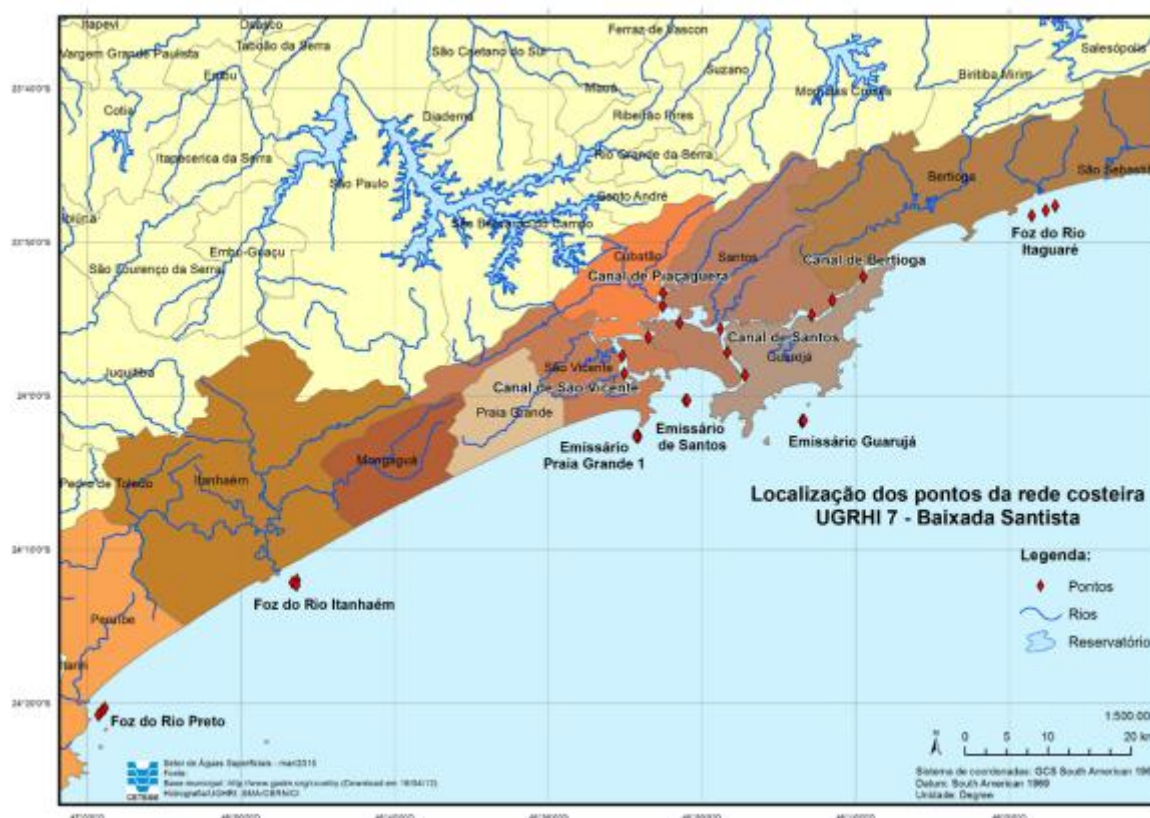
## **2.7 RELATÓRIO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS COSTEIRAS**

Publicado pela Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo e pela Cetesb em 2017, o relatório Qualidade das Águas Costeiras no Estado de São Paulo fornece informações de monitoramento obtidas por meio da Rede Costeira.

No relatório são enumerados fatores que influenciam na qualidade das águas costeiras, podendo eles resultarem da água da chuva, do sistema de esgoto ou mesmo de outras fontes, como atividades recreativas e correntes marítimas. Dentre os principais fatores estão os efluentes industriais, disposição irregular e o clima. Para medição da qualidade, é colocada uma sonda dentro da água, capaz de medir mais de um parâmetro, em contato com a água, e em três profundidades diferentes: superfície, meio e fundo. Tal sonda é capaz de medir temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez, profundidade, cloreto, sólidos totais dissolvidos, entre outras variáveis. (Cetesb, 2016b).

Esta rede foi criada em 2010 e possui 62 pontos de amostragem pelo litoral paulista, dos quais 6 estão localizados em Santos e 3 em São Vicente. Os pontos ficam localizados estrategicamente em regiões de interesse ambiental, em função de atividades potencialmente poluidoras. Eles estão por volta de 3 a 4 km de distância em relação à costa, e são representados na Figura 7.

**Figura 7 - Pontos de monitoramento da rede costeira na Baixada Santista**



Fonte: (CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)

Os pontos de Santos estão localizados no Canal de Santos - área de influência da região portuária do município - e na Baía de Santos - área de mistura da água do mar com a água dos canais e do Emissário Submarino. Esta segunda é a de maior interesse para fins deste estudo.

As coordenadas geográficas dos pontos de monitoramento em Santos estão apresentadas na Tabela 16 e a Figura 8 apresenta os três pontos próximos ao Emissário de Santos.

**Tabela 16 - Coordenadas geográficas**

Município	Local	Ponto	UTM		Latitude (S)	Longitude (O)
Santos	Canal de Santos	1	369.107	7.347.706	23° 58' 36,6"	46° 17' 11,6"
		2	367.145	7.350.411	23° 57' 08,1"	46° 18' 20,1"
		3	366.363	7.353.172	23°55'39.20" S	46°18'47.06" O
	Emissário de	1	362.700	7.344.600	24° 00' 15,6"	46° 20' 59,3"

	Santos	2	362.600	7.344.600	24° 00' 15,6"	46° 21' 02,8"
		3	362.800	7.344.600	24° 00' 15,6"	46° 20' 55,8"

Fonte: (CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)

O ponto 2 está suficientemente próximo à saída do Emissário, e para fins deste estudo, ele foi utilizado como referência para os dados de entrada no Software escolhido para modelagem.

**Figura 8 - Pontos da Rede Costeira próximos ao Emissário**



Fonte: (CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)

## 2.7.1 ÍNDICES E RESULTADOS

### 2.7.1.1 Índice de Qualidade de Águas Costeiras - IQAC

Este índice é baseado no Índice de Qualidade elaborado pelo CCME - *Canadian Council of Ministers of the Environment*, que é uma ferramenta devidamente validada e aplicável para águas salinas e salobras. Ele consiste em uma análise estatística que relaciona os resultados obtidos em análises com um valor padrão para cada parâmetro. Ao final dos cálculos pertinentes chega-se a um resultado dentro de uma escala de 1 a 100 (Qualidade da Águas Costeiras, 2016).

A Cetesb utiliza padrões de qualidade que consideram os critérios estabelecidos na Resolução Conama nº 357/2005. O IQAC compreende nove parâmetros, que têm seus limites determinados na Tabela 17, e cinco categorias de classificação das águas, que podem ser identificadas na Tabela 18.

Tabela 17 - Parâmetros do IQAC

Qualidade das Águas (Resolução CONAMA 357/15)		Padrões Legais para Classe 1	
PARÂMETROS	UNIDADE	ÁGUA SALINA	ÁGUA SALOBRA
pH		6,5 a 8,5	6,5 a 8,5
OD	mg/L	6	5
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,124
COT	mg/L	3,0	3,0
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,4	0,4
Fenóis totais	mg/L	0,1	0,003
Clorofila a	mg/L	2,5*	10*
Enterococos	UFC/100mL	100	100
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	1000	1000

Fonte: (Adaptado de CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)

Tabela 18 - Classificação do IQAC

FAIXA DE VALORES DO ÍNDICE	CLASSIFICAÇÃO DA FAIXA
≥95	Ótima
<95 e ≥80	Boa
<80 e ≥65	Regular
<65 e ≥45	Ruim
<45	Péssima

Fonte: (Adaptado de CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)

A Tabela 19 apresenta a classificação dos três pontos próximos ao emissário de Santos para o índice IQAC, bem como os parâmetros não conformes, alguns os quais não são computados no índice.

Tabela 19 - Classificação IQAC 2016

Ponto	Classificação - IQAC 2016	
1	43	Péssima
2	52	Ruim
3	53	Ruim
Média	49	Ruim
Porcentagem de não conformidades por parâmetro	Oxigênio dissolvido (44%), pH (6%), fósforo total (61%), nitrogênio amoniacal total (6%), enterococos (50%), clorofila a (67%), *coliformes termotolerantes (28%)	

Fonte: (Adaptado de CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)



### 2.7.1.2 Índice de estado trófico - IETC

Este índice refere-se ao processo de eutrofização que pode ocorrer nas águas marinhas, e é medido pela concentração de clorofila a.

Os quatro tipos de classificação elaborados para o índice IETC estão apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 - Faixas de classificação IETC**

Estado Trófico	Clorofila a (µg/L)
Oligotrófico	CL < 1,00
Mesotrófico	1,00 < CL < 2,50
Eutrófico	2,50 < CL < 5,00
Supereutrófico	CL > 5,00

Fonte: (Adaptado de CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)

O monitoramento foi realizado para duas profundidades (superfície e meio) em 20 áreas diferentes e os resultados estão apresentados na Tabela 21.

**Tabela 21 - Classificação IETC**

Ponto	Primeira Campanha		Segunda Campanha	
1	10,29	Supereutrófico	2,68	Eutrófico
2	9,03	Supereutrófico	2,23	Mesotrófico
3	11,26	Supereutrófico	2,34	Mesotrófico
Média	10,19	Supereutrófico	2,41	Mesotrófico
<b>Média Anual</b>	<b>6,3</b>		<b>Supereutrófico</b>	

Fonte: (Adaptado de CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)

### 2.7.1.3 Indicadores de contaminação fecal

Foram usados dois indicadores de contaminação fecal: coliformes termotolerantes, que indicam contaminação fecal recente e, também, os *Clostridium perfringens*, que indicam contaminação antiga.

As Tabelas 22 e 23 indicam, respectivamente, as categorias e as classificações dos dois indicadores.

**Tabela 22 - Categorias para classificação de contaminação fecal**

<b>Categoria</b>	<b>CTt (NMP/ 100 mg)</b>	<b>Clostridium perfringens (NMP/ 100 mg)</b>
ÓTIMA	<=200	<=10.000
BOA	<=500	<=50.000
REGULAR	<=1.000	<=100.000
RUIM	<=10.000	<=500.000
PÉSSIMA	>10.000	>500.000

Fonte: (Adaptado de CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)

**Tabela 23 - Classificação para contaminação fecal**

<b>Campanha 1 -2016</b>			
1	Coliformes termotolerantes (NMP/ 100g)	240.000	Péssima
	Clostridium perfringens (NMP/ 100g)	230.000	Ruim
2	Coliformes termotolerantes (NMP/ 100g)	23.000	Péssima
	Clostridium perfringens (NMP/ 100g)	1.400.000	Péssima
3	Coliformes termotolerantes (NMP/ 100g)	350.000	Péssima
	Clostridium perfringens (NMP/ 100g)	2.600.000	Péssima
<b>Campanha 2 - 2016</b>			
1	Coliformes termotolerantes (NMP/ 100g)	33.000	Péssima
	Clostridium perfringens (NMP/ 100g)	17.000	Boa
2	Coliformes termotolerantes (NMP/ 100g)	33.000	Péssima
	Clostridium perfringens (NMP/ 100g)	13.000	Boa
3	Coliformes termotolerantes (NMP/ 100g)	23.000	Péssima
	Clostridium perfringens (NMP/ 100g)	17.000	Boa

Fonte: (Adaptado de CETESB, Qualidade das Águas Costeiras, 2016)

### 3 MÉTODO

#### 3.1 FERRAMENTA

Quando o poluente é lançado no meio hídrico, ele sofre três principais processos de transporte. A advecção é o mecanismo de transporte ocasionado pelo

fluxo da água, a difusão é causada pela diferença de concentração do poluente no meio, e ocorre no sentido do gradiente de maior para menor concentração, e o decaimento é a variação que se deve às reações químicas que ocorrem com os compostos ao longo do tempo. A dispersão é a combinação dos processos simultâneos de advecção e difusão (MARTINS, 2017).

A variação no tempo e espaço de cada um dos compostos pode ser simulada por modelagem matemática. Para a análise da dispersão e decaimento dos poluentes lançados pelo emissário marítimo de Santos foi necessário escolher um software capaz de modelar a dispersão, e após a escolha o grupo adotou algumas simplificações.

### **3.1.1 O SOFTWARE ESCOLHIDO**

Para a escolha do software de modelagem da situação problema, foram realizadas pesquisas e foram consultados o professor José Carlos de Melo Bernardino e os engenheiros Lucas Martins Pion e João Paulo Mendes Ferreira, do CTH, que fazem uso desses softwares. Dois tipos de modelos de formulação e de implementação computacional se mostraram mais plausíveis e eficientes: os modelos de campo próximo e os modelos de campo afastado.

Os modelos de campo próximo mais conhecidos e utilizados são o CorJet, que é parte do sistema Cormix, o NRFIELD, que é parte do sistema de Visual Plumes e o UM3 que também trabalha as plumas visuais.

Já para o campo afastado, o software mais utilizado é o Delft3D.

Após a análise das opções existentes, o software escolhido foi o Delft3D da empresa Deltares, sediada na Holanda. Para o objetivo deste trabalho, com um modelo simplificado, o Delft3D, que simula apenas o campo afastado, é suficiente. A equipe que trabalha no CTH já possui capacitação necessária para a operação do software e o Professor José Rodolfo Scarati Martins possui adaptações feitas ao Delft que se encaixam no problema.

### **3.1.2 O CAMPO AFASTADO**

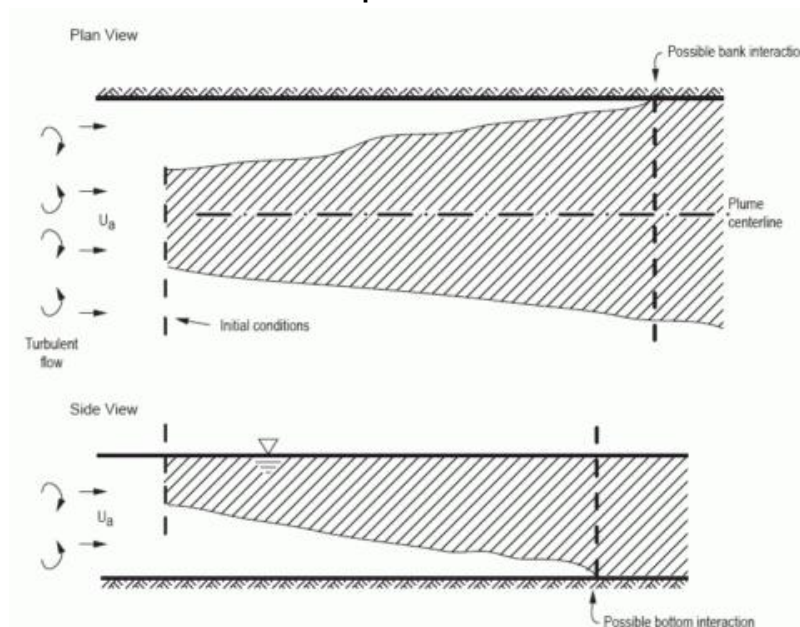
Os softwares de campo afastado não focam na pluma, no jato ou no movimento da descarga de dejetos, mas sim no movimento natural dos corpos hídricos, neste caso, do oceano. Enquanto para o campo próximo turbulências e

velocidades de campo podem ser desprezadas, para o campo afastado tais variáveis se mostram fundamentais.

Portanto, os processos de campo afastado são basicamente relacionados ao fluxo costeiro natural existente.

A turbulência do ambiente é o mecanismo predominante a uma distância razoável do ponto de descarga dos emissários. A difusão dos efluentes, na maioria das vezes, aumenta em largura e espessura até começar a interagir com o fundo do canal e bancos de areia que possam existir, como ilustrado na Figura 9 (BLENINGER, 2006).

**Figura 9 - Modelo do processo de difusão de efluentes no campo afastado**



Fonte: BLENINGER (2016)

### 3.1.3 DELFT 3D MÓDULO FLOW

O módulo Flow do Delft3D possui as características hidrodinâmicas do fluxo, ou seja, força de correntes, densidade de fluxo, força de Coriolis, pressão atmosférica, campos de vento, entre outros (DELTARES, FUNCTIONAL DESCRIPTION DELFT 3D, 2014).

O módulo Flow pode ser aplicado em diversas situações e as que estão presentes neste projeto são: transporte de sedimentos que interagem com o fluxo,

transporte de poluentes e materiais dissolvidos e efeitos combinados entre ventos e correntes.

O decaimento das substâncias também pode ser considerado neste módulo quando acrescentado a taxa de decaimento relativa aos elementos cujas concentrações serão utilizadas nas simulações.

Este módulo resolve as equações não lineares de águas superficiais em três dimensões e inclui modelos avançados de turbulência para que sejam levadas em conta a viscosidade turbulenta na vertical e a difusão baseada no conceito da viscosidade. O módulo aplica uma transformação na vertical que resulta em uma representação da topografia de fundo com diversas camadas (DELTARES, FUNCTIONAL DESCRIPTION DELFT 3D, 2014).

As equações do módulo Flow são baseadas nas equações de Navier-Stokes com uma aproximação utilizada para águas superficiais.

Os resultados desse modelo hidrodinâmico são utilizados por todos os outros módulos do Delft, portanto esse é o módulo principal e mais importante do software.

### **3.2 SIMPLIFICAÇÕES E CONDIÇÕES DE CONTORNO**

Tendo em vista que o objetivo desse projeto é mapear a dispersão de poluentes na Baía de Santos, é necessário conhecer as simplificações para que os limites do resultado sejam conhecidos e definir um conjunto de cenários representativos do sistema em diferentes condições oceânicas, de população e de alternativas de expansão do sistema.

Para os cenários de simulação, foram consideradas as combinações de mar sem ressaca e mar com ressaca, com os diferentes comprimentos propostos para o emissário. As ressacas são caracterizadas pela presença de ondas maiores do que o usual, podendo ocorrer apenas pela presença de ventos em alto mar. As ressacas promovem um maior ou menor nível do mar que altera a concentração de poluentes na região próxima a costa, por esse motivo serão comparados cenários com e sem ressaca.

Os cenários analisados não utilizarão a série histórica de nível do mar e sim o nível do mar advindo de uma onda regular conhecida, datada do ano de 2016. A ocorrência de uma das maiores ressacas de Santos no ano de 2016 conduziu a escolha do intervalo de tempo durante tal evento, desde o dia 22 de abril de 2016

até dia 7 de maio de 2016. Para o macro cenário de ressaca utilizou-se essa onda de 2016 e para o macro cenário sem ressaca utilizou-se uma onda astronômica rodando no mesmo intervalo de tempo, para a obtenção dos níveis do mar.

Para a caracterização ambiental serão consideradas as concentrações de seis variáveis representativas de qualidade da água, são elas: Carbono Orgânico Total (COT), Fósforo Total, Nitrogênio Amônico, Nitrogênio Total, Nitrogênio-Nitrato e *Escherichia coli* (E. coli).

Com a bibliografia encontrada foi possível adotar a taxa de decaimento de primeira ordem (k) para a variável E. coli igual a 0,0833333, portanto, para esta variável, o decaimento será considerado de primeira ordem. O decaimento das demais variáveis, porém, será considerado conservativo.

O módulo usado na simulação será apenas o Flow pois considera-se que atende ao objetivo do projeto.

### **3.3 DESCRIÇÃO**

#### **3.3.1 DEFINIÇÃO DA MALHA**

A malha define o domínio do modelo, ou seja, a área modelada e a resolução em que os cálculos serão realizados para a determinação das características do escoamento e da dispersão de poluentes.

Depois de definida a malha, para cada ponto desta, um valor de profundidade é associado e esse valor de profundidade foi determinado a partir da interpolação de levantamentos de campo (topobatimétricos) na malha utilizada. As cotas dos pontos são medidas a partir de um plano de referência que possui profundidade igual a zero, portanto, os valores das cotas correspondem a uma profundidade abaixo deste plano de referência.

A interface do Delft 3D considera a malha ilustrado na figura 11. A figura 12 representa o zoom da área de interesse e exemplifica a alocação de um ponto de lançamento do emissário considerando o comprimento atual de 4,4 km.

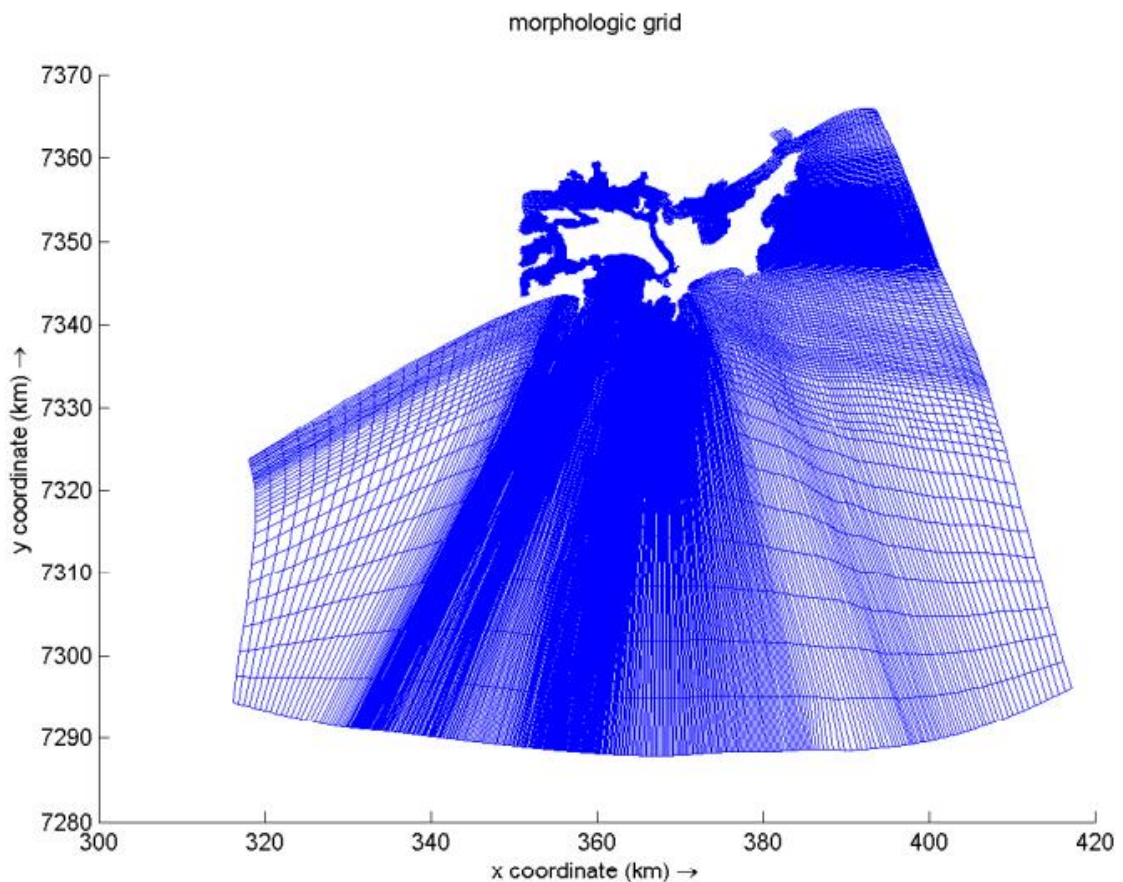
Um ponto de atenção nesta etapa do estudo foi a análise conjunta da localização dos pontos de saída do emissário e do alcance da malha. Houve necessidade de garantir que estes pontos estivessem suficientemente afastados das

bordas da malha de modo que, em caso de a pluma sair da malha e retornar, não fossem perdidos valores de concentração significativos dos parâmetros controlados.

Nas figuras 11 e 12 estão ilustradas a extensão da malha e da Baía de Santos, e é possível verificar que a primeira proporciona a segurança necessária para que este tipo de ocorrência seja desprezada.

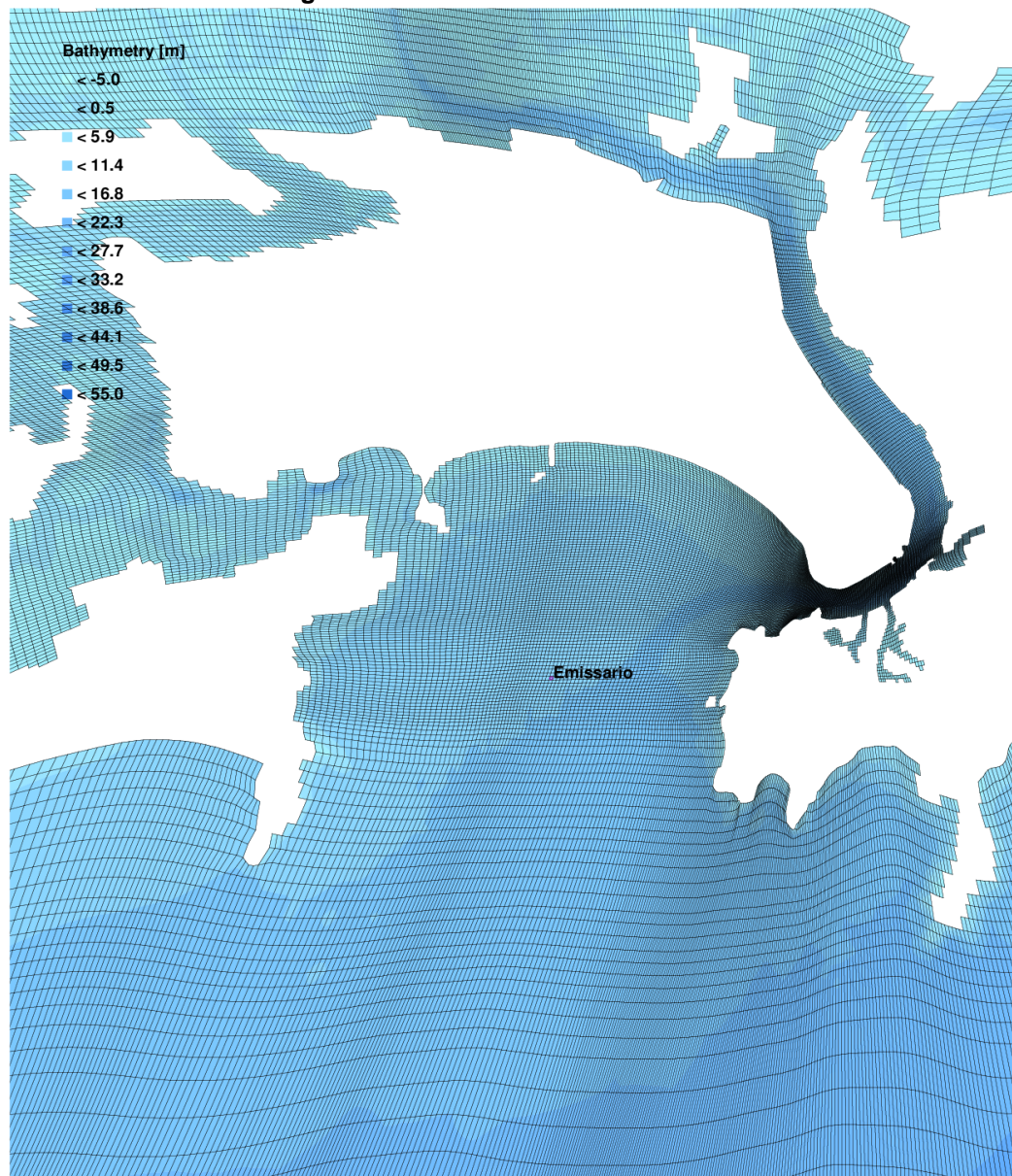
O grid, como ilustrado na Figura 11, possui dimensões diferentes conforme a direção. Na região próxima à saída do emissário, que é a de maior interesse, ele tem dimensões de, aproximadamente, 60 x 40 m.

**Figura 10 - Malha de Simulação**



Fonte: Software Delft 3D.



**Figura 11 - Zoom da área de interesse**

Fonte: Software Delft 3D.

Os pontos de observação foram distribuídos de forma uniforme na área da baía de santos. Inicialmente, 24 pontos foram estabelecidos, como mostra a figura 13.





pluvial é coletado por 7 canais distribuídos pela cidade, e os 6 primeiros possuem um sistema de comportas que permite que eles possam tanto direcionar o esgoto para a EPC por meio do interceptor oceânico como direcioná-lo para o mar, em situações em que a vazão drenada excede a capacidade máxima do sistema. A localização dos canais, da Estação e do emissário pode ser observada na figura 26.

**Figura 13 – Estação de Tratamento de Santos, canais e emissário**



Fonte: Foto tirada durante a visita realizada à Sabesp (2017)

Desde sua inauguração, a Estação sofreu reformas de manutenção e de melhoria, para acompanhar o crescimento da demanda de tratamento. No projeto, buscou-se utilizar ao máximo a energia gravitacional para transportar o fluido de uma unidade para outra. A rede coletora, entretanto, teve que ser auxiliada pelas 51 estações elevatórias, devido ao relevo plano da região.

A planta da estação está representada na Figura 27, e nela pode-se observar cada uma de suas unidades que operam atualmente (duas unidades de peneiras e gradeamento e uma unidade de desarenação e cloração), as unidades que estão sendo desativadas (hachuradas na ilustração), os novos dutos que funcionam por gravidade (coloridos de azul) e o novo duto que funciona por recalque (colorido de amarelo). Entre os canais que funcionam por gravidade, o emissário submarino é o único que foi projetado para uma carga altimétrica superior, capaz de vencer a força das marés, evitando que o esgoto retorne para a costa.

**Figura 14 - Planta da EPC José Menino**



Fonte: Foto tirada durante a visita realizada à Sabesp (2017)

O funcionamento de cada unidade será detalhado nos itens que seguem.

#### **4.1.1 PENEIRAMENTO E GRADEAMENTO**

Há duas unidades de peneiramento e gradeamento da estação: uma é alimentada pelo interceptor Rebouças, que comporta o esgoto coletado na região de mesmo nome, e outra, pelo interceptor oceânico, que transporta esgoto dos 6 primeiros canais que drenam a cidade.

Este tipo de processo retém os sólidos grosseiros presentes no esgoto e evita que estes causem danos às bombas, às tubulações e às demais unidades do complexo, e também que polua o corpo receptor.



**Figura 15- Unidade de peneiras e gradeamento Rebouças**



Fonte: Foto tirada durante a visita realizada à Sabesp (2017)

#### **4.1.2 DESARENAÇÃO**

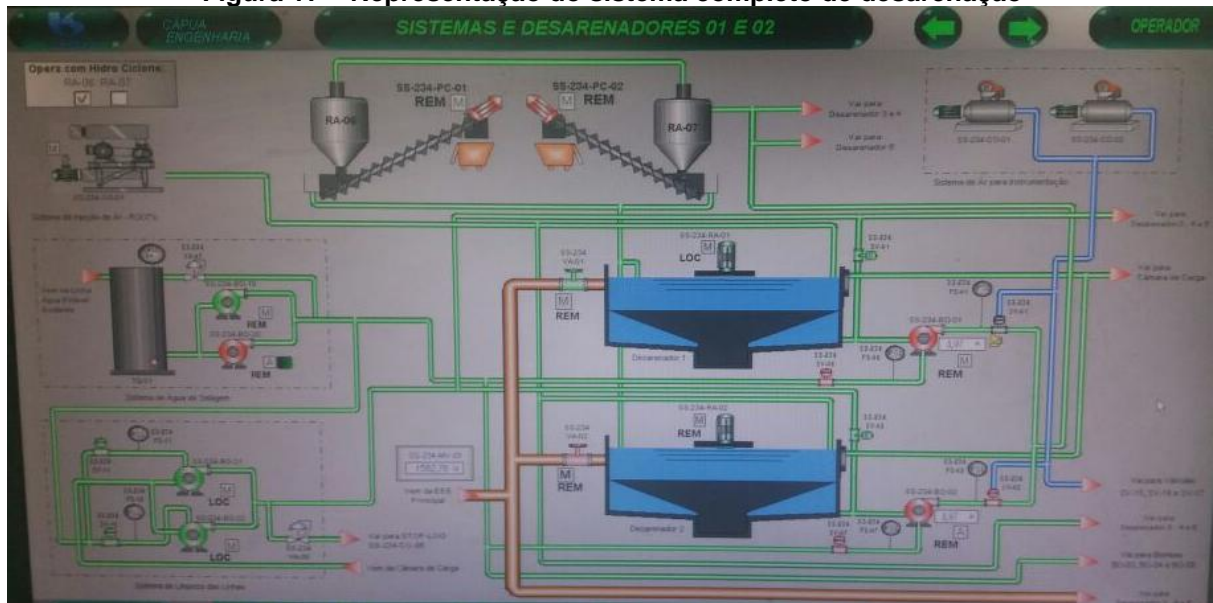
Esta unidade recebe o efluente recalcado das duas anteriores, e o processo começa na cota mais alta da estrutura.

**Figura 16 - Unidade de desarenação da EPC de Santos**



Fonte: Foto tirada durante a visita realizada à Sabesp (2017)

**Figura 17 – Representação do sistema completo de desarenação**



Fonte: Foto tirada durante a visita realizada à Sabesp (2017)

Os grãos de areia em suspensão são sedimentados de forma discreta nos tanques, que possuem fundo cônico e compartimento cilíndrico para seu depósito, como mostra a Figura 31.

**Figura 18 - Fundo cilíndrico dos tanques de decantação**



Fonte: Foto tirada durante a visita realizada à Sabesp (2017)

A areia depositada é removida pelo mecanismo do tipo parafuso, por meio do qual é transportada para um tubo coletor vertical até ser despejada em uma caçamba. O material armazenado na caçamba é encaminhado para o aterro diariamente.

**Figura 19 - Mecanismo do tipo parafuso para remoção de areia**



Fonte: Foto tirada durante a visita realizada à Sabesp (2017)



**Figura 20 - Tubo coletor e caçamba para armazenamento de areia residual**



Fonte: Foto tirada durante a visita realizada à Sabesp (2017)

#### **4.1.3 CLORAÇÃO**

Após a remoção de areia, antes do fluido ir para o emissário, é feita uma aplicação de cloro para a remoção de patógenos. O cloro é armazenado no recipiente branco representado na Figura 34, e sua aplicação pode ser regulada pelos registros menores representados na mesma imagem.



**Figura 21 – Armazenamento e aplicação de cloro**



Fonte: Foto tirada durante a visita realizada à Sabesp (2017)

#### **4.1.4 EMISSÁRIO E LANÇAMENTO**

Finalizados todos os processos descritos, o esgoto é encaminhado, ainda por gravidade, para o emissário, inicialmente terrestre e posteriormente marítimo. O emissário, que suporta a máxima vazão de  $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , atinge uma profundidade de 10 m, tem diâmetro de 1,75 m, contém tubo difusor de 400 m, é a estrutura responsável pelo aporte final do efluente tratado na EPC.

#### **4.2 DADOS DA CETESB**

Em visita à Professora Cláudia Condè Lamparelli, gerente do setor de Qualidade de Águas Litorâneas da CETESB, foram obtidos os dados de monitoramento dos 3 pontos próximos à saída do Emissário, descritos na seção 2.8

deste documento, para os anos de 2014, 2015 e 2016, para os meses de fevereiro e outubro - exceto para o ano de 2014, para o qual não há dados de outubro-, e para as profundidades superficial, média e fundo.

Foram utilizados os dados referentes ao ponto 2, por este ser o mais próximo ao Emissário. Com estes dados, foi feito o cálculo da média dos valores para as três profundidades, e os resultados estão descritos nas tabelas 24, 25, 26, 27 e 28, juntamente com os valores padrão da Resolução Conama 357/2005.

**Tabela 24 – Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2014**

Resultados de qualidade de água - Monitoramento marinho					
Local	Emissário de Santos	<u>18/02/14</u>			
Variáveis	Unidade	Padrões Conama 357/2005 (Classe 1/Salina)	MÉDIA		MÁXIMA
<b>Nutrientes</b>					
Carbono Orgânico Total	mg/L	3		2,80	3,66
Fósforo Total	mg/L	0,062		0,13	0,16
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,4	<	0,4067	< 0,57
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/L			1,43	1,73
Nitrogênio-Nitrato	mg/L	0,4	<	0,2667	< 0,38
Nitrogênio-Nitrato	mg/L	0,07	<	0,01	< 0,01
<b>Microbiológicos</b>					
Coliformes Termotolerantes	(UFC/100mL)	1000		1060	1500

Fonte: Dados fornecidos na visita à Cetesb.

**Tabela 25 - Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2015**

Resultados de qualidade de água - Monitoramento marinho					
Local	Emissário de Santos	<u>25/02/15</u>			
Variáveis	Unidade	Padrões Conama 357/2005 (Classe 1/Salina)	MÉDIA		MÁXIMA
<b>Nutrientes</b>					
Carbono Orgânico Total	mg/L	3		1,77	2,52
Fósforo Total	mg/L	0,062		0,09	0,15
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,4		0,16	0,27
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/L			1,02	1,06

Nitrogênio-Nitrato	mg/L	0,4	0,2	0,2
Nitrogênio-Nitrito	mg/L	0,07	0,1	0,1
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Termotolerantes	(UFC/100mL)	1000	20.453	55.000

Fonte: Dados fornecidos na visita à Cetesb

**Tabela 26 - Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2015**

Resultados de qualidade de água - Monitoramento marinho				
Local	Emissário de Santos	<u>07/10/15</u>		
Variáveis	Unidade	Padrões Conama 357/2005 (Classe 1/Salina)	MÉDIA	MÁXIMA
<b>Nutrientes</b>				
Carbono Orgânico Total	mg/L	3	1,59	2
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,07	0,13
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,4	0,19	0,29
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/L		0,82	1,14
Nitrogênio-Nitrato	mg/L	0,4	*	*
Nitrogênio-Nitrito	mg/L	0,07	*	*
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Termotolerantes	(UFC/100mL)	1000	348	900

Fonte: Dados fornecidos na visita à Cetesb

**Tabela 27 - Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2016**

Resultados de qualidade de água - Monitoramento marinho				
Local	Emissário de Santos	<u>17/02/16</u>		
Variáveis	Unidade	Padrões Conama 357/2005 (Classe 1/Salina)	MÉDIA	MÁXIMA
<b>Nutrientes</b>				
Carbono Orgânico Total	mg/L	3	8,3	11,2
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,0433	0,07
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,4	< 0,1	< 0,1
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/L		*	*
Nitrogênio-Nitrato	mg/L	0,4	< 0,2	< 0,2
Nitrogênio-Nitrito	mg/L	0,07	< 0,1	< 0,1

<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Termotolerantes	(UFC/100mL)	1000	440	630

Fonte: Dados fornecidos na visita à Cetesb

**Tabela 28 - Dados de monitoramento do Emissário de Santos em 2016**

Resultados de qualidade de água - Monitoramento marinho				
Local	Emissário de Santos	<u>04/10/16</u>		
Variáveis	Unidade	Padrões Conama 357/2005 (Classe 1/Salina)	MÉDIA	MÁXIMA
<b>Nutrientes</b>				
Carbono Orgânico Total	mg/L	3	2,4	2,68
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,07	0,08
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,4	0,2	0,23
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/L		0,5	0,5
Nitrogênio-Nitrato	mg/L	0,4	*	*
Nitrogênio-Nitrito	mg/L	0,07	*	*
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Termotolerantes	(UFC/100mL)	1000	909	2500

Fonte: Dados fornecidos na visita à Cetesb

## 5 CENÁRIOS

Os cenários que serão descritos consideram as simplificações explicadas na Seção 3.2.

Sua construção considera a combinação de 2 macro fatores: ressaca (presença ou ausência), e o comprimento do emissário (4 quilômetros, 5 quilômetros e 6 quilômetros). O ponto de emissão para a extensão de 4 quilômetros foi marcado considerando as coordenadas do ponto 2, especificadas na tabela 16. A partir deste ponto, e marcando o ponto em que o Emissário sai da Estação José Menino, foi feito o prolongamento de 1 e 2 quilômetros para georreferenciamento dos dois outros pontos de emissão. Para tal, foi utilizado o *Google Earth* que fornece as coordenadas X e Y dos pontos desejados, como mostra a figura 35. As coordenadas utilizadas no Delft, M e N, são obtidas quando o próprio *grid* mostra a equivalência de X e Y para M e N. O ponto que considera o prolongamento de 6 quilômetros foi considerado devido à sugestão indicada pelo Programa Onda Limpa, já citado

anteriormente neste documento na Seção 2.5.5.2. A partir dos pontos inicial e final, foi considerado um terceiro ponto, o qual caracteriza o comprimento de 5 quilômetros do emissário, no ponto médio entre eles, para uma análise intermediária.

**Figura 22 – Vista dos pontos de saída do Emissário de Santos**



Fonte: Adaptado do *Google Earth*

Desse modo, têm-se seis cenários criados e analisados, conforme a tabela 29.

**Tabela 29 – Especificações dos cenários**

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
Ressaca	Com Ressaca	Com Ressaca	Com Ressaca
Comprimento	4 km	6 km	5 km
	<b>Cenário 4</b>	<b>Cenário 5</b>	<b>Cenário 6</b>
Ressaca	Sem Ressaca	Sem Ressaca	Sem Ressaca
Comprimento	4 km	6 km	5 km

A determinação das componentes, vazão e concentração do parâmetro, para a composição dos cenários encontrou uma limitação. Não foi possível obter os dados documentados do efluente, e dessa forma optou-se por outras fontes para determiná-los.

A vazão adotada, leva em consideração a situação crítica de alta temporada, que foi verificada na visita técnica à EPC com os funcionários responsáveis pela operação da estação, descrita na seção 4.1. Para fins deste projeto, portanto, a vazão utilizada nas simulações será de 5 m<sup>3</sup>/s.

A partir da tese de Emília Arasaki, de 2004 e da tese de Samuel Hora Yang, de 2016, adotou-se valores de concentração aceitáveis para o lançamento de esgoto em condições semelhantes às de estudo. A concentração de E. coli foi determinada com base em um dos emissários existentes na Praia Grande.

A tabela 30 mostra as concentrações que foram adotadas nos cenários.

**Tabela 30 – Concentrações dos parâmetros de entrada**

<b>Variáveis</b>	<b>Concentrações</b>	
Carbono Orgânico Total	0,29	kg/m <sup>3</sup>
Nitrogênio Total	0.085	kg/m <sup>3</sup>
Nitrogênio Amoniacal	0,05	kg/m <sup>3</sup>
Nitrato	0,00379	kg/m <sup>3</sup>
Fósforo Total	0,015	kg/m <sup>3</sup>
E. coli	31400000000	NMP/m <sup>3</sup>

Fonte: (Adaptado de Arasaki, 2004, e Yang, 2016)

## **6 METODOLOGIA E ANÁLISE**

Com as simulações feitas no Delft 3D, foram obtidos dois tipos de resultado: a dispersão da pluma ao longo do tempo (visão 2D), e as concentrações das seis variáveis ao longo do tempo nos pontos de amostragem determinados na Seção 3.3.1. A partir destes resultados, determinou-se uma metodologia de análise, cujas etapas serão explicadas neste item.

## 6.1 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta etapa inicial, foi feita a extração por meio do programa *Quick Plot* dos resultados dos 24 pontos para o formato .csv, possibilitando a análise dos dados através de tabelas do *Excel*. Como foram simulados 6 cenários, e sabendo que foram analisadas seis variáveis (Carbono Orgânico Total (COT), Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Total, Nitrogênio-Nitrato e *Escherichia coli*), há 36 arquivos para cada ponto.

O critério utilizado para escolha dos pontos a serem analisados, dentre os 24 que foram inicialmente distribuídos de forma a garantir uniformidade, considerou pontos que avaliassem tanto a balneabilidade como a qualidade das águas.

Os pontos representativos de balneabilidade foram selecionados próximos da costa, pois seguem a linha padrão de monitoramento da Cetesb, companhia que regula as condições ambientais no Estado de São Paulo. Os pontos escolhidos para a análise, seguindo este critério, foram os pontos 1, 2, 3 e 4 apresentados na tabela 31.

Quanto ao critério de qualidade das águas adotou-se os pontos 5, 6, 7 e 8 apresentados na tabela 31, pois formam uma linha de monitoramento na qual foi verificada presença da pluma na maior parte do tempo, além de apresentarem certa simetria em relação ao eixo dos três comprimentos do emissário.

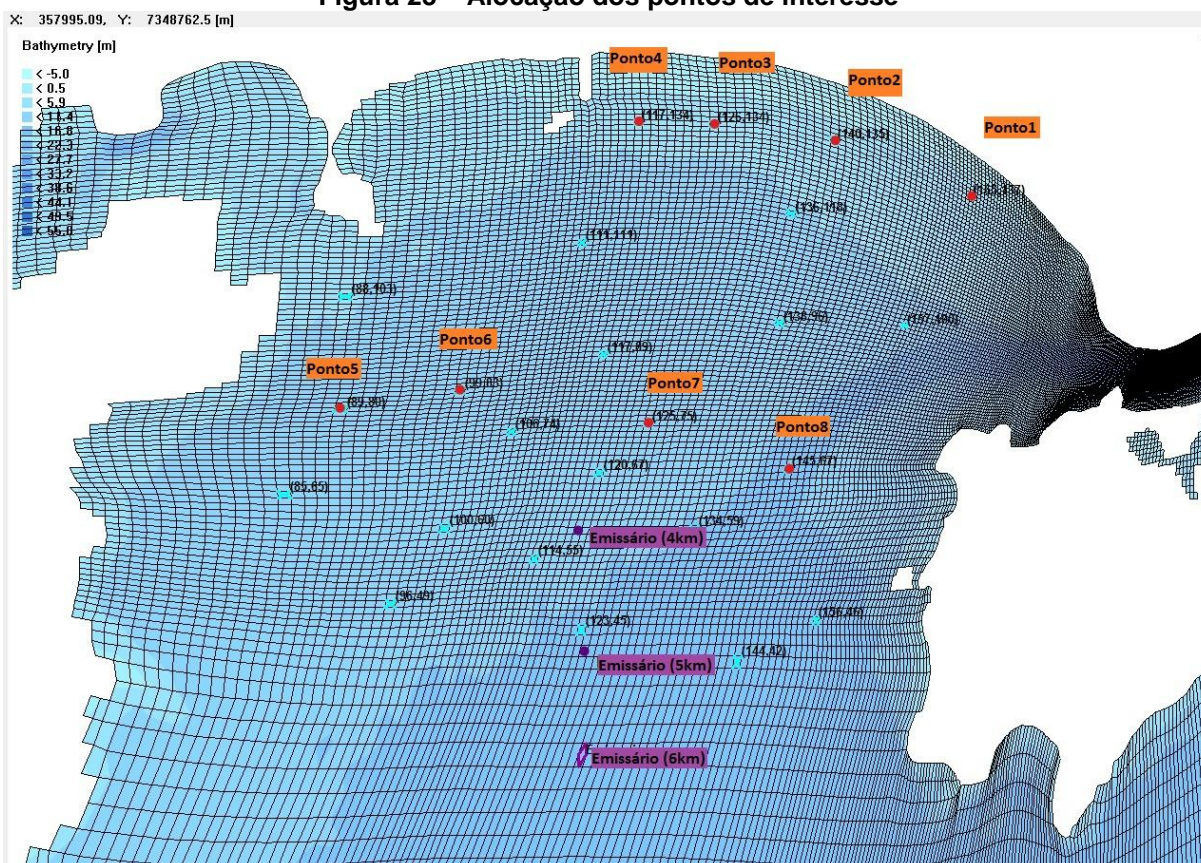
Os oito pontos estão distribuídos conforme está representado na figura 36.

**Tabela 31 – Pontos de análise**

<b>Balneabilidade: E. coli</b>		<b>Qualidade da Água: (5 variáveis restantes)</b>	
Ponto 1	(165,137)	Ponto 5	(89,80)
Ponto 2	(140,135)	Ponto 6	(99,83)
Ponto 3	(126,134)	Ponto 7	(125,75)
Ponto 4	(117, 134)	Ponto 8	(145,67)



**Figura 23 – Alocação dos pontos de interesse**



Fonte: Adaptado Delft 3D

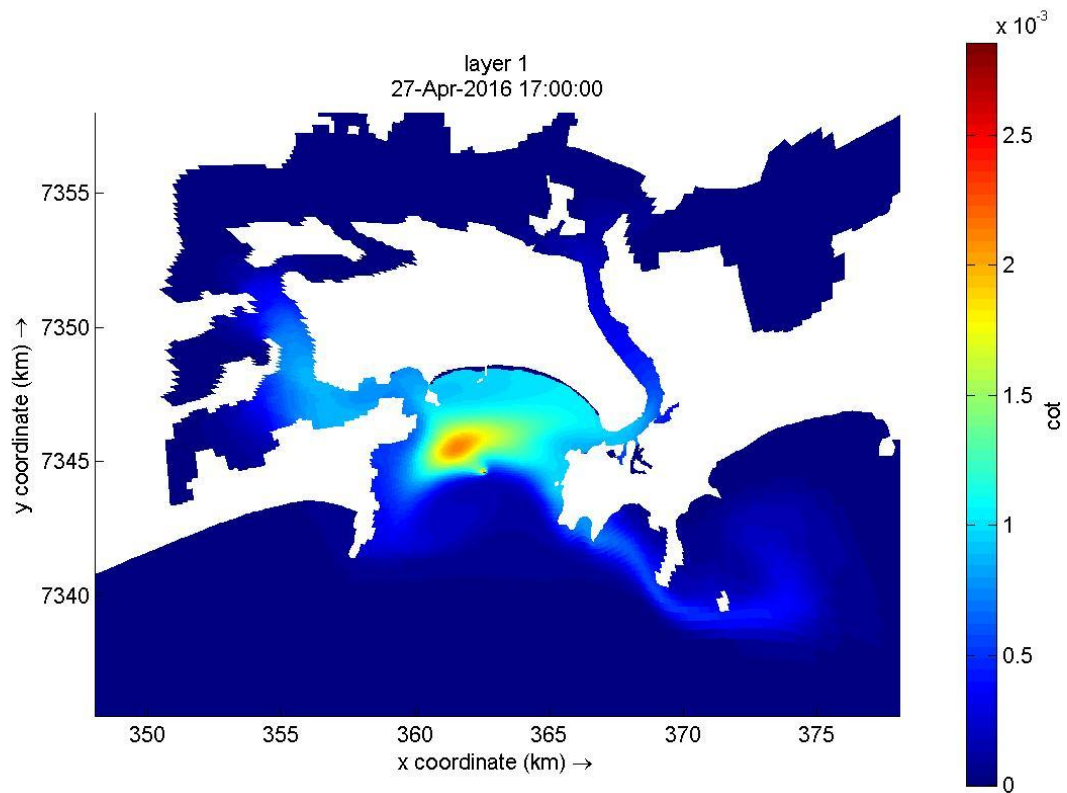
### 6.1.1 ANÁLISE DA PLUMA

A primeira etapa de análise consiste na observação da pluma de contaminação para cada um dos seis cenários. O *Quick Plot* possui o recurso de *Quick Animate*, no qual se pode visualizar o comportamento da pluma no intervalo de tempo adotado nas simplificações desse projeto. Ao identificar o instante de maior área de influência, o recurso *Quick View* fornece a imagem da pluma no dado instante, conforme está representado nas figuras de 37 a 42, para cada cenário.

Vale ressaltar que a cor da escala de cada uma das figuras não faz qualquer tipo de relação com os limites de concentração do Conama. Será feita a comparação do alcance da pluma de poluentes.



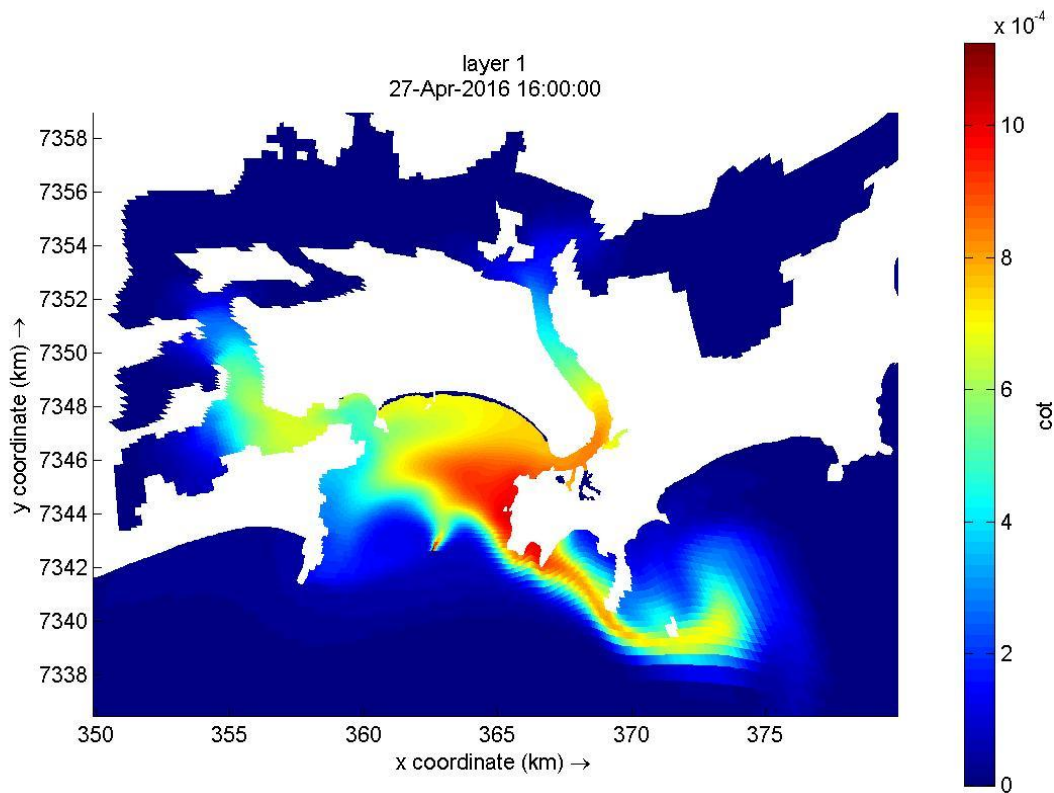
**Figura 24 - Pluma crítica do cenário 1**



Fonte: Delft 3D

Nota-se que a pluma crítica do cenário 1, de extensão 4 km, é mais confinada dentro da Baía de Santos. E há uma tendência de entrada de concentração de carbono orgânico total no Estuário de Santos e no Mar Pequeno.

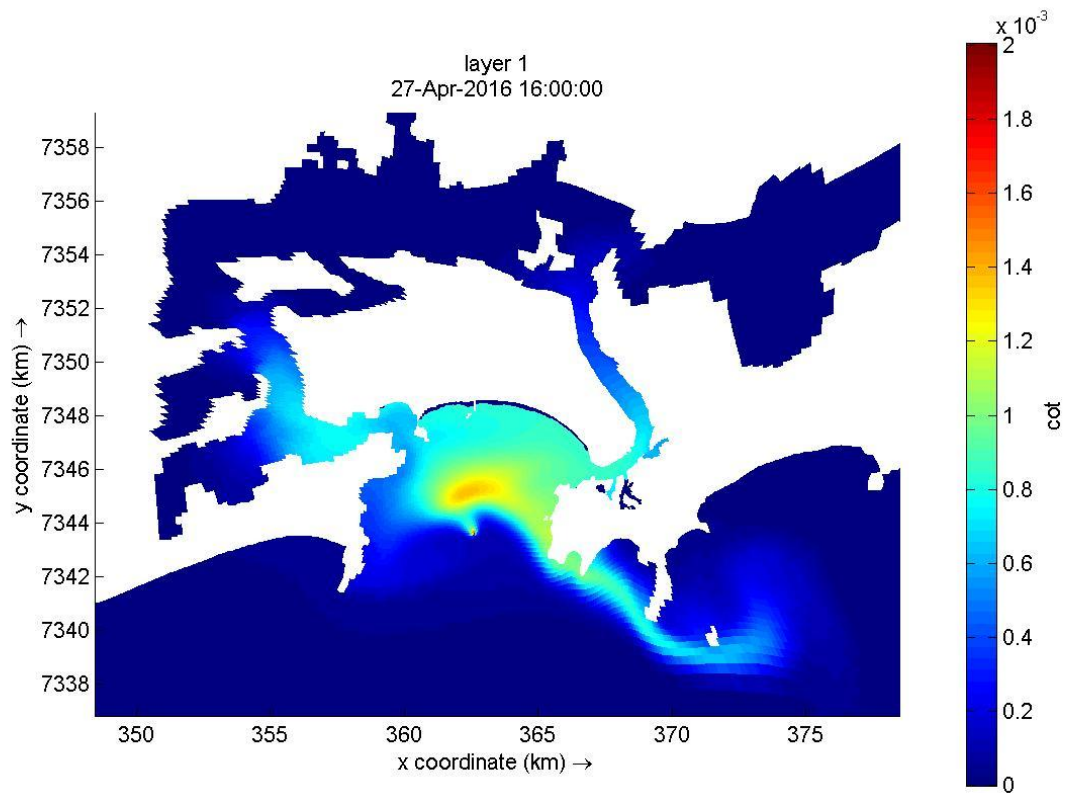
**Figura 25 - Pluma crítica do cenário 2**



Fonte: Delft 3D.

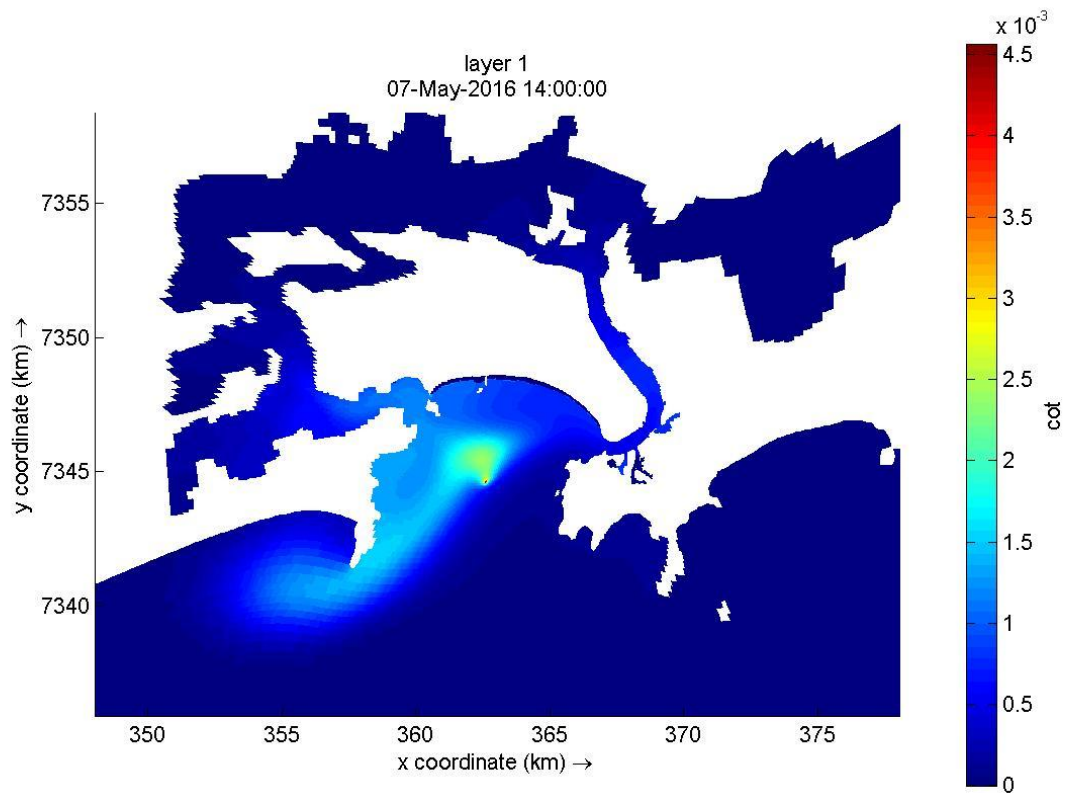
No cenário 2, cujo emissário tem a extensão de 6 km, a pluma crítica avança na direção do Guarujá, e adentra ainda mais o Estuário de Santos e o Mar Pequeno. Nota-se, assim, que para esse comprimento a pluma ultrapassa os limites da Baía de Santos.

**Figura 26 - Pluma crítica do cenário 3**



Fonte: Delft 3D

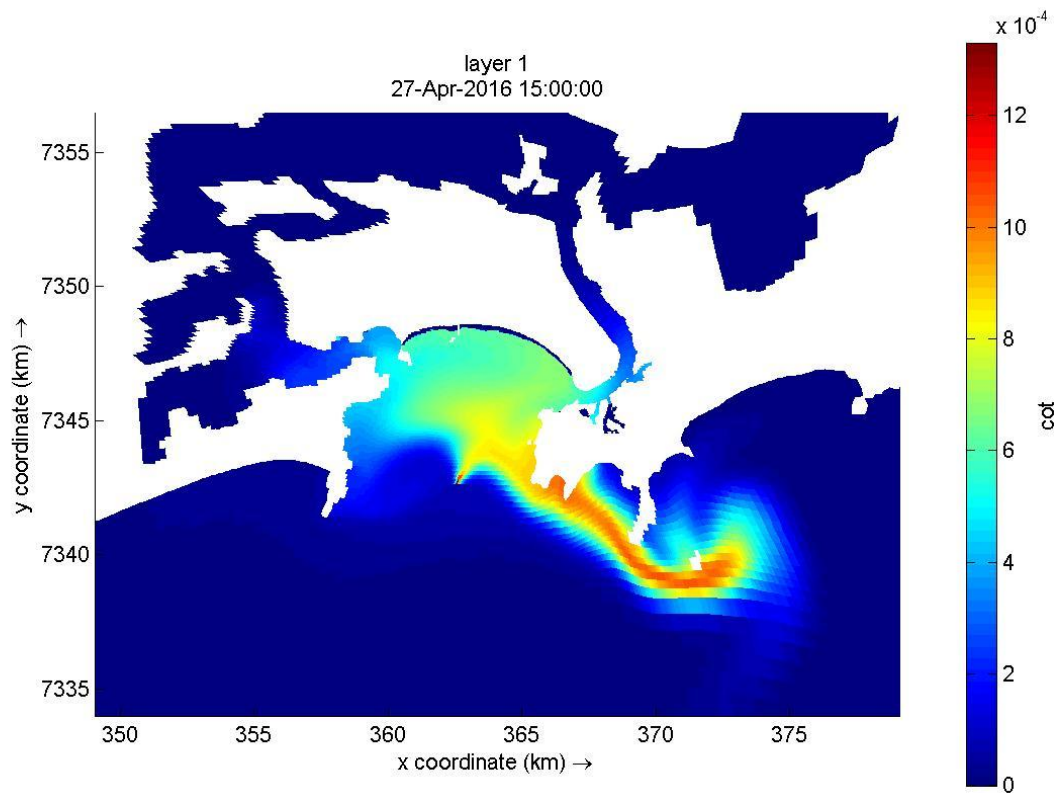
A pluma crítica do cenário 3, cujo emissário possui a extensão de 5 km, apresenta uma situação intermediária, com uma pluma confinada e que avança ligeiramente em direção ao Guarujá.

**Figura 27 - Pluma crítica do cenário 4**

Fonte: Delft 3D

No cenário 4, cujo emissário tem a extensão de 4 km e está na condição sem ressaca, a pluma crítica é mais fraca e avança na direção da Praia Grande.

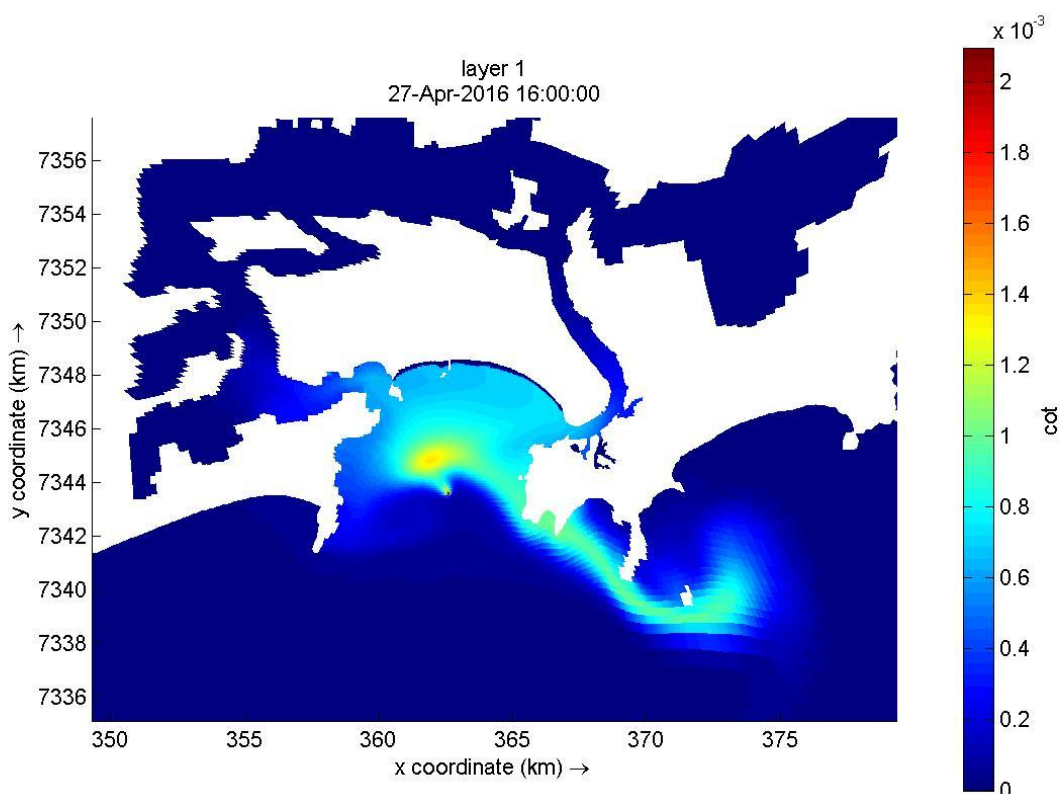
**Figura 28 - Pluma crítica do cenário 5**



Fonte: Delft 3D

No cenário 5, assim como no de número 2, de extensão 6 km, a pluma crítica ultrapassa os limites da Baía de Santos e avança na direção do Guarujá.

**Figura 29 - Pluma crítica do cenário 6**



Fonte: Delft 3D

O cenário 6, sem ressaca, é semelhante ao de número 3, com ressaca. Com um comprimento de 5 km, a pluma de poluentes fica em parte confinada na Baía de Santos e avança parcialmente em direção ao Guarujá.

### 6.1.2 ANÁLISE GRÁFICA

A segunda etapa de análise consiste na comparação gráfica e quantitativa para os oito pontos. É importante ressaltar que as variáveis decaem da mesma forma, pois foi adotada a simplificação de decaimento conservativo para todas, exceto para a E. coli. Isto é exemplificado na tabela 32, que mostra que os máximos ocorrem na mesma data e horário para todas as variáveis.

Assim, na análise de qualidade da água, adotou-se uma das cinco variáveis para avaliar a diferença entre os três comprimentos, para cada um dos quatro pontos designados. Foi escolhido o Carbono Orgânico Total (COT).

Tabela 32 - Concentração máxima das variáveis

Concentração máxima das variáveis (kg/m³)							
Ponto	Comprimento	COT	N Total	N Amoniacal	Nitrato	Fósforo	Data
Ponto 4	4 km	0,001778	0,000521	0,000306	0,000023	0,000092	01/05/2016 01:35
	5 km	0,001098	0,000322	0,000189	0,000014	0,000052	27/04/2016 19:05
	6 km	0,000823	0,000241	0,000142	0,000011	0,000043	07/05/2016 18:30
Ponto 5	4 km	0,002060	0,000604	0,000355	0,000027	0,000107	06/05/2016 15:30
	5 km	0,001324	0,000388	0,000228	0,000017	0,000068	07/05/2016 16:40
	6 km	0,000976	0,000286	0,000168	0,000013	0,000051	07/05/2016 17:05
Ponto 6	4 km	0,002439	0,000715	0,000420	0,000032	0,000126	27/04/2016 04:55
	5 km	0,001697	0,000497	0,000293	0,000022	0,000088	06/05/2016 14:35
	6 km	0,001194	0,0003499	0,000206	0,000016	0,000062	25/04/2016 17:55
Ponto 7	4 km	0,001848	0,0005416	0,000319	0,000024	0,000095	04/05/2016 23:55
	5 km	0,001495	0,0004383	0,000258	0,000020	0,000077	04/05/2016 14:05
	6 km	0,001295	0,000380	0,000223	0,000017	0,000067	27/04/2016 05:40

Foram analisados, para cada ponto, as concentrações considerando os três comprimentos de emissário, primeiro com ressaca e depois sem ressaca.

As figuras de 43 a 50 mostram como ocorre o espalhamento de COT para os três comprimentos de emissário trabalhados neste projeto, para os pontos de 5 a 8.

Assim, as tabelas de 33 a 36 apresentam o valor médio e o máximo para cada cenário, juntamente com a data de ocorrência da concentração máxima.

Figura 30 - Espalhamento de COT no ponto 5, com ressaca

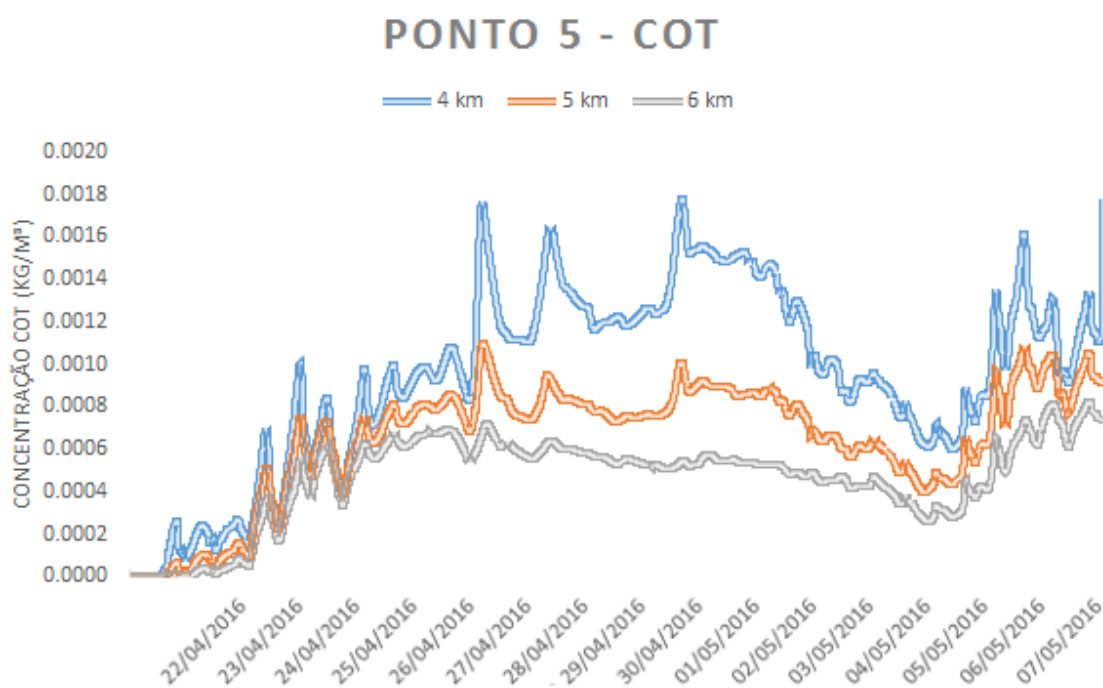


Figura 31 - Espalhamento de COT no ponto 5, sem ressaca

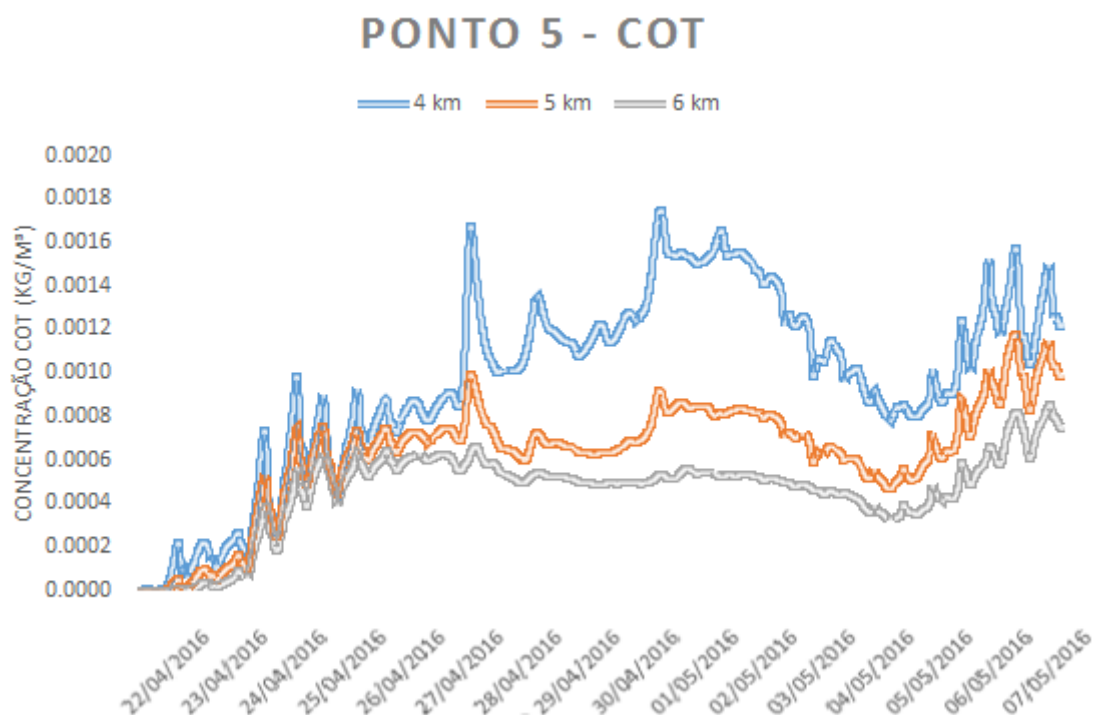
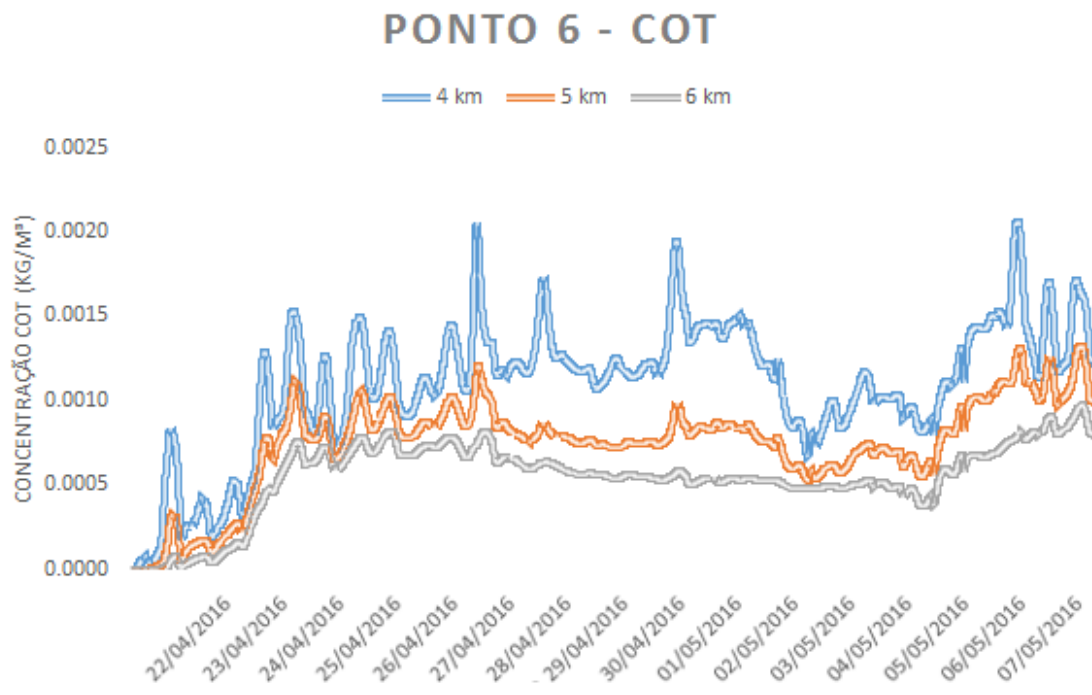


Tabela 33 - Valores médio e máximo de COT para ponto 5

Concentração COT (kg/m³) - Ponto 5			
Com ressaca			
Comprimento	Valor médio	Valor máximo	Data Máximo
4 km	0.00094	0.00178	01/05/2016
5 km	0.00065	0.0011	27/04/2016
6km	0.00047	0.00082	07/05/2016
Sem ressaca			
Comprimento	Valor médio	Valor máximo	Data Máximo
4 km	0.00096138	0.00175095	01/05/2016
5 km	0.000625165	0.00117784	07/05/2016
6km	0.000455036	0.000851209	07/05/2016



**Figura 32 - Espalhamento de COT no ponto 6, com ressaca**



**Figura 33 - Espalhamento de COT no ponto 6, sem ressaca**

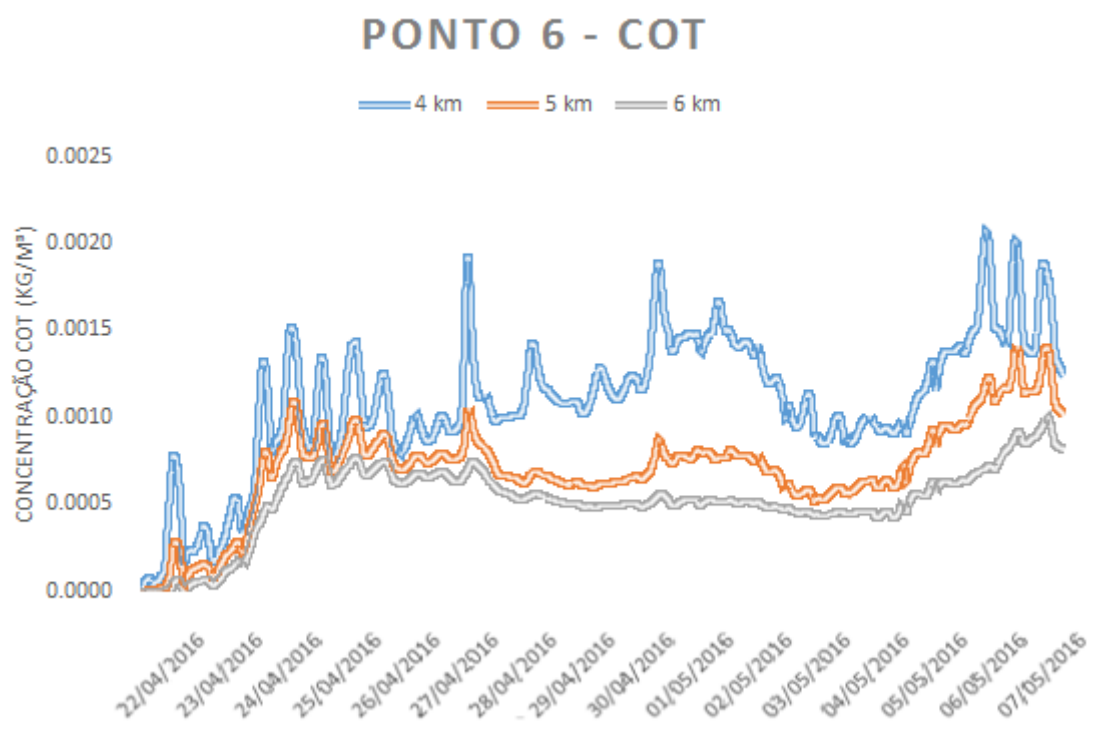


Tabela 34 - Valores médio e máximo de COT para ponto 6

Concentração COT (kg/m <sup>3</sup> ) - Ponto 6			
<i>Com ressaca</i>			
Comprimento	Valor médio	Valor máximo	Data Máximo
4 km	0.0011	0.00206	06/05/2016
5 km	0.00075	0.00132	07/05/2016
6 km	0.00055	0.00098	07/05/2016
<i>Sem ressaca</i>			
Comprimento	Valor médio	Valor máximo	Data Máximo
4 km	0.001087454	0.00206292	06/05/2016
5 km	0.00070316	0.00140734	07/05/2016
6 km	0.000522249	0.000993551	07/05/2016

Figura 34 - Espalhamento de COT no ponto 7, com ressaca

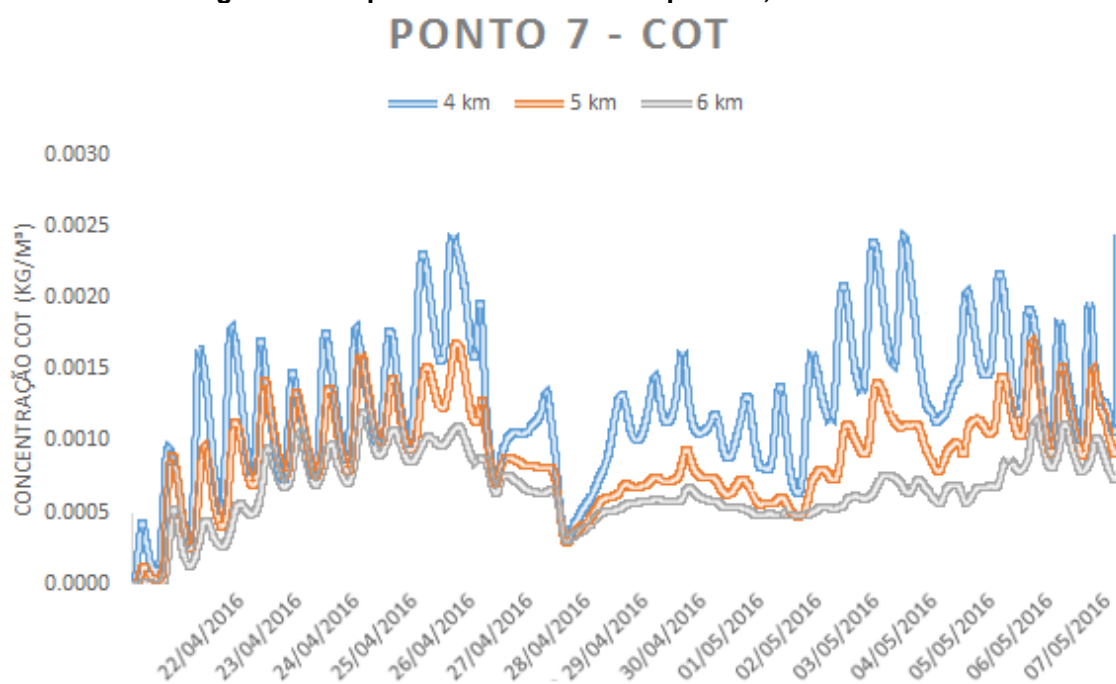


Figura 35 - Espalhamento de COT no ponto 7, sem ressaca

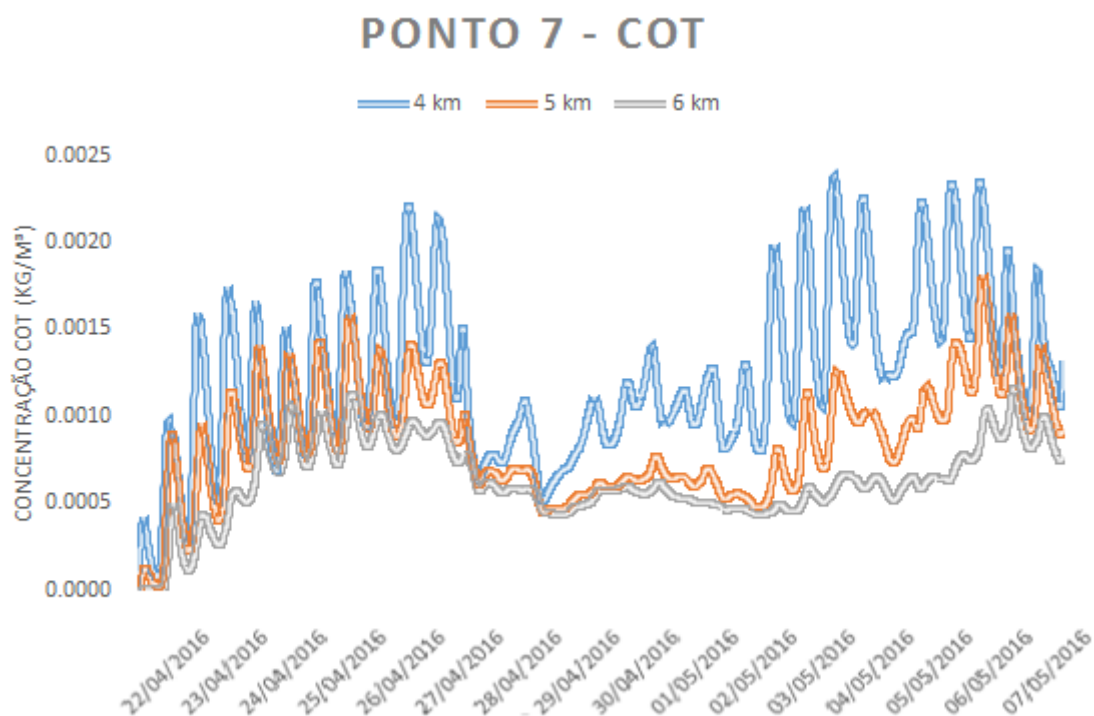


Tabela 35 - Valores médio e máximo de COT para ponto 7

Concentração COT (kg/m³) - Ponto 7			
Com ressaca			
Comprimento	Valor médio	Valor máximo	Data Máximo
4 km	0.00126	0.00244	27/04/2016
5 km	0.0009	0.0017	06/05/2016
6km	0.00066	0.00119	25/04/2016
Sem ressaca			
Comprimento	Valor médio	Valor máximo	Data Máximo
4 km	0.00123717	0.00237394	04/05/2016
5 km	0.00085071	0.00181416	06/05/2016
6km	0.00062759	0.00115442	07/05/2016

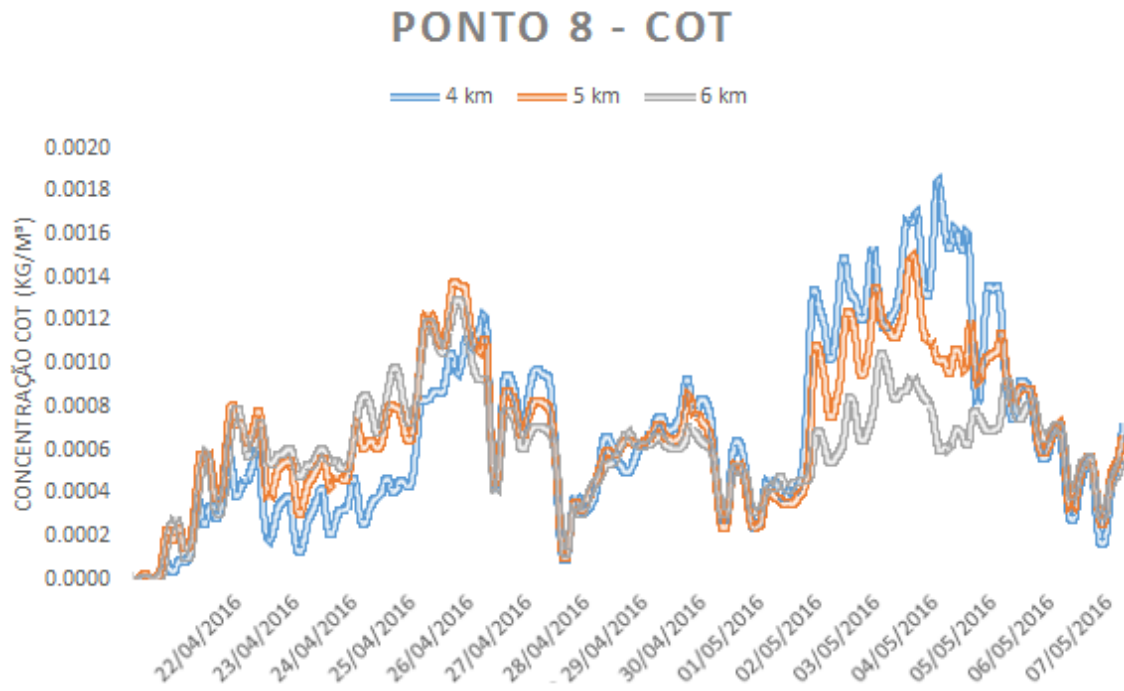
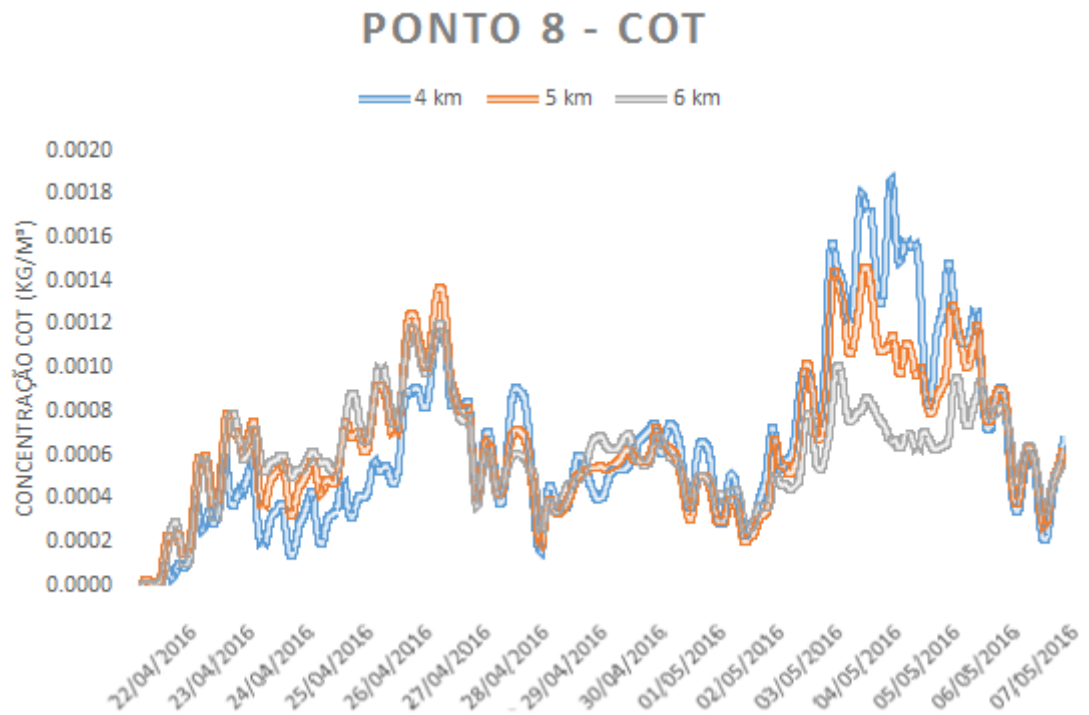
**Figura 36 - Espalhamento de COT no ponto 8, com ressaca****Figura 37 - Espalhamento de COT no ponto 8, sem ressaca**

Tabela 36 - Valores médio e máximo de COT para ponto 8

<b>Concentração COT (kg/m<sup>3</sup>) - Ponto 8</b>			
<i>Com ressaca</i>			
<b>Comprimento</b>	<b>Valor médio</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Data Máximo</b>
<b>4 km</b>	0.00068	0.00185	04/05/2016
<b>5 km</b>	0.00069	0.0015	04/05/2016
<b>6km</b>	0.00062	0.0013	27/04/2016
<i>Sem ressaca</i>			
<b>Comprimento</b>	<b>Valor médio</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Data Máximo</b>
<b>4 km</b>	0.0006516	0.00186513	05/05/2016
<b>5 km</b>	0.00065562	0.00146385	04/05/2016
<b>6km</b>	0.00059884	0.00120525	27/04/2016

Verifica-se que os comprimentos de 5 e 6 quilômetros propostos, reduzem a concentração de poluente para todos os pontos em questão.

Observa-se também que para ambos os gráficos do ponto 8, ao analisar a integral das três curvas, ou os valores médios destas, os valores são relativamente próximos, apesar do máximo ainda se encontrar no cenário 1. Isto demonstra que, para este ponto de monitoramento, o efeito da mudança de comprimento foi menor.

Verifica-se que, globalmente, não há grandes diferenças entre os cenários com ressaca e os cenários sem ressaca correspondentes.

As figuras 51 a 54 têm como objetivo comparar os valores máximos dos parâmetros atingidos no melhor caso (cenário 2, cujo comprimento do emissário é de 6 km e não é considerada a ressaca) e no pior caso (cenário 4, cujo comprimento do emissário é de 4 km e é considerada a ressaca), para os pontos de 5 a 8, com os limites da Resolução Conama 357/05. E as tabelas de 37 a 40, mostram o desvio padrão da concentração em relação à mesma Resolução Conama, nos casos descritos.

Figura 38 - Concentração máxima de COT

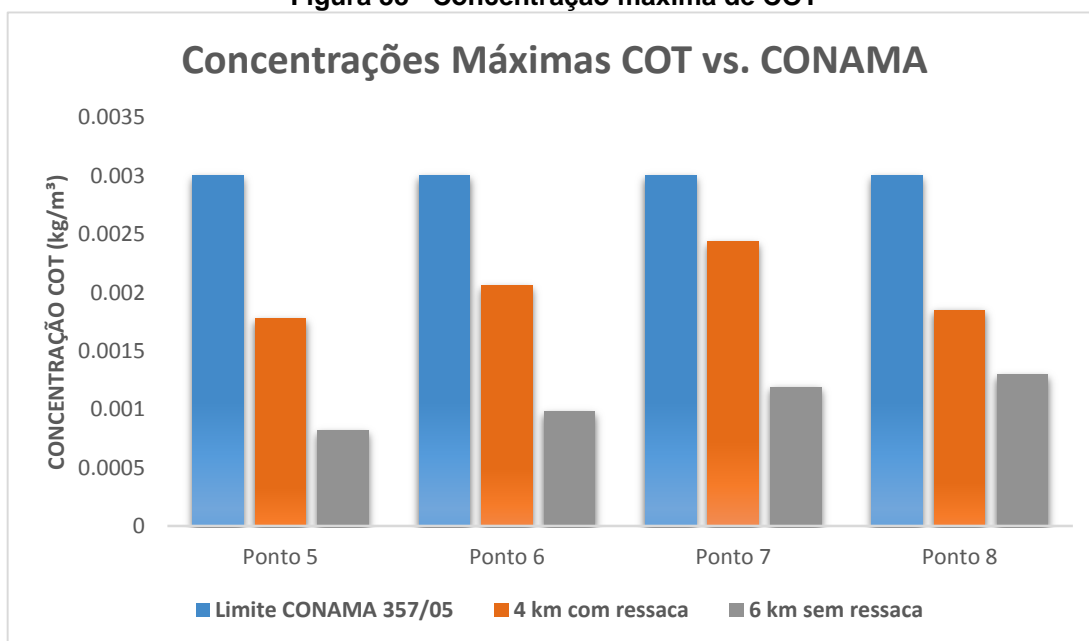


Tabela 37 – COT comparado com Conama

COT (kg/m³)	Limite CONAMA 357/05	4 km com ressaca	% CONAMA	6 km sem ressaca	% CONAMA
Ponto 5	0.003	0.001778	59%	0.000851	28%
Ponto 6	0.003	0.00206	69%	0.000994	33%
Ponto 7	0.003	0.002539	85%	0.001154	38%
Ponto 8	0.003	0.001848	62%	0.001205	40%

A presença de carbono orgânico total indica a presença de matéria orgânica, o que pode ser um indicativo da ocorrência de eutrofização no meio. Na análise, o COT encontra-se abaixo do limite Conama, e demonstra melhoria para o comprimento de 6 km.

Figura 39 - Concentração máxima de Fósforo Total

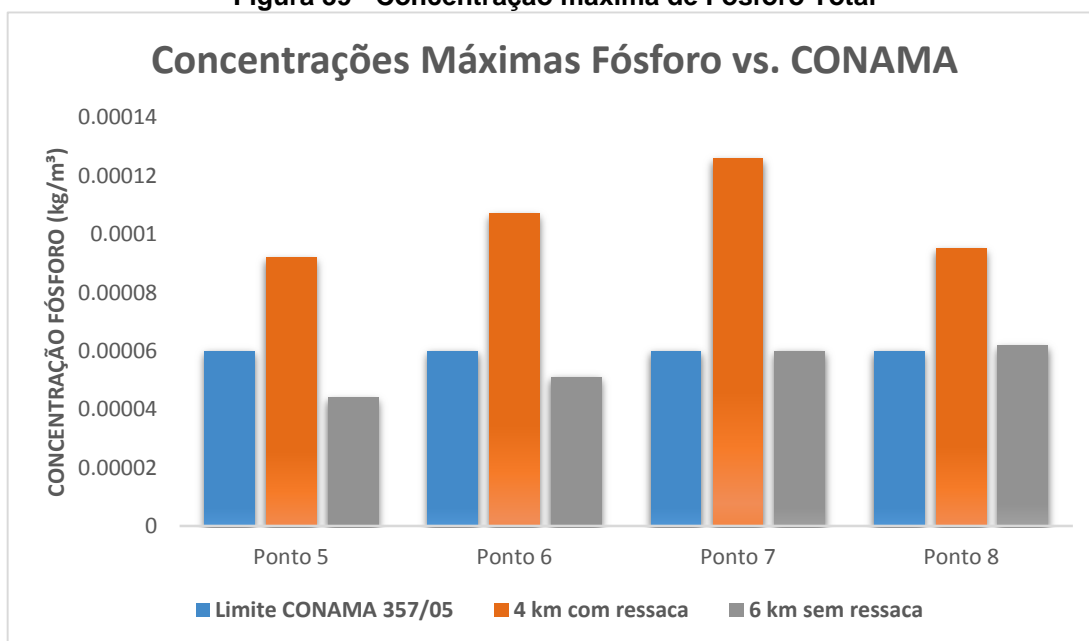


Tabela 38 – Fósforo Total comparado com Conama

Fósforo total (kg/m³)	Limite CONAMA	4 km com ressaca	% CONAMA	6 km sem ressaca	% CONAMA
<b>Ponto 5</b>	0.00006	0.000092	153%	0.000044	73%
<b>Ponto 6</b>	0.00006	0.000107	178%	0.000051	86%
<b>Ponto 7</b>	0.00006	0.000126	210%	0.000060	100%
<b>Ponto 8</b>	0.00006	0.000095	158%	0.000062	104%

Altas concentrações de fósforo, dentre outros nutrientes, provocam o enriquecimento do meio e o tornam mais fértil e propício para o crescimento de seres vivos que o utilizam metabolicamente, o que leva à proliferação de algas e microrganismos, e pode acarretar a eutrofização. O crescimento exagerado de populações de algas traz prejuízos aos usos das águas. O controle de fósforo é de grande importância no controle da eutrofização (Qualidade das águas e poluição, Piveli, 2017). Nesta análise, verifica-se que, para o comprimento de 4 km, o valor excede significativamente o limite da resolução, e que, quando comparado ao emissário de 6 km, a melhoria é considerável mas ainda apresenta nos pontos 7 e 8 resultados máximos praticamente iguais ao limite.

Figura 40 - Concentração máxima de N Amoniacal

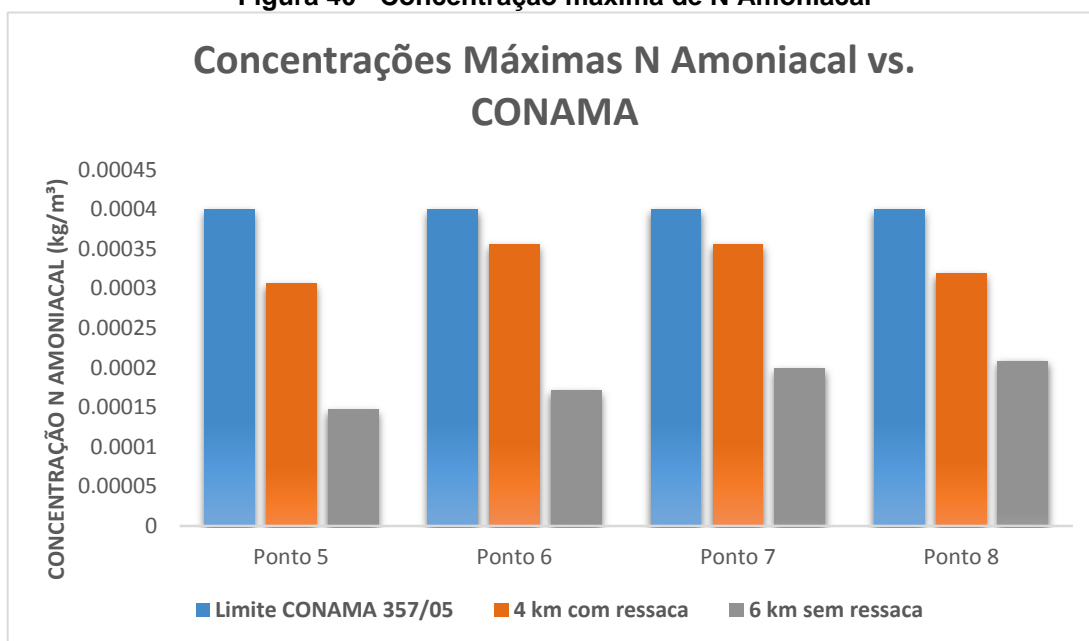


Tabela 39 – N-Amoniacal comparado com Conama

N Amoniacal (kg/m³)	Limite CONAMA	4 km com ressaca	% CONAMA	6 km sem ressaca	% CONAMA
<b>Ponto 5</b>	0.0004	0.000306	77%	0.000147	37%
<b>Ponto 6</b>	0.0004	0.000355	89%	0.000171	43%
<b>Ponto 7</b>	0.0004	0.000355	89%	0.000199	50%
<b>Ponto 8</b>	0.0004	0.000319	80%	0.000208	52%

A amônia é um composto de alta toxicidade para a vida dos peixes, além de consumir muito oxigênio dissolvido em sua oxidação, prejudicando a qualidade do meio (Qualidade das águas e poluição, Piveli, 2017). Para o nitrogênio amoniacal, a extensão do emissário também trouxe resultados positivos para os pontos analisados.



Figura 41 - Concentração máxima de Nitrato

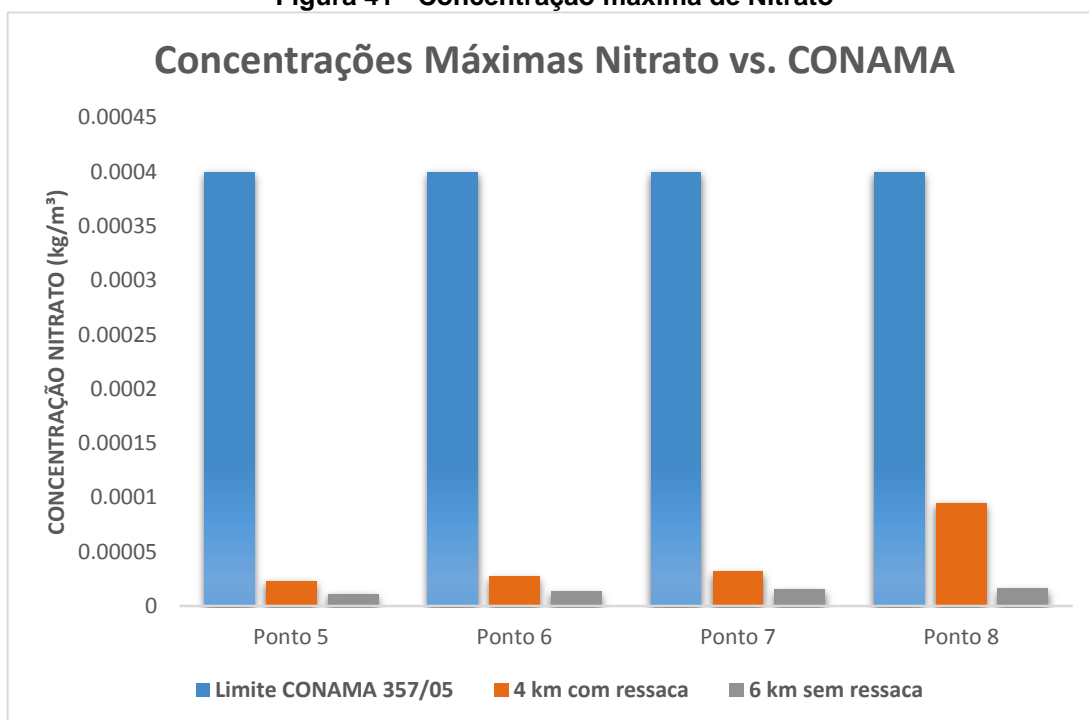


Tabela 40 – Nitrato comparado com Conama

Nitrato (kg/m³)	Limite CONAMA	4 km com ressaca	% CONAMA	6 km sem ressaca	% CONAMA
<b>Ponto 5</b>	0.0004	0.000023	6%	0.000011	3%
<b>Ponto 6</b>	0.0004	0.000027	7%	0.000013	3%
<b>Ponto 7</b>	0.0004	0.000032	8%	0.000015	4%
<b>Ponto 8</b>	0.0004	0.000095	24%	0.000016	4%

A concentração de nitrato encontra-se controlada, o que é de extrema importância pois ele é um parâmetro que, quando em alta concentração, pode causar uma doença letal em crianças (metahemoglobinemia infantil). (Portal da Qualidade das Águas, 2017).

A análise de balneabilidade nos quatro pontos próximos da costa levou em consideração apenas o parâmetro E. coli, e para este caso, avaliou-se também, a diferença entre os três comprimentos, para cada um dos quatro pontos designados.

As figuras 55 a 62 mostram como ocorre o espalhamento de E.coli para os três comprimentos de emissário trabalhados neste projeto, para os pontos de 1 a 4.

Figura 42 - Espalhamento de E. coli no ponto1, com ressaca

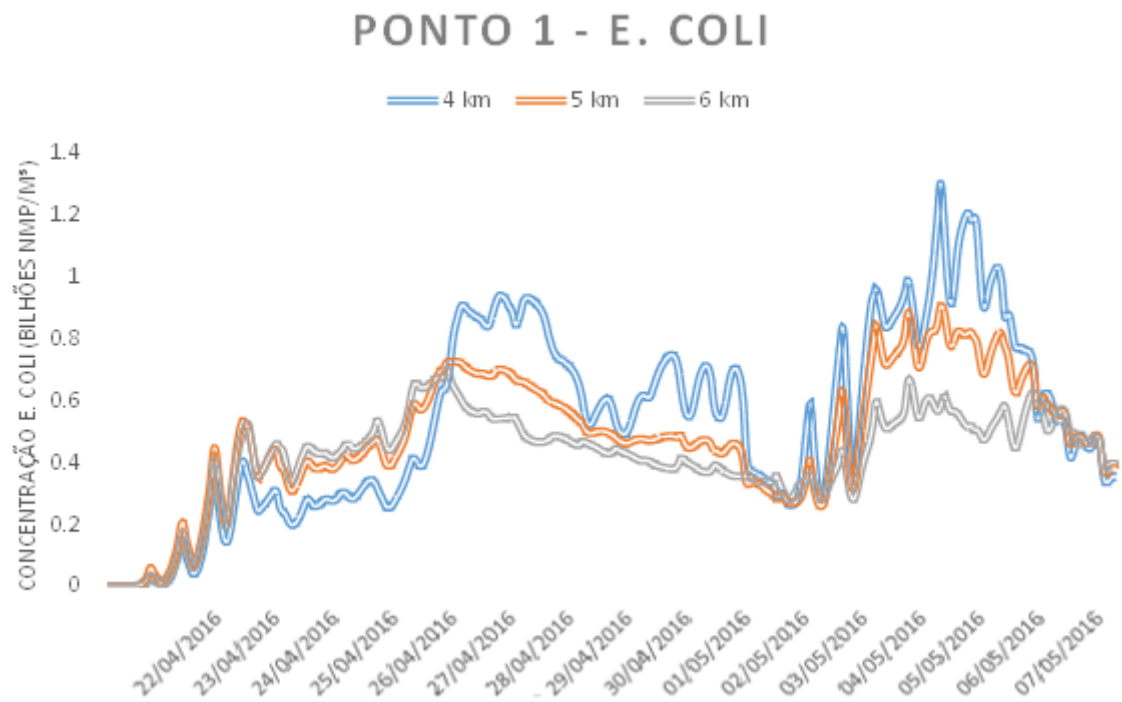


Figura 43 - Espalhamento de E. coli no ponto 1, sem ressaca

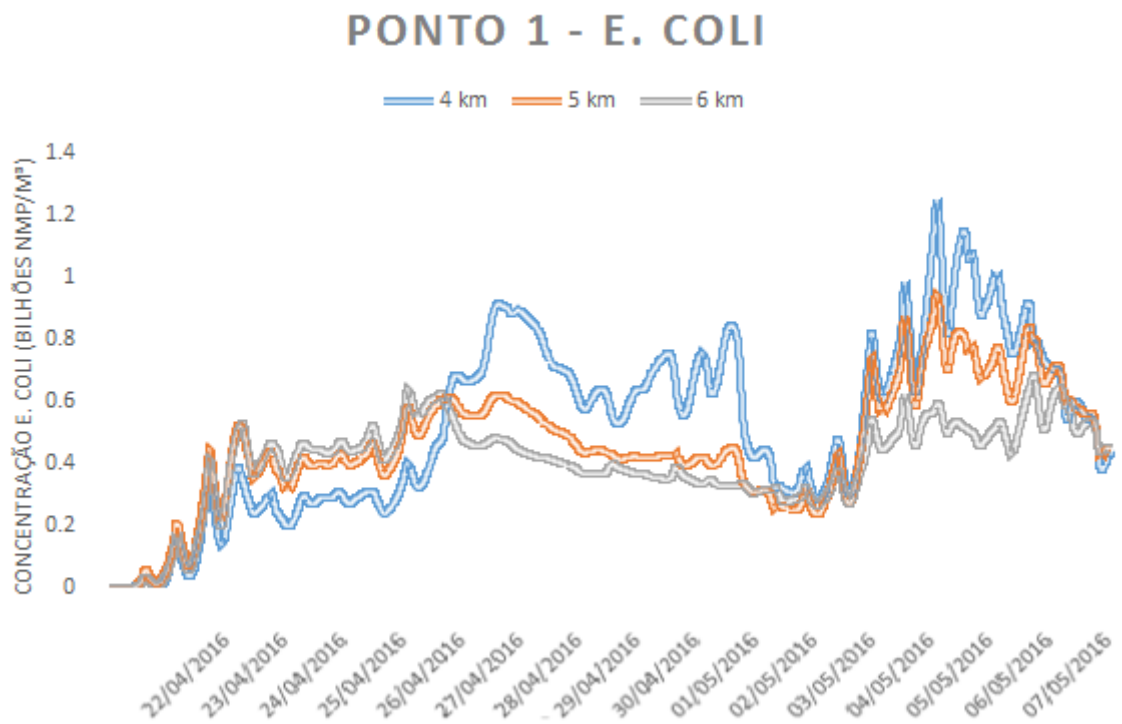


Figura 44 - Espalhamento de E. coli no ponto 2, com ressaca

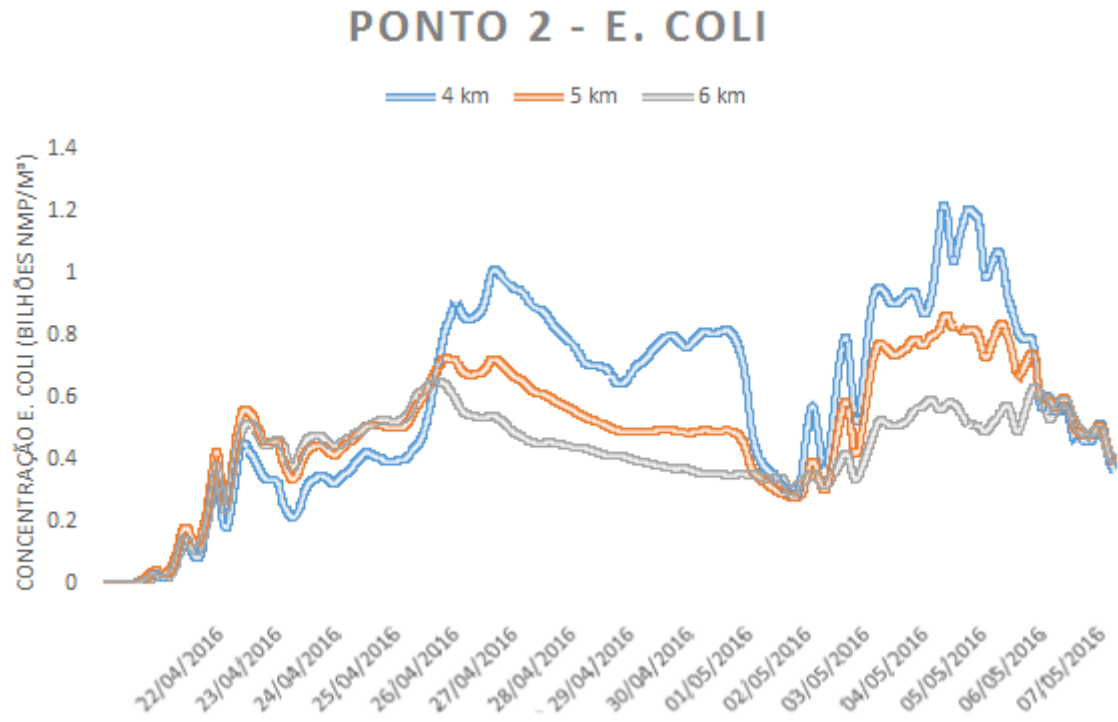


Figura 45 - Espalhamento de E. coli no ponto 2, sem ressaca

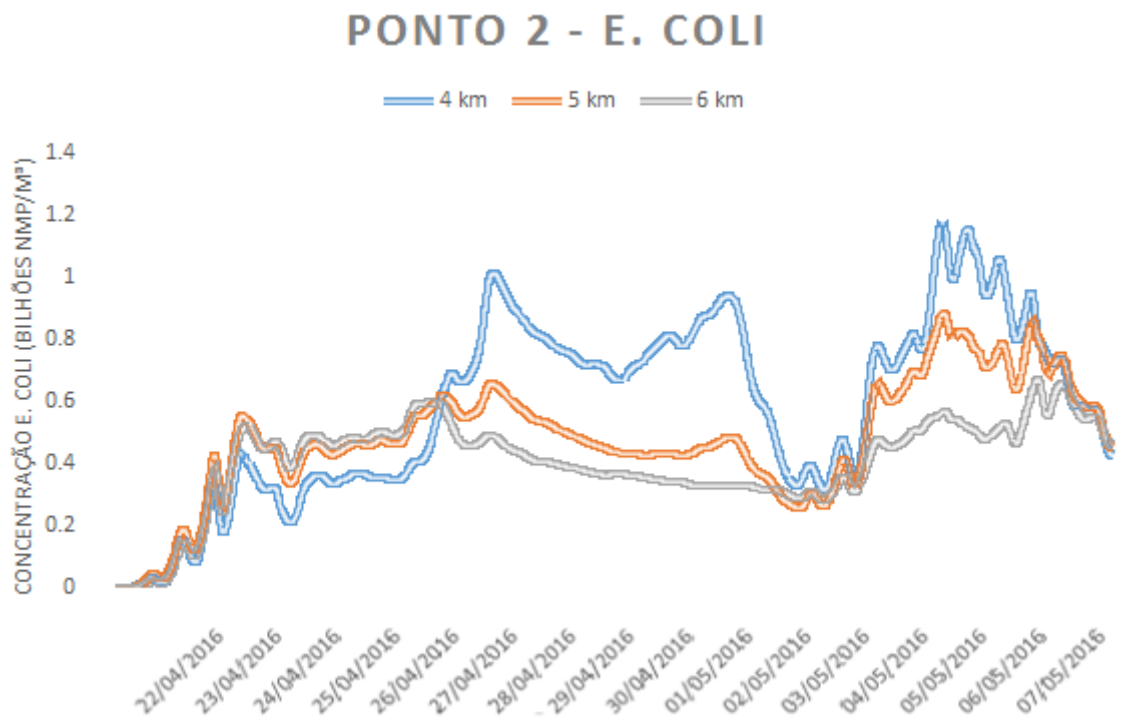


Figura 46 - Espalhamento de E. coli no ponto 3, com ressaca

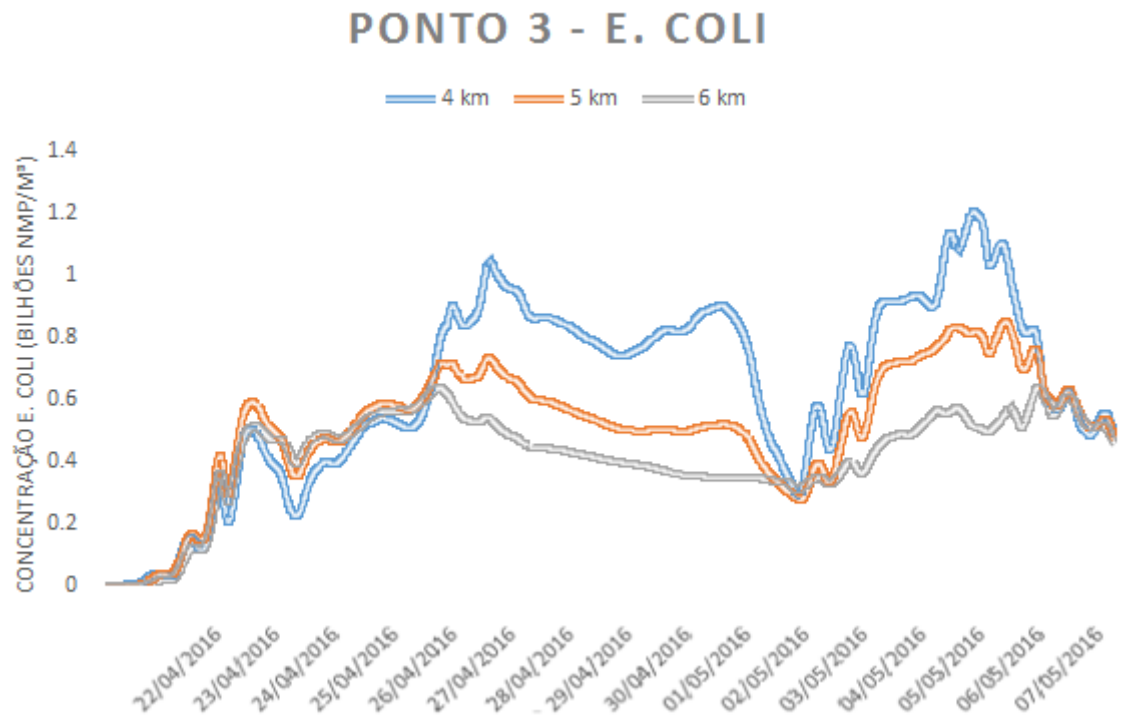


Figura 47 - Espalhamento de E. coli no ponto 3, sem ressaca

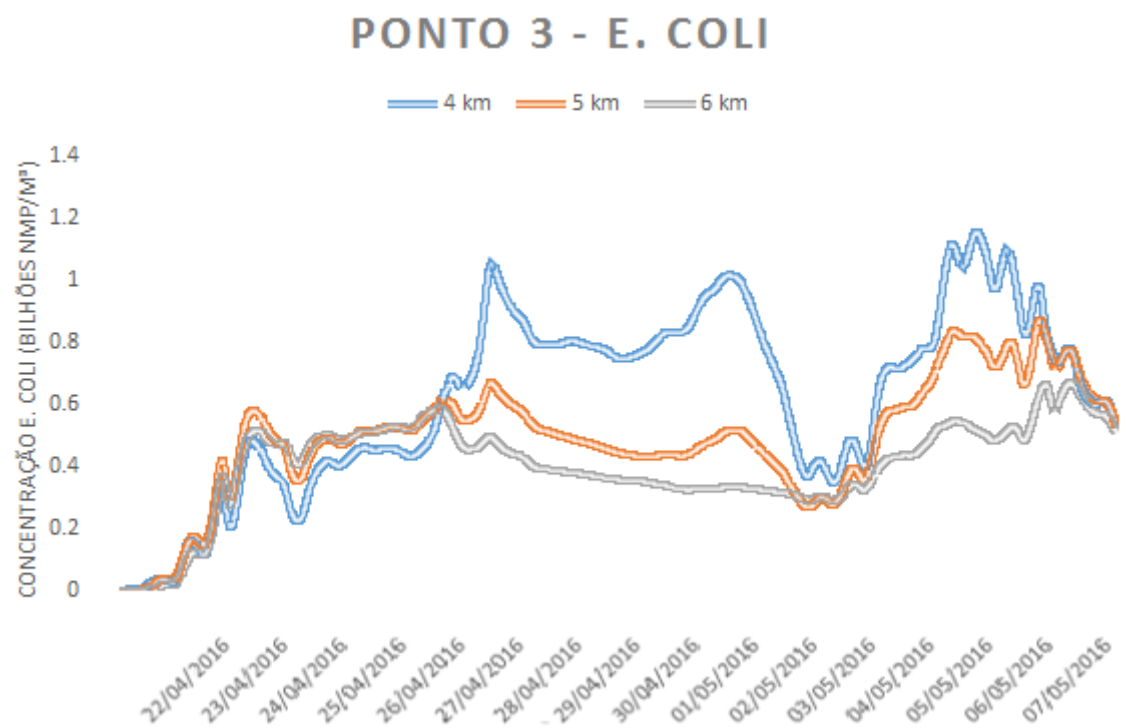


Figura 48 - Espalhamento de E. coli no ponto 4, com ressaca

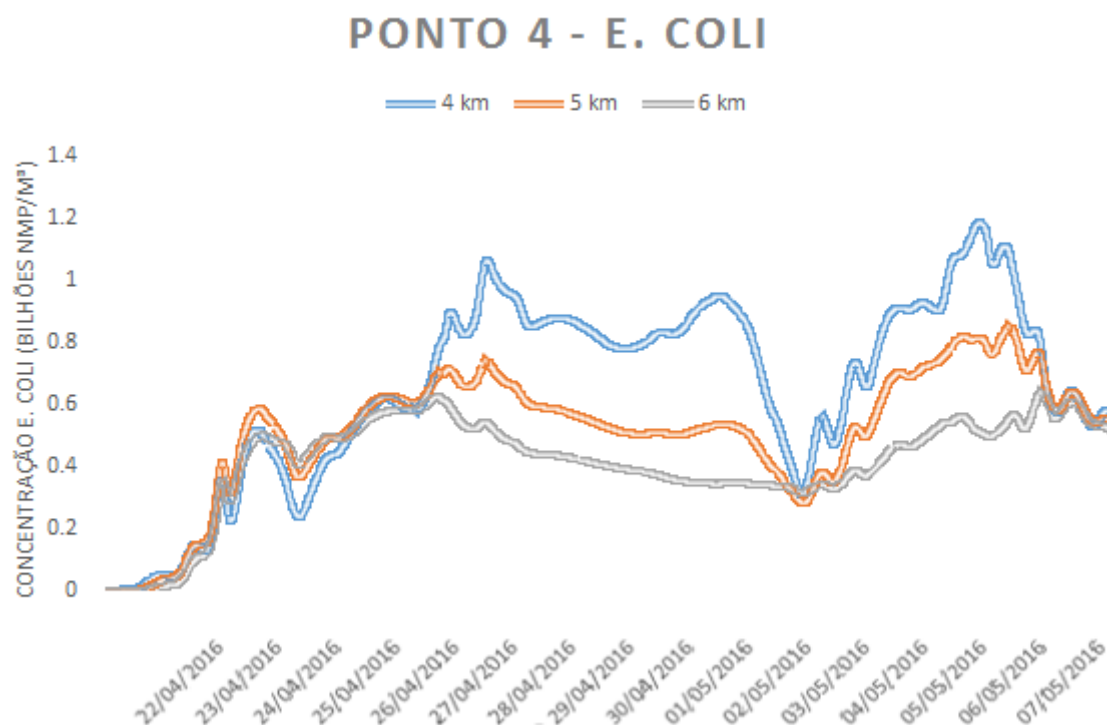
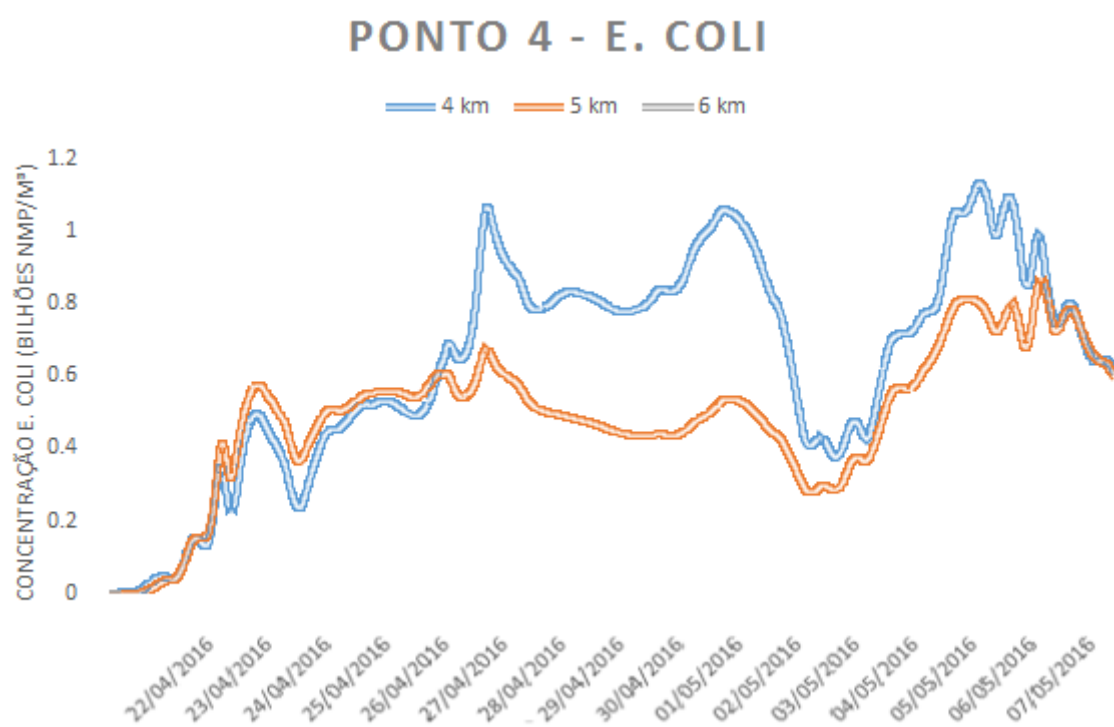


Figura 49 - Espalhamento de E. coli no ponto 4, sem ressaca



É importante atentar-se que os gráficos foram plotados na escala de bilhões de unidades para facilitar a visualização. As tabelas auxiliam o acompanhamento dos números.

Na análise é possível notar que, para todos os pontos de amostragem, apesar de haver melhora nos cenários de comprimento de 5 e 6 km de emissário, os valores de E. coli são muito altos nas três situações.

A tabela 41, compara a concentração de E. coli com o limite previsto na legislação, será utilizada como referência a classificação da Resolução Conama 274/00, descrita na seção 2.3.1.2 deste estudo.

**Tabela 41 – Pontos de amostragem dentro das subcategorias de classificação das águas próprias**

E. coli (NMP/m <sup>3</sup> )			Com Ressaca											
			Ponto 1			Ponto2			Ponto 3			Ponto4		
			4km	6km	5km	4km	6km	5km	4km	6km	5km	4km	6km	5km
Limites	Excelente	2000000	4%	4%	4%	4%	4%	4%	3%	5%	4%	2%	5%	4%
CONAMA														
274/00 para	Muito Boa	4000000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	0%
80% das														
amostras	Satisfatória	8000000	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
E. coli (NMP/m <sup>3</sup> )			Sem Ressaca											
			Ponto 1			Ponto2			Ponto 3			Ponto4		
			4km	6km	5km	4km	6km	5km	4km	6km	5km	4km	6km	5km
Limites	Excelente	2000000	4%	4%	4%	4%	4%	4%	3%	5%	4%	2%	5%	4%
CONAMA														
274/00 para	Muito Boa	4000000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	0%
80% das														
amostras	Satisfatória	8000000	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%

Os valores percentuais tabelados representam a totalidade de tempo em que o parâmetro ficou em determinada subcategoria, durante o tempo de 15 dias adotado neste estudo. Nota-se que, para os quatro pontos, em cenários com e sem ressaca, a concentração de E. coli fica acima da subcategoria satisfatória entre 95 e 96 % do tempo considerado no projeto, a água é, então, considerada imprópria.

A presença no meio marinho de microrganismos indicadores de contaminação fecal, como o E. coli, pode acarretar diversas doenças, como descrito na seção 2.6.2, que avalia a balneabilidade. Assim, esta análise mostra que o risco de contaminação da população é expressivo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da dispersão da pluma do efluente produzido pela população de Santos e São Vicente e lançado através da EPC de Santos, foi feito para diferentes alternativas de comprimentos do Emissário de Santos, sob condições com e sem ressaca.

Pôde-se observar que o prolongamento do Emissário, na maioria das vezes reduz a as concentrações de contaminantes na Baía de Santos e traz a possibilidade de melhorias significativas tanto para a qualidade das águas nesta região, como para a balneabilidade na região próxima à praia. Entretanto, para o ponto 8, demarcado próximo à linha que liga a saída do Emissário e o Estuário de Santos, o prolongamento trouxe mudanças menos significativas.

A análise de balneabilidade dos pontos próximos à costa chama a atenção pelos altos valores de concentração de bactérias *Escherichia coli*, indicadores biológicos que demonstram que a qualidade da água está insatisfatória para contato primário. Situação que se mantém para todos os cenários propostos neste projeto.

No que se refere ao alcance da pluma de contaminantes, observa-se que nos cenários para os quais houve aumento no comprimento para o Emissário, a pluma sai da Baía de Santos e diminui o confinamento de poluentes na região. Porém, o afastamento do esgoto pode não ser suficiente ou adequado como solução do problema, pois em determinadas situações o efluente chegou a se aproximar da área de influência de cidades vizinhas, como o Guarujá e a Praia Grande. Neste caso, cabe um estudo futuro para avaliar a adequação ambiental e as implicações geradas pelo efeito sinérgico desta pluma e da que é gerada pelos próprios emissários de tais cidades.

O presente estudo foi realizado com simplificações e limitações que podem afastar os resultados do que seria esperado no sistema real. A obtenção das concentrações do efluente que sai do emissário teria auxiliado na construção de cenários mais confiáveis. A grande dimensão do *grid*, que resulta em uma maior diluição dos poluentes nas simulações realizadas, devido à falta de precisão nas dimensões do ponto de lançamento, também é uma simplificação que se alterada traria uma precisão maior ao estudo.

Foi apresentada uma análise comparativa de seis variáveis representativas e como ocorre a sua dispersão na Baía de Santos. Ficaram evidenciadas as

diferenças entre conformidade ou não dos valores máximos nas curvas de permanência de concentrações no tempo de cada variável e cenário considerado e as vantagens das alternativas de prolongamento.



## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 12209, 24 de dezembro de 2011. Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários.

AGÊNCIA METROPOLITANA DA BAIXADA SANTISTA. (2013). Plano Metropolitano de Desenvolvimento Estratégico da Baixada Santista. 32 p. Disponível em: <<http://www.agem.sp.gov.br/>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

BLENINGER, T. (2016). Coupled 3D Hydrodynamics models for submarine outfalls: Environmental hydraulic design and control of multiport diffusers. 248 p.; v.1.

BRASIL (1993) Lei nº8.617, de 4 de janeiro de 1993. Estabelece a divisão das zonas marítimas.

BRASIL (2007). Lei nº11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes para o saneamento básico.

CETESB (2016a). Relatório de Qualidade das Praias Litorâneas do Estado de São Paulo. São Paulo - SP. Disponível em: <<http://praias.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 6 mai. 2017

CETESB (2016b). Qualidade das Águas Costeiras no Estado de São Paulo. São Paulo - SP. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorio>>. Acesso em: 20 ago. 2017

CETESB (2007). Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento. São Paulo, SP. 239p.

CETESB (2017). Emissários Submarinos. Disponível em: <<http://praias.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em 13 jun. 2017.

CONAMA Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.

CONAMA Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CONAMA Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a resolução 357 de 17 de março de 2005.

DELTARES, FLOW DELFT 3D (2014). Flow - User Manual by Deltares Systems. 710 p.; v. 3.15.34158

DELTARES, FUNCTIONAL DESCRIPTION DELFT 3D (2014). Functional Specifications - User Manual by Deltares Systems. 48 p.; v. 2.20.33337

DELTARES, WATER QUALITY DELFT 3D (2014). Water Quality - User Manual by Deltares Systems. 414 p.; v. 4.99.34158

DELTARES, WAVE DELFT 3D (2014). Wave - User Manual by Deltares Systems. 226 p.; v. 3.05.34160

FARIA, T. J. P. (2015). Geografia Ensino & Pesquisa. 119 p.; v.19

IBGE. (2017). Projeções e estimativas da população do Brasil e das Unidades da Federação. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 13 jun. 2017.

JORDÃO, E. P., PESSÔA C. A. (2014). Tratamento de esgotos domésticos. 7ª ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES. 1050p.

MEMÓRIA DE SANTOS. (2017). SANEAMENTO BÁSICO EM SANTOS. Disponível em: <<http://www.memoriadesantos.com.br/>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

MEMÓRIA DE SANTOS. (2017). Conheça a história do Moinho Santos, a primeira empresa da Bunge no Brasil. Disponível em: <<http://www.memoriadesantos.com.br/>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

MDIC. (2017). Balança comercial brasileira: acumulado do ano. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/>>. Acesso 13 jun. 2017.

MINISTERIO DO PLANEJAMENTO, 2014. Ministério do Planejamento. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/>>. Acesso em 13 jun. 2017.

PIVELI, R. P. (2017). Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químico" - Aula 10. Disponível em: <<http://www.pha.poli.usp.br/>>. Acesso 13 nov.2017

PORTO DE SANTOS. (2017). Resumo Histórico. Disponível em: <<http://www.portodesantos.com.br/>>. Acesso em: 19 jun. 2017

PORTAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS. (2017). Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA). Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2017

PREFEITURA DE SANTOS. (2016). Cidade é destaque nacional em saneamento básico. Disponível em: <<http://www.santos.sp.gov.br/>>. Acesso em: 19 jun. 2017

PROGRAMA ONDA LIMPA. (2014). Anexo Programa Onda Limpa – Baixada Santista. Fevereiro 2016. Disponível em: < <http://www.santos.sp.gov.br/>>. Acesso em 09 maio. 2017.

MARTINS, J. R. S. (2017). Transporte de Poluentes no meio hídrico. Notas de aula.

SABESP. (2017). Sabesp. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/Default.aspx>>. Acesso em 13 jun. 2017.

SANEAMENTO BRASIL. (2016). Panorama do Saneamento Básico no Brasil. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

SANEAMENTO. (2016). Manual Básico do Saneamento Básico. Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. (2016). Governo do Estado de São Paulo Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. São Paulo - SP. Disponível em: <[http://www.saneamento.sp.gov.br/noticia\\_121.html](http://www.saneamento.sp.gov.br/noticia_121.html)>

SNIS (2015). Sistema Nacional de informações sobre saneamento.

SUBTIL, E. L. Tratamento de águas residuárias utilizando emissários submarinos: avaliação do tipo de tratamento para uma disposição oceânica ambientalmente segura. (2012). 218p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo - SP. 2012.