

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**MODELAGEM NUMÉRICA DO CAMPO PRÓXIMO DE UM
POSSÍVEL EMISSÁRIO SUBMARINO NA PRAIA DOS
INGLESES, ILHA DE SANTA CATARINA (SC)**

Luiz Rafael Catoira de Vasconcelos

Trabalho apresentado como parte dos requisitos para a Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Davide Franco

Florianópolis

2011

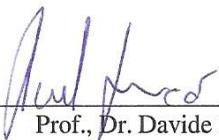
**MODELAGEM NUMÉRICA DO CAMPO PRÓXIMO DE UM
POSSÍVEL EMISSÁRIO SUBMARINO NA PRAIA DOS
INGLESES, ILHA DE SANTA CATARINA (SC)**

Luiz Rafael Catoira de Vasconcelos

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental – TCC II

Florianópolis, 07 de julho de 2011.

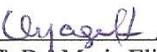
BANCA EXAMINADORA:



Prof., Dr. Davide Franco,
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Dr. Luis Hamilton Propissil Garbossa,
Membro da Banca
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural e Santa Catarina



Prof.ª, Dr.ª Maria Elisa Nagel Hassemer
Membro da Banca
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho ao maior engenheiro do mundo, meu pai.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que me colocou nessa família e que me deu saúde e a oportunidade de seguir rumo a esse caminho profissional.

Aos meus pais Victor e Maria Luiza, que são tudo para mim, e que me deram asas para poder voar.

Ao meu irmão Luiz Gabriel, com quem eu sempre posso contar e dividir tudo.

A Nadine, meu único e exclusivo amor, com quem eu dividi a faculdade e já divido uma vida, e que faz com que meus sonhos possam se tornar a realidade.

A minha avó e melhor amiga D. Maria do Céu, pela parceria nas nossas diversas aventuras, e por seus ensinamentos sobre disciplina e bom humor.

Ao meu avô Francisco pelo símbolo inalcançável de astúcia e luta, e por me ensinar a arte do gracejo.

A minha avó D. Elza, pelo exemplo de simplicidade e carinho.

Ao meu orientador Davide, pela paciência, dedicação e atenção depositada em mim.

A EPAGRI e a CASAN, pelos dados gentilmente disponibilizados para esse estudo.

A equipe FLOW, pela humildade com que me acolheu, pela disposição de sempre me ensinar tudo com carinho e pelas horas ótimas de convivência com quem dedico meu tempo.

Ao Luis Garbossa, pela confiança depositada em mim e pelo exemplo de profissional e pessoa a quem eu busco me espelhar.

A todos meus amigos, que deixaram alguma marca no meu jeito de ser hoje e que dividiram comigo um grau de minha vida.

A Damy, Tista, Condessa, Schatwz e Monstro que me ensinaram o que é amar e ser amado, e que a fidelidade é o caminho para isso.

A deusa Natureza, por ser a razão do meu viver e que completa o meu existir!

"O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano."
(Isaac Newton, 1687)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1 OBJETIVOS	24
1.1.1 Objetivo Geral	24
1.1.2 Objetivos Específicos	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 SANEAMENTO	27
2.1.1 Definição	27
2.1.2 Situação do Saneamento no Brasil	27
2.2 ESGOTO SANITÁRIO	32
2.2.1 Características do Esgoto.....	33
2.2.2 Tratamento de Esgoto.....	38
2.2.3. Sistemas de Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários .	41
2.2.4 Dispersão de Esgotos Sanitários no Oceano.....	47
2.2.5 Taxa de decaimento bacteriano (T_{90}).....	51
2.3 OCEANOGRAFIA REGIONAL: MASSAS DE ÁGUA E CORRENTES COSTEIRAS	54
2.4 MODELAGEM NUMÉRICA DE PLUMAS DE DISPERSÃO DO EFLUENTE	57
2.4.1 Modelagem do Campo Próximo.....	58
2.4.2 <i>Software Visual Plumes</i>	60
2.5 PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA.....	63
3. METODOLOGIA	71
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	72
3.2 MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS	74
3.2.1 UM3.....	74
3.2.2 Modelo de decaimento bacteriano proposto por MANCINI (1978).....	78
3.3 DADOS DE ENTRADA	79
3.3.1Características do Difusor	80
3.3.2 Características do Efluente	81
3.3.3 Características do Ambiente.....	87

4. RESULTADOS	91
4.1 ANÁLISE DOS DADOS	91
4.1.1 Dados do Efluente	91
4.1.2 Dados Ambientais	94
4.2 CENÁRIOS PROPOSTOS.....	106
4.3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	116
4.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEL ENVOLVIDAS .	132
5. CONCLUSÕES	146
6. RECOMENDAÇÕES	150
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
ANEXO 1 - Dados de saída da ETE Insular.	161
ANEXO 2 - Dados de correntes amostrados no EIA/RIMA Ingleses..	163

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Percentual de municípios com rede coletora de esgoto.	30
Figura 2 - Percentual de municípios com tratamento de esgoto.....	31
Figura 3 - Evolução dos serviços de saneamento básico, comparativamente ao crescimento populacional.....	32
Figura 4 - Esquema geral de um sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários.	42
Figura 5 - Assentamento da tubulação (em PEAD) do emissário submarino de Salvador-BA.	43
Figura 6 - Chaminé de Equilíbrio do SDO de Maceió.	44
Figura 7 - Difusores (riser) de um emissário submarino.	44
Figura 8 - Comparação entre uma chaminé e um emissário submarino.	48
Figura 9 - Correntes e estratificação térmica do ambiente afetando a trajetória dos jatos do sistema difusor.	49
Figura 10 - Zona de mistura do efluente em um emissário submarino.	50
Figura 11 - Valores de T90 Horário no decorrer de um dia em situação de verão e inverno.	53
Figura 12 - Representação esquemática clássica da estrutura de massas d'água na Plataforma Continental Sudeste do Brasil, nas situações de inverno e verão.	55
Figura 13 - Representação esquemática do fenômeno da ressurgência.	56
Figura 14 - Principais características do campo próximo.....	59
Figura 15 - Exemplo de disponibilização de resultados de uma simulação no software Visual Plumes.....	62
Figura 16 - Fluxograma da metodologia adotada para o estudo.....	71
Figura 17 - Localização do distrito de Ingleses.....	72
Figura 18 - Panorama do Norte da Ilha de Santa Catarina.	73
Figura 19 - Região do possível lançamento de efluente.....	73
Figura 20 - Detalhe da geometria do difusor adotada.	81
Figura 21 - Detalhe dos equipamentos que foram utilizados no levantamento dos dados. A) Perfilador acústico de correntes; B) Termômetro.....	88
Figura 22 - Localização do ponto de amostragem para os dados ambientais.	88
Figura 23 - Distribuição da Temperatura ao longo do tempo amostrado.	89
Figura 24 - Evolução da estratificação de densidade na coluna de água no ponto de lançamento de Ingleses.....	89
Figura 25 - Temperatura do efluente ao longo dos meses.....	92
Figura 26 - Concentração de Escherichia coli no efluente ao longo dos meses.	94

Figura 27 - Distribuição das velocidades médias nas diferentes direções de correntes.....	96
Figura - 28 Distribuição das velocidades máximas nas diferentes direções de correntes.....	98
Figura 29 - Distribuição da ocorrência das diferentes direções de correntes.....	100
Figura 30 - Representação gráfica das temperaturas em relação as profundidades.....	102
Figura 31 - Densidade na coluna de água no ponto de lançamento de Ingleles.	103
Figura 32 - Radiação média medida ao longo dos meses.	105
Figura 33 - Esquematização dos cenários propostos para as simulações.	107
Figura 34 - Gráficos resultantes da simulação para o C1.....	117
Figura 35 - Gráficos resultantes da simulação para o C2.....	119
Figura 36 - Gráficos resultantes da simulação para o C3.....	121
Figura 37 - Gráficos resultantes da simulação para o C4.....	123
Figura 38 - Gráficos resultantes da simulação para o C5.....	125
Figura 39 - Gráficos resultantes da simulação para o C6.....	127
Figura 40 - Gráficos resultantes da simulação para o C7.....	129
Figura 41 - Síntese dos resultados encontrados nas simulações para os diferentes cenários.	131
Figura 42 - Gráficos comparativos entre os cenários C1 (vermelho) e C4 (azul).	133
Figura 43 - Gráficos comparativos entre os cenários C2 (vermelho) e C5 (azul).	134
Figura 44 - Gráficos comparativos entre os cenários C3 (vermelho) e C6 (azul).	135
Figura 45 - Gráficos comparativos entre os cenários C4 (vermelho) e C7 (azul).	137
Figura 46 - Gráficos comparativos entre os cenários C1 (vermelho) e C2 (azul).	139
Figura 47 - Gráficos comparativos entre os cenários C4 (vermelho) e C5 (azul).	140
Figura 48 - Gráficos comparativos entre os cenários C2 (vermelho) e C3 (azul).	142
Figura 49 - Gráficos comparativos entre os cenários C5 (vermelho) e C6 (azul).	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Atendimento de água e esgoto nas regiões do Brasil.....	29
Tabela 2 - Principais características físicas dos esgotos domésticos.....	34
Tabela 3 - Principais características químicas dos esgotos domésticos.....	35
Tabela 4 - Principais características biológicas dos esgotos domésticos.....	36
Tabela 5 - Características químicas dos esgotos domésticos brutos.....	37
Tabela 6 - Microorganismos presentes nos esgotos domésticos brutos.....	37
Tabela 7 - Níveis de tratamento do esgoto.....	38
Tabela 8 - Principais Mecanismos de Remoção de Poluentes.....	40
Tabela 9 - Características gerais dos emissários mundiais.....	45
Tabela 10 - Principais características de emissários submarinos do Brasil.....	46
Tabela 11 - Estudo comparativo de custos com diferentes níveis de condicionamento prévio.....	47
Tabela 12 - Valores de T_{90} para diferentes locais estudados.....	52
Tabela 13 - Determinação de T_{90} Noturno - Baía de Guanabara.....	53
Tabela 14 - Padrões de lançamento de efluentes segundo CONAMA.....	64
Tabela 15 - Padrões microbiológicos para águas salinas segundo CONAMA.....	64
Tabela 16 - Padrões de lançamento.....	66
Tabela 17 - Concentrações máximas de parâmetros segundo Código Estadual de SC.....	67
Tabela 18 - Padrões de balneabilidade – Resolução CONAMA n° 274/2000.....	69
Tabela 19 - Características do difusor do emissário de Ingleses.....	80
Tabela 20 - Projeção da população de Florianópolis por distritos.....	82
Tabela 21 - Projeção da população da região do Norte da Ilha de Santa Catarina.....	83
Tabela 22 - Projeção da população residente dos bairros do distrito Ingleses.....	83
Tabela 23 - Projeção da porcentagem de população flutuante com respeito à residente do distrito Ingleses.....	84
Tabela 24 - Projeção da porcentagem de população flutuante com respeito à residente do distrito Ingleses.....	84
Tabela 25 - Faixa de valores recomendados pela CETESB para os coeficientes K1 e K2.....	86

Tabela 26 - Massa específica da água (Kg/m^3) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e da salinidade (psu).....	87
Tabela 27 - Dados de Radiação Média (W/m^2) ao longo dos meses amostrado.....	90
Tabela 28 - Vazão média gerada pela população estimada.....	91
Tabela 29 - Vazão máxima gerada pela população estimada.....	91
Tabela 30 - Temperaturas do efluente para os anos de 2008, 2009 e 2010.	92
Tabela 31 - Presença do indicador Escherichia coli no efluente para os anos de 2008, 2009 e 2010.....	93
Tabela 32 - Valores médios das componentes Leste (VL) e Norte (VN), velocidade e direção da corrente medida ao longo da coluna d'água na área de estudo.....	95
Tabela 33 - Direções das correntes.	96
Tabela 34 - Valores de temperatura da água médios, máximos e mínimos nas profundidades de 2, 4, 6, 8 e 10 m.....	101
Tabela 35 - Valores de densidade da água médios, máximos e mínimos nas profundidades de 2, 4, 6, 8 e 10 m.....	103
Tabela 36 - Síntese das características adotadas para o Cenário 1.....	108
Tabela 37- Síntese das características adotadas para o Cenário 2.....	109
Tabela 38 - Síntese das características adotadas para o Cenário 3.....	110
Tabela 39 - Síntese das características adotadas para o Cenário 4.....	111
Tabela 40 - Síntese das características adotadas para o Cenário 5.....	112
Tabela 41 - Síntese das características adotadas para o Cenário 6.....	113
Tabela 42 - Síntese das características adotadas para o Cenário 7.....	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
AC - Águas Costeiras
ACAS - Água Central do Atlântico Sul
AP - Água de Plataforma
AT - Águas Tropicais
C1 - Cenário 1
C2 - Cenário 2
C3 - Cenário 3
C4 - Cenário 4
C5 - Cenário 5
C6 - Cenário 6
C7 - Cenário 7
CASAN - Companhia Catarinense de Água e Saneamento
CB - Corrente do Brasil
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
E - Leste
EIA - Estudo de Impacto Ambiental
ENE- Leste/Nordeste
EPC - Estação de Pré Condicionamento
ESE - Leste/Sudeste
ETE - Estação de Tratamento de Esgotos
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPUF - Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
MMA - Ministério do Meio Ambiente
N - Norte
NBR - Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
NE - Nordeste
NMP - Número mais provável de microorganismos
NNE - Norte/Nordeste
NNO - Norte/Noroeste
NO - Noroeste
O - Oeste
ONO - Oeste/Noroeste
OSO - Oeste/Sudoeste
PAE - *Projected Area Entrainment*
PCSB - Plataforma Continental Sudeste Brasileira
PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PNAD - Pesquisa Nacional de Amostragem por Domicílios
PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RIMA - Relatório de Impacto de Meio Ambiente
S - Sul
SDO - Sistema de Disposição Oceânica
SE - Sudeste
SES - Sistema de Esgotamento Sanitário
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SO - Sudoeste
SSE - Sul/Sudeste
SSO - Sul/Sudoeste
T90 - Tempo de decaimento de 90% dos microorganismos
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
USEPA - *United States Environmental Protection Agency*

RESUMO

O saneamento deve contemplar, entre outros serviços, a coleta, o tratamento e a destinação final dos esgotos domésticos. Nas regiões costeiras, uma das alternativas de tratamento e disposição dos efluentes tem sido o lançamento através dos sistemas de disposição oceânica de esgotos. Esse sistema tem por finalidade promover a diluição do efluente através de duas regiões de mistura: campo próximo, onde o movimento da pluma de esgotos é influenciado pela turbulência gerada pela própria descarga e pela diferença de densidade do esgoto e da água do mar; e campo afastado, onde o formato e o movimento da pluma são influenciados principalmente pelas correntes marinhas. Uma ferramenta de grande valia para a elaboração de projetos e na tomada de decisões nos processos de licenciamento ambiental de emissários, é a modelagem computacional. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar as condições de dispersão no campo próximo de um possível Sistema de Disposição Oceânica (SDO), na Enseada de Ingleses, na Ilha de Santa Catarina (SC). Para isso, foi utilizado o modelo UM3, disponível no *software Visual Plumes*. Nele, foram inseridos dados das características dos difusores e características ambientais, através de informações obtidas no EIA/RIMA realizado para o licenciamento ambiental do empreendimento, além de características do efluente como a vazão, que foi estimada para os anos de 2010 e 2035 com base em estudos populacionais de CAMPANÁRIO (2007), e dados de qualidade do efluente, onde foram utilizados dados da ETE Insular disponibilizados pela CASAN. Após a análise de todos os dados, foram criados sete cenários reproduzindo-se alternadamente, três situações de correntes hidrodinâmicas, dois valores de vazões e duas condições de temperatura e densidade da água ao longo da coluna d'água. Com os resultados gerados, obteve-se diluições acima de 1:100, recomendadas para projetos, em todos os cenários, porém, devido a valores altíssimo de concentração do indicador *Escherichia coli* no efluente, a pluma não obteve índices satisfatórios, atingindo valores com potencial de contaminação biológica em contato primário com a população. Com a alternância das variáveis nos diferentes cenários, foi possível analisar a influência de cada parâmetro. A vazão do efluente influenciou diretamente nos valores de diluição alcançados, quanto maior a vazão, menor a diluição e maior o diâmetro da pluma, além de influenciar na trajetória da pluma, fazendo com que ela tenha maior dificuldade de ganhar a direção da corrente atuante. A temperatura do efluente não influenciou significativamente em nenhum aspecto da dispersão no campo próximo. O perfil de coluna d'água exerceu grande influência nos valores de diluição e distância horizontal do lançamento e menor influência no valor de diâmetro de pluma, sendo assim, quanto maior foi a estratificação, maiores foram a diluição e a distância horizontal do lançamento, e menor foi o diâmetro da pluma. A intensidade de corrente também causou uma forte influência nos valores de diluição, distância horizontal do lançamento e diâmetro da pluma, quanto maior a intensidade da corrente, maior os valores encontrados desses parâmetros.

Palavras-chave: Modelagem numérica, Campo próximo, Sistemas de Disposição Oceânica.

ABSTRACT

The sanitation must look at, among other services, domestical waste water collection, treatment and disposal. At the coast, a used alternative has been the waste water disposal through ocean disposal systems (ODS). This system provide where the effluent dilution through mix that occur in two different regions: the near field, where the waste water plume movement is under the influence of turbulence generated by the discharge itself and the density difference of waste water and sea water, and field away, where the plume shape and movement are mainly influenced by marine currents. A very important tool for project planning and decision-making of environmental licensing processes of waste water discharges systems is the computer modeling. This study aims to assess the dispersion condition soon the near field of proposal ODS, on the Ingleses Bay, North Shore of Santa Catarina island (SC). To do this, was used the UM3 model, available in the software Visual Plumes. In the UM3 model, data were entered about diffusers characteristics and environmental characteristics, based in the project and information found in the EIA/RIMA performed for the environmental licensing of the project. Another effluent technical characteristics, such as, flow, estimated for the 2010 to 2035 period based in population studies of CAMPANARIO (2007), and the physical, chemical and microbiological characteristics effluent provided by Insular Wastewater Treatment Plants (WTP) from CASAN. After to analyze all data, were create seven scenarios reproducing alternately, three situations of hydrodynamic currents, two values of flow rates and two temperature and density conditions of water throughout the water column. The results show dilutions over the projects recommend (around 1:100) on all the studied scenarios. However, due to very high values concentration of *Escherichia coli* in the effluent, the plume did not achieve satisfactory levels, afford potential biological contamination in primary contact case with the population. Alternating the variables in different scenarios, was possible to analyze the influence of each parameter. The effluent flow directly has influenced the values of dilution achieved. How much increased the flow, the dilution became lower and the plume diameter bigger, influencing the plume trajectory, resulting into increase to difficulty to follow on current active flow. The effluent temperature did not affect significantly any aspect in the near field dispersion. The water column profile had a great influence on the dilution value and horizontal distance values of the launch and lower influence on the plume diameter value. Then, how higher stratification, greater were the dilution and the disposal horizontal distance, and lower plume diameter. The current intensity also caused a strong influence on the dilution values, horizontal distance and the plume launch diameter, how greater the current intensity, higher parameters values were found.

Keywords: Numerical modeling, Near Field, Ocean Disposal Systems.

1. INTRODUÇÃO

O cenário do saneamento básico no Brasil ainda está em desenvolvimento. Grande parte dos municípios já possui abastecimento de água e algum tipo de coleta de resíduos, mas o atendimento domiciliar de esgoto é muito escasso ainda. Esse cenário é agravado em regiões densamente populosas, que é o caso da costa brasileira. Grande parte da população brasileira vive no litoral ou nas suas proximidades. Como na maioria dos casos não há um tratamento e destinação final para esse efluente, ele acaba por ser lançado nos corpos de água mais próximos. Isso, além de comprometer a qualidade de água dos mananciais, ainda prejudica a balneabilidade das praias, já que os corpos hídricos vêm a desaguar nos estuários, baías e no oceano. Por se tratar de uma área de turismo e recreação, essas águas de ruim qualidade acarretam em prejuízos econômicos com a diminuição de turistas, além de causar danos a saúde de seus frequentadores, já que a água é um importante veículo de transmissão de doenças.

Com o intuito de melhorar esse quadro, diversos locais no mundo e no Brasil tem investido numa tecnologia para destinação final desses efluentes, os emissários submarinos. Estes são compostos basicamente por uma tubulação submersa com difusores na sua extremidade final, ligando a rede de esgoto tratado ou não a uma saída distante da praia no oceano, aproveitando a capacidade de depuração e diluição dessas águas. As principais variáveis responsáveis por isso são: as características dos difusores e profundidade de lançamento, que irão interferir diretamente na diluição, e as variáveis ambientais locais como a radiação solar, a salinidade e a hidrodinâmica local. Devido a isso, alguns autores o consideram como um tipo de tratamento e não somente uma destinação final.

Em Florianópolis a situação não é muito diferente da grande maioria dos municípios do Brasil. Estão sendo estudadas alternativas para o recolhimento, tratamento e disposição final dos efluentes domésticos. Uma das propostas é a de construção de um emissário submarino na praia dos Ingleses com o lançamento de esgoto com tratamento prévio. Por se tratar de um assunto polêmico, a população se mobilizou contrariamente a esse tipo de alternativa, já que pouca informação foi disponibilizada e que estudos insuficientes foram realizados na área, visto que esse tipo de tecnologia deve ser investigada localmente e não de uma maneira genérica.

Com a presença dessas lacunas, este estudo, que foi realizado no Laboratório de Hidráulica Marítima da UFSC (LAHIMAR), tem como principal objetivo avaliar as condições de dispersão no campo próximo de um possível Sistema de Disposição Oceânica (SDO) no local. Para isso, foi realizada a modelagem numérica computacional, onde foram testados diversos cenários reais que ocorrem com regularidade na costa da Ilha de Santa Catarina, levando-se em conta fatores meteorológicos e oceanográficos da região. Dessa maneira, pôde-se simular as condições do lançamento de efluente no campo próximo e analisar a eficiência da dispersão nos diferentes cenários gerados. Sendo assim, o estudo prévio desse tipo de tecnologia é de enorme importância para que seja possível fazer uma correta avaliação da viabilidade da implantação do emissário, esclarecendo como características do ambiente local, do empreendimento e do efluente podem afetar a dispersão do esgoto lançado, além de dar suporte na tomada de decisão sobre a oportunidade desta alternativa de saneamento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as condições de dispersão no campo próximo de um possível Sistema de Disposição Oceânica (SDO), na enseada de Ingleses.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Estimar a vazão de efluente produzida no distrito de Ingleses para os anos de 2010 e 2035.
- ✓ Identificar e analisar as características hidrodinâmicas típicas da área de estudo.
- ✓ Definir e quantificar as características do efluente.
- ✓ Criar cenários realistas de análise para as simulações.

- ✓ Simular os diferentes cenários criados com o modelo UM3 no software *Visual Plumes*.
- ✓ Comparar os resultados obtidos com os diferentes cenários.
- ✓ Analisar a influência de cada variável na dispersão no campo próximo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SANEAMENTO

2.1.1 Definição

Uma definição clássica para saneamento é a de MENEZES (1984), "*o conjunto de medidas que visam a modificar as condições do meio ambiente, com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde*". MORAES (1993) introduz o conceito de salubridade ambiental em sua definição, sendo o saneamento "*o conjunto de ações e medidas que visam à melhoria da salubridade ambiental, com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde*". Segundo FERREIRA (2000), a noção de saneamento está vinculada à de higiene, sendo assim a busca da saúde se dá pelo o conjunto das duas ações interligadas. Essas definições citadas anteriormente, podem ser sintetizadas na definição adotada pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA (2006), onde "*saneamento compreende um conjunto de ações sobre o meio ambiente no qual vivem as populações, visando garantir a elas condições de salubridade, que protejam a sua saúde*".

MENEZES (1984) ainda deixa clara a distinção entre “saneamento básico”, onde há uma restrição do conceito para designar as ações direcionadas ao controle dos patogênicos e seus vetores, e “saneamento ambiental” onde se encontra um sentido com maior amplitude, para alcançar a administração do equilíbrio ecológico, relacionando-se, também, com os aspectos culturais, econômicos e administrativos com medidas de uso e ocupação do solo. Sendo assim, a oferta de saneamento é fundamental em termos de qualidade de vida, pois sua ausência acarreta poluição dos recursos hídricos, trazendo prejuízo à saúde da população, principalmente, com o aumento da mortalidade infantil.

2.1.2 Situação do Saneamento no Brasil

Analisando-se a evolução dos níveis de cobertura dos serviços de saneamento no Brasil, percebe-se sensíveis melhorias no atendimento à

população, principalmente urbana. Porém, há desigualdade desse crescimento trilhado pela economia do país nas últimas décadas. Em seu histórico recente, o Brasil realizou investimentos no saneamento de maneira pontual e ocasional, culminando num sistema de saneamento inadequado repercutindo diretamente na saúde da população.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, em um de seus boletins informativos (ABES, 2005), menciona que a situação do saneamento no Brasil deixa muito a desejar e contribui para os baixos números de nosso Índice de Desenvolvimento Humano. Segundo o informativo, seriam necessários investimentos da ordem de 9 bilhões de reais por ano durante 20 anos, para a universalização do saneamento no país, valor este muito acima da disponibilidade financeira atual.

Segundo o Diagnóstico de Águas e Esgotos de 2008 realizado pela Secretária Nacional de Saneamento Ambiental, os índices médios nacionais de atendimento da população total (urbana e rural) identificados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS em 2008, foram de 81,2% para o abastecimento de água, de 43,2% para a coleta de esgotos e de 34,6% para o tratamento de esgotos. Considerando somente a população urbana, os dados evidenciam um elevado atendimento pelos serviços de água, com índice médio nacional igual a 94,7%, enquanto que na coleta de esgotos esse índice foi de 50,6%. Em relação a coleta e tratamento dos esgotos, percebe-se que a região Sul se apresenta abaixo da média nacional. A Tabela 1 apresenta os índices de atendimento dos serviços de água e esgoto no Brasil.

Tabela 1 - Índice de Atendimento de água e esgoto nas regiões do Brasil.

Regiões	Índice de atendimento (%)				
	Água		Coleta de esgotos		Tratamento dos esgotos
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	57,6	72	5,6	7	11,2
Nordeste	68	89,4	18,9	25,6	34,5
Sudeste	90,3	97,6	66,6	72,1	36,1
Sul	86,7	98,2	32,4	38,3	31,1
Centro-oeste	89,5	95,6	44,8	49,5	41,6
Brasil	81,2	94,7	43,2	50,6	34,6

Fonte: SNIS (2008).

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD) de 2006, realizada pelo IBGE, a proporção de domicílios atendidos por rede coletora ou fossa séptica ligada à rede coletora de esgoto (59,1%) praticamente não se alterou em relação à de 2008 (59,3%), embora tenha aumentado em termos absolutos (de 34,1 milhões para 34,6 milhões, no período).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento - PNSB 2008, pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55,2%) tinham serviço de esgotamento sanitário por rede coletora, que é o sistema apropriado, marca pouco superior à observada na pesquisa anterior, realizada em 2000, que registrava 52,2%. Em 2008, a proporção de municípios com rede de coleta de esgoto foi bem inferior à de municípios com rede geral de distribuição de água (99,4%), manejo de resíduos sólidos (100,0%) e manejos de águas pluviais (94,5%). Como pode ser visto na Figura 1, Santa Catarina encontra-se abaixo da média nacional e com percentuais menores do que a maioria dos Estados brasileiros, encontrando-se em melhores condições que apenas de alguns Estados do eixo Norte-Nordeste.

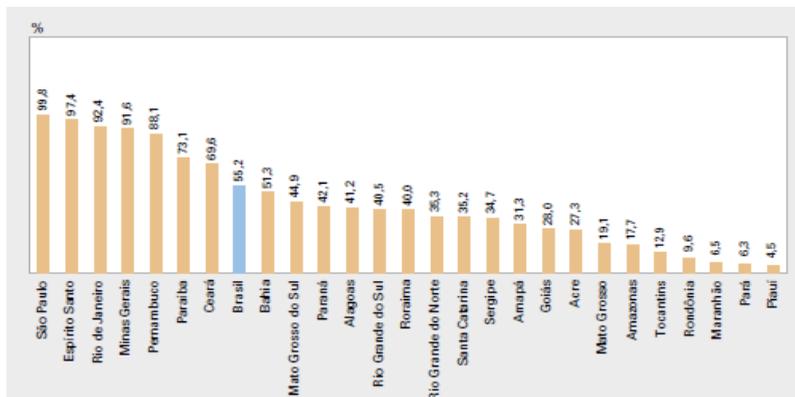


Figura 1 - Percentual de municípios com rede coletora de esgoto.
 Fonte: PNSB (2008).

Para se obter condições sanitárias adequadas, não basta que o esgoto seja adequadamente coletado por meio de uma rede geral. É necessário que também seja tratado, caso contrário, os corpos hídricos ficarão poluídos e haverá proliferação de doenças, como a diarreia, devido à contaminação da água por patógenos, causando prejuízo à saúde da população e o aumento da mortalidade infantil. O PNSB 2008 aponta que apenas 28,5% dos municípios brasileiros realizaram o tratamento de seu esgoto, o que impacta negativamente na qualidade de nossos recursos hídricos. Mesmo na Região Sudeste, onde 95,1% dos municípios possuíam coleta de esgoto, menos da metade desses (48,4%) o trataram. Como pode ser visto na Figura 2, percebe-se mais uma vez, que Santa Catarina encontra-se abaixo da média nacional e com percentuais menores do que a maioria dos Estados brasileiros, encontrando-se em melhores condições que apenas de alguns Estados do eixo Norte-Nordeste.

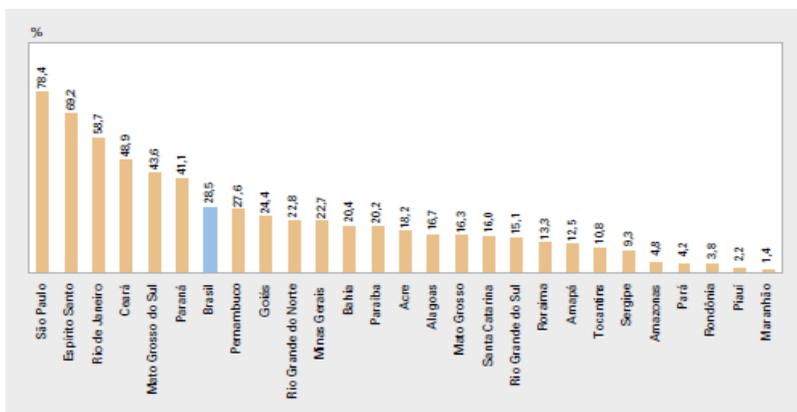


Figura 2 - Percentual de municípios com tratamento de esgoto.
 Fonte: PNSB (2008).

É notável, que o principal déficit do setor de saneamento está na área de esgotamento sanitário, mais especificamente no tratamento dos esgotos.

A ausência de abastecimento de água potável e de coleta de esgotos sanitários são as principais causas das altas taxas de doenças intestinais e de outros tipos em países de baixa renda. Na falta de abastecimento de água potável, os domicílios frequentemente usam água que veiculam doenças, em sua maior parte de origem fecal. Na falta de coleta adequada de esgotos, o material fecal continua nas proximidades do domicílio e leva à transmissão de doenças. Estima-se que a falta de água potável e de saneamento nas áreas urbanas no Brasil causa cerca de 8.500 casos anuais de mortalidade prematura e de morbidade adicional.

É evidente que a situação atual de saneamento implica na perda de qualidade de vida das populações não assistidas, já que é comprovada a estreita dependência entre saneamento e saúde pública. BARROS et al. (1995), afirma que se as condições de saneamento do Brasil fossem mais adequadas, haveria uma substancial melhoria no quadro de saúde da população. Segundo o Ministério da Saúde, 65% das internações hospitalares resultam da inadequação dos serviços e ações de saneamento, sendo a diarreia responsável, anualmente, por 50 mil mortes de crianças, a maioria com menos de um ano de vida. Segundo o Relatório de Desenvolvimento Humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (RDH 2006), a falta de acesso à água potável e

saneamento mata uma criança a cada 19 segundos, em decorrência de diarreia, no mundo.

O crescimento da população urbana atendida por esgoto ao longo dos anos, e o crescimento da população urbana ao longo dos anos, pode ser visualizado na Figura 3. É visível a grande diferença, mostrando a necessidade de maiores investimentos para a coleta e tratamento adequado do esgoto.

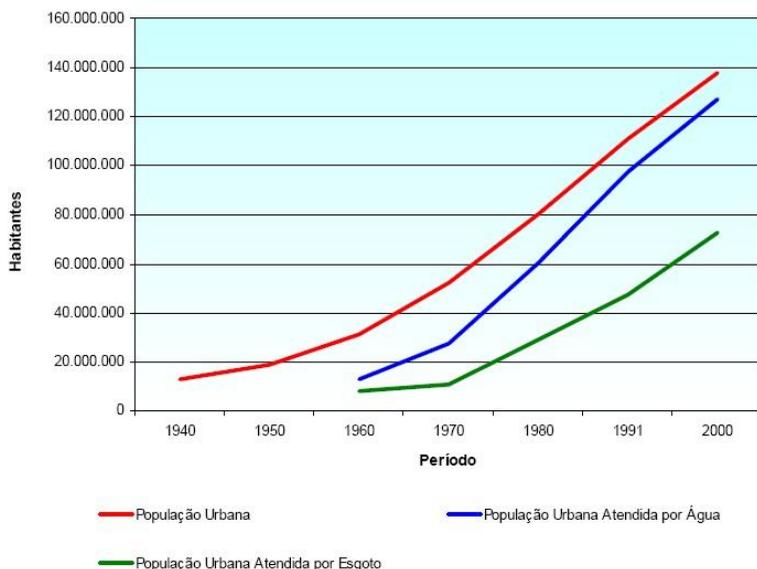


Figura 3 - Evolução dos serviços de saneamento básico, comparativamente ao crescimento populacional.

Fonte: ANA, Plano Nacional de Recursos Hídricos, documento base de referência - minuta (2003).

2.2 ESGOTO SANITÁRIO

CORRÊA (1994) define esgoto doméstico como a descarga líquida proveniente das residências ou instituições, originária dos processos usuais da vida, não resultante de atividades comerciais, industriais ou agrícolas. Sendo assim, para esse autor, o tratamento

desse esgoto doméstico deve ser realizado pelo poder público, e há várias maneiras de ser tratado esse esgoto doméstico.

Já para NUVOLARI (2003), o esgoto sanitário é constituído de águas servidas, coletadas nas áreas residenciais, comerciais e institucionais, de uma determinada cidade, que podem, ou não, receber efluentes industriais.

Existem, basicamente, duas formas dos sistemas de esgotamento sanitários: de forma individual onde a solução do problema do esgoto é dada no próprio local através de fossa, tanque séptico com sistema de infiltração entre outros; de forma coletiva onde a solução é dada com o afastamento dos esgotos do local através de uma rede coletora que conduz até a um tratamento e disposição final. Ainda há dois tipos de sistemas coletivos: o sistema combinado, onde a água de chuva e o esgoto sanitário são transportados até o destino final na mesma canalização; e o sistema separador, em que a água da chuva e o esgoto sanitário são transportados em canalizações diferentes. No Brasil, pelo menos em teoria, encontra-se quase que unicamente o sistema de esgoto sanitário do tipo separador absoluto, porém, na prática, observa-se com frequência águas pluviais indevidamente lançadas no sistema de esgoto sanitário (VON SPERLING, 2005).

2.2.1 Características do Esgoto

As características dos esgotos estão ligadas a maneira em que a água foi submetida, ou seja, essas características variam de acordo com a forma que a água foi utilizada, sendo assim, esses usos variam conforme o clima, situação econômica e social, e hábitos da população. Segundo VON SPERLING (2005), a água constitui aproximadamente 99,9% dos esgotos domésticos. A fração restante é formada por sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, além de microorganismos. Por causa dessa fração de 0,1%, é que se deve realizar o tratamento dos esgotos. Estes materiais conferem à água residual características físicas, químicas e biológicas, que são apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 - Principais características físicas dos esgotos domésticos.

Parâmetro	Descrição
Temperatura	<ul style="list-style-type: none">- Ligeiramente superior à da água de abastecimento- Variação conforme as estações (mais estável ar)- Influência na atividade microbiana- Influência na solubilidade dos gases- Influência na viscosidade do líquido
Cor	<ul style="list-style-type: none">- Esgoto fresco: ligeiramente cinza- Esgoto séptico: cinza escuro ao preto
Odor	<ul style="list-style-type: none">- Esgoto fresco: odor oleoso, relativamente desagradável- Esgoto séptico: odor fétido, devido ao H₂S e outros- Despejos industriais: odores característicos
Turbidez	<ul style="list-style-type: none">- Causada por uma grande variedade de SS- Esgotos mais frescos ou mais concentrados (+)

Fonte: VON SPERLING (2005).

Tabela 3 - Principais características químicas dos esgotos domésticos.

Parâmetro	Descrição
Sólidos totais <ul style="list-style-type: none"> • Em suspensão - Fixos - Voláteis • Dissolvidos - Fixos - Voláteis • Sedimentáveis 	Orgânicos e inorgânicos; suspenso e dissolvidos; sedimentáveis <ul style="list-style-type: none"> - Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não são filtráveis - Componentes minerais inertes dos sólidos em suspensão - Componentes orgânicos dos sólidos em suspensão - Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são filtráveis - Componentes minerais inertes dos sólidos dissolvidos - Componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos - Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimentam em 1 hora no cone Imhoff.
Matéria Orgânica <ul style="list-style-type: none"> • DBO₅ • DQO • DBO_u 	Mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos: proteínas, carboidratos e lipídios <ul style="list-style-type: none"> - Está associada a fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos. Medida do oxigênio consumido após 5 dias pelos microrganismos na estabilização bioquímica da matéria orgânica - Representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea. Utiliza fortes agentes oxidantes em condições ácidas - Representa o consumo total de oxigênio, ao final de vários dias, requeridos pelos microrganismos para a estabilização bioquímica
Nitrogênio Total <ul style="list-style-type: none"> • Nitrogênio orgânico • Amônia • Nitrito • Nitrato 	Inclui o nitrogênio orgânico e amônia (NTK), nitrito e nitrato. <ul style="list-style-type: none"> - Nitrogênio na forma de proteínas, aminoácidos e uréia. - Produzida como primeiro estágio da decomposição do N orgânico - Estágio intermediário da oxidação da amônia. - Produto final da oxidação da amônia.
Fósforo Total <ul style="list-style-type: none"> • Fósforo orgânico • Fósforo inorgânico 	Forma orgânica e inorgânica. <ul style="list-style-type: none"> - Combinado á matéria orgânica - Ortofosfato e polifosfatos.
pH	Indicador das características ácidas ou básicas do esgoto.
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão do meio (resistência às variações do pH). Devido a presença de bicarbonatos, camonatos e íon hidroxila.
Cloretos	Proveniente da água de abastecimento e dos dejetos humanos.
Óleos e graxas	Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos..

Fonte: VON SPERLING (2005).

Tabela 4 - Principais características biológicas dos esgotos domésticos.

Microrganismos	Descrição
Bactérias	<ul style="list-style-type: none">- Organismos protistas unicelulares- Apresentam-se em várias formas e tamanhos- São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica
Fungos	<ul style="list-style-type: none">- Organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos- Também de grande importância na decomposição da MO- Podem crescer em condição de baixo pH.
Protozoários	<ul style="list-style-type: none">- Organismos unicelulares sem parede celular- A maioria é aeróbia ou facultativa- Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos- São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos- Alguns são patogênicos
Vírus	<ul style="list-style-type: none">- Organismos parasitas, formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça proteica- Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou esgoto..
Helmintos	<ul style="list-style-type: none">- Animais superiores- Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças

Fonte: VON SPERLING (2005).

Nas Tabelas 5 e 6, serão mostrados os valores típicos para os esgotos domésticos no Brasil.

Tabela 5 - Características químicas dos esgotos domésticos brutos.

Parâmetro	CPC (g/hab.d)		Concentração (mg/L)	
	Faixa	Típico	Faixa	Típico
Sólidos totais	120–220	180	700–1350	1000
• Em suspensão	35–70	60	200–450	400
Fixos	7–14	10	40–100	80
Voláteis	25–60	50	165–350	320
• Dissolvidos	85–150	120	500–900	700
Fixos	50–90	70	300–550	400
Voláteis	35–60	50	200–350	300
• Sedimentáveis	–	–	10–20	15
Matéria Orgânica				
• DBO ₅	40–60	50	200–500	350
• DQO	80–130	100	400–800	700
• DBO _u	60–90	75	350–600	500
Nitrogênio total	6,0–112,0	8,0	35–70	50
• Nitrogênio orgânico	2,5–5,0	3,5	15–30	20
• Amônia	3,5–7,0	4,5	20–40	30
• Nitrito	≈0	≈0	≈0	≈0
• Nitrato	0,0–0,5	≈0	0–2	≈0
Fósforo	1,0–4,5	2,5	5–25	14
• Fósforo orgânico	0,3–1,5	0,8	2–8	4
• Fósforo inorgânico	0,7–3,0	1,7	4–17	10
pH	–	–	6,7–7,5	7,0
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	20–30	25	20–50	35
Cloretos	4–8	6	20–50	35
Óleos e graxas	10–30	20	55–170	110

Fonte: VON SPERLING (2005).

Tabela 6 - Microorganismos presentes nos esgotos domésticos brutos.

Microorganismo	CPC (org/hab.d)	Concentração (org/100 mL)
Bactérias totais	10 ¹² –10 ¹³	10 ⁹ –10 ¹⁰
Coliformes totais	10 ⁹ –10 ¹²	10 ⁶ –10 ⁹
Coliformes fecais	10 ⁸ –10 ¹¹	10 ⁵ –10 ⁸
Estreptococos fecais	10 ⁸ –10 ⁹	10 ⁵ –10 ⁶
Cistos de protozoários	<10 ⁶	<10 ³
Ovos de helmintos	<10 ⁶	<10 ³
Vírus	10 ⁵ –10 ⁷	10 ² –10 ⁴

Fonte: VON SPERLING (2005).

2.2.2 Tratamento de Esgoto

Recomenda-se que haja tratamento do esgoto antes de sua disposição final, com o intuito de minimizar os impactos causados não somente ao ser humano, mas também ao ecossistema como um todo. Para isso existem métodos físicos para a retirada de substâncias sólidas não dissolvidas, além de tratamentos químicos e biológicos que visam melhorar essas características do efluente. Essa melhora se dá, principalmente, através da oxidação da matéria orgânica, transformando-a em compostos mais simples como moléculas menores, sais minerais ou gases (GREGÓRIO, 2009).

O tratamento dos esgotos é usualmente classificado através dos seguintes níveis (Tabela 7):

- Preliminar;
- Primário;
- Secundário;
- Terciário.

Tabela 7 - Níveis de tratamento do esgoto.

Nível	Remoção
Preliminar	<ul style="list-style-type: none">• Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)
Primário	<ul style="list-style-type: none">• Sólidos em suspensão sedimentáveis• DBO em suspensão (associada à matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)
Secundário	<ul style="list-style-type: none">• DBO em suspensão (caso não haja tratamento primário: DBO associada à matéria orgânica em suspensão, presente no esgoto bruto).• DBO em suspensão finamente particulada (caso haja tratamento primário: DBO associada à matéria orgânica em suspensão não sedimentável, não removida no tratamento primário).• DBO solúvel (associada à matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos, presentes, tanto nos esgotos brutos, quanto no efluente do eventual tratamento primário, uma vez que sólidos dissolvidos não são removidos por sedimentação).
Terciário	<ul style="list-style-type: none">• Nutrientes• Organismos patogênicos• Compostos não biodegradáveis• Metais pesados• Sólidos inorgânicos dissolvidos• Sólidos em suspensão remanescentes• Desinfecção

Fonte: VON SPERLING (2005).

O tratamento preliminar tem como objetivo remover os sólidos grosseiros e areia, por meio de mecanismos físicos, visando a proteção das bombas, tubulações e das unidades de tratamento posteriores. Ao chegar na ETE, o esgoto sofre gradeamento ou peneiramento, para que as partículas maiores sejam retiradas. O efluente ainda passa pela caixa de areia, onde é retida a areia proveniente da rede coletora de esgotos, e também de outros materiais de granulometria pequena e densidade superior a da água. O princípio para que haja a remoção da areia é o de sedimentação: os grãos de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, de sedimentação bem mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para as unidades seguintes. O efluente chega então a uma seção de medição de vazão (geralmente a Calha Parshall), onde também pode ser adicionado coagulante para uma mistura inicial devido ao ressalto hidráulico. Essa medição é obtida de maneira visual através do nível do líquido de acordo com uma régua graduada existente no local e com o conhecimento das dimensões da seção.

O tratamento primário tem como função a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e flutuantes, removendo assim, parte da matéria orgânica, predominando então, os processos físicos de remoção de poluentes. São utilizados tanques de decantação na forma circular ou retangular, cuja eficiência de remoção de sólidos em suspensão situa-se em torno de 60 a 70 %. A eficiência de remoção de DBO fica em torno de 25 a 35 %, (VON SPERLING, 2005). Estes tanques de decantação são utilizados principalmente antes de processos aeróbios, a fim de se evitar a sobrecarga dos mesmos. Os tanques de decantação que podem ter sua eficiência aumentada com a utilização de coagulantes, onde o tratamento se denomina: tratamento primário avançado.

No tratamento secundário é feita a remoção de matéria orgânica e casualmente de nutrientes. Enquanto nos tratamentos preliminar e primário predominam mecanismos físicos, o tratamento secundário é caracterizado por mecanismos biológicos, sendo o objetivo principal a remoção de matéria orgânica que não foi removida no tratamento primário e eventual remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo). A principal função desse tratamento é reduzir a DBO. Para que grandes quantidades de oxigênio do ambiente onde o esgoto será lançado não sejam consumidas com a oxidação da matéria orgânica, é realizada a aeração em tanques nas estações de tratamento. Esse sistema tem como princípio a remoção dos orgânicos coloidais e dissolvidos por ação biológica, com posterior decantação. Os processos de tratamento secundário de esgotos domésticos utilizam os mesmos mecanismos de

degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores, a ressalva é que essa decomposição de poluentes orgânicos degradáveis ocorre em condições controladas, em intervalos de tempo menores do que nos sistemas naturais, acelerando o processo. VON SPERLING (2005) cita como tratamentos secundários mais comuns, as lagoas de estabilização e variantes, processos de disposição no solo, reatores anaeróbios, lodos ativados e variantes, reatores aeróbios com biofilmes.

O tratamento terciário visa a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário (VON SPERLING, 2005). Este nível de tratamento é utilizado quando se deseja obter um tratamento de qualidade superior para os esgotos. Neste tratamento são removidos compostos como nitrogênio e fósforo, além da remoção completa da matéria orgânica remanescente. A remoção de organismos patogênicos no tratamento de esgoto pode ser do tipo natural, através de lagoa de maturação ou lagoa de polimento; ou artificial com cloração, ozonização, radiação ultravioleta, entre outros. Na Tabela 8, encontra-se resumidamente, os principais mecanismos de remoção dos poluentes em esgotos.

Tabela 8 - Principais Mecanismos de Remoção de Poluentes.

Poluente	Dimensões	Principais mecanismos de remoção	
Sólidos	> 1 cm	Gradeamento	Retenção de sólidos grosseiros com dimensões superiores ao espaçamento entre as barras
	> 0,001 cm	Sedimentação	Separação de particulados com densidade superior à do esgoto
	< 0,001 cm	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
M. Orgânica	> 0,001 cm	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto
		Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
		Estabilização	Utilização pelas bactérias como alimento, com a conversão a gases, águas e outros
Patogênicos		Radiação UV	Radiação solar ou artificial
		Cond. adversas	Temperatura, pH, falta de alimento, competição com outras espécies
		Desinfecção	Adição de agente desinfetante, como o cloro

Fonte: VON SPERLING (2005).

2.2.3. Sistemas de Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários

Os Sistemas de Disposição Oceânica (SDO) consistem em promover o tratamento de efluentes através de processos naturais de diluição, dispersão e assimilação após um adequado pré-tratamento em terra, visando a redução das concentrações de poluentes a níveis admissíveis pela legislação nas áreas de uso benéfico, especialmente aquelas relacionadas ao banho e esportes aquáticos ou a atividades de aqüicultura.

Esse tipo de sistema deve ser projetado para aproveitar a capacidade natural de dispersão e depuração do oceano. Os fatores principais que condicionam o oceano como um corpo receptor para um SDO são: o enorme volume de água para diluição do efluente, alta disponibilidade de oxigênio dissolvido e a condição hostil para a sobrevivência de microrganismos. Assim, para projetar um SDO, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- ✓ Tipo do efluente;
- ✓ Hidrodinâmica local das correntes marítimas;
- ✓ Efeitos de maré;
- ✓ Efeitos meteorológicos;
- ✓ Batimetria;
- ✓ Contornos terrestres.

Em um projeto de um SDO, ainda deve se atentar as conformidades do Plano de Gerenciamento Costeiro e das legislações ambientais aplicáveis. Quanto ao aspecto técnico, o mesmo deve seguir diretrizes mundialmente conhecidas, determinadas pelo Protocolo de Annapolis (OMS/USEPA 1999). A composição de um SDO está esquematizada na Figura 4.

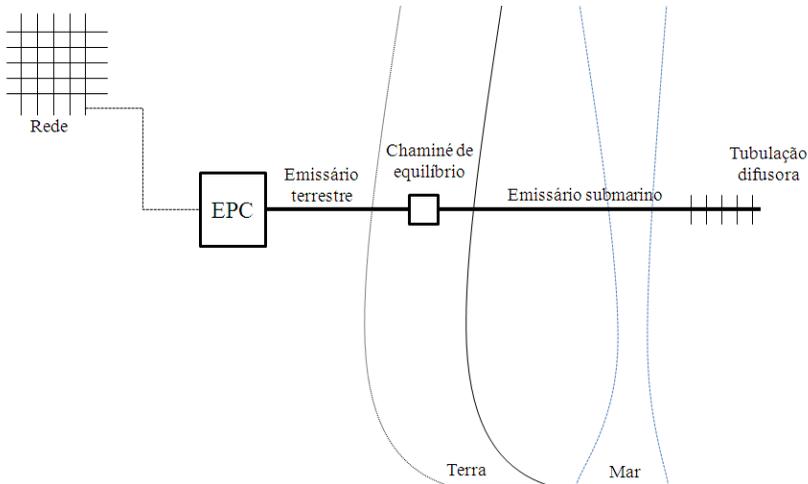


Figura 4 - Esquema geral de um sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários.

Fonte: GONÇALVES & SOUZA (1997).

A E.P.C. (Estação de Pré Condicionamento) tem a função de reduzir as concentrações dos poluentes e contaminantes presentes nos esgotos brutos a serem dispostos. A E.P.C. pode ser implantada com tratamento preliminar, primário ou secundário, sendo que este aspecto deve ser definido de acordo com uma análise técnica, econômica e ambiental, que deve considerar:

- ✓ A composição do esgoto;
- ✓ Os padrões de qualidade do corpo receptor;
- ✓ O grau de difusão do corpo receptor;
- ✓ A localização do ponto de lançamento.

De maneira geral, no Brasil, as E.P.C.s possuem apenas tratamento preliminar, onde apenas os sólidos grosseiros, presentes no efluente, são retirados através do gradeamento e da caixa de areia.

Os emissários terrestres e submarinos são destinados a conduzir os efluentes de forma hidraulicamente adequada, desde a E.P.C. até a tubulação difusora. O emissário submarino é uma tubulação que pode ser de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e/ou aço revestido de concreto. A Figura 5 mostra a assentamento de uma tubulação em PEAD.



Figura 5 - Assentamento da tubulação (em PEAD) do emissário submarino de Salvador-BA.

Fonte: TAVARES (2010).

A câmara ou chaminé de equilíbrio é uma unidade auxiliar ao processo de bombeamento, que garante a estabilidade do bombeamento do esgoto pré-condicionado em regime contínuo e uniforme. Uma imagem de uma chaminé pode ser vista na Figura 6.



Figura 6 - Chaminé de Equilíbrio do SDO de Maceió.
Fonte: TAVARES (2010).

A tubulação difusora ou trecho difusor possui orifícios (difusores) convenientemente espaçados, pelos quais os esgotos são lançados com vazão e velocidade dimensionados para que haja uma diluição inicial adequada. Os orifícios da tubulação difusora podem possuir diversas formas geométricas. Em geral utilizam-se tubos acoplados verticalmente na tubulação principal, com o formato de “Tê”. Estes dispositivos também são denominados de “*risers*”, e podem ser vistos na Figura 7.



Figura 7 - Difusores (*risers*) de emissários submarinos.
Fonte: TAVARES (2010).

O processo dispersivo do efluente lançado ao mar através de emissário submarino, possui três fases distintas, sendo:

- ✓ Fase 1 - de diluição inicial, onde as forças de empuxo, quantidade de movimento do efluente e os efeitos dinâmicos das correntes locais, que resultam em uma rápida mistura e diluição do efluente no corpo d'água receptor;
- ✓ Fase 2 - representada pelo espalhamento dinâmico horizontal e o colapso vertical da pluma após alcançar sua altura terminal;
- ✓ Fase 3 - consiste na difusão turbulenta passiva e na advecção produzidas pelas correntes oceânicas na região de estudo.

O primeiro sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários foi implantando em 1911 no Canadá. Com 1.760m de extensão e 1,50m de diâmetro interno este sistema atendia uma vazão de 2,6 m³/s (GONÇALVES & SOUZA, 1997). As características dos emissários variam bastante em função das técnicas construtivas disponíveis. Segundo BLENINGER (2006), de 1950 à 1980, o material mais empregado em emissários submarinos era o aço carbono, de 1970 à 1990, o concreto armado e de 1990 até hoje, o PEAD. Este mesmo autor elaborou uma tabela (Tabela 9) com as características mínimas, médias e máximas de 200 emissários de efluentes domésticos e industriais existentes no mundo.

Tabela 9 - Características gerais dos emissários mundiais.

CARACTERISTICAS	FAIXA DE VALORES		
	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Custo [US\$ Milhões]	2	7	3.500
Vazão Máxima [m ³ /s]	0,1	1,5	55
Diâmetro [m]	0,1	1	8
Comprimento da tubulação difusora [m]	10	100	1.000
Comprimento total (inclusive difusor) [m]	100	1.300	16.000
Diâmetro dos orifícios [mm]	10	100	300
Profundidade de descarga [m]	4	10	60

Fonte: BLENINGER (2006).

Em 1970 foi projetado o primeiro emissário submarino no Brasil, implantado na praia de Ipanema, no Rio de Janeiro, com um diâmetro da tubulação de 2,40 metros para atender uma vazão de 12,3 m³/s. No Brasil, existem algumas dezenas de emissários submarinos. A Tabela 10 contém alguns dos emissários existentes no Brasil com suas principais características.

Tabela 10 - Principais características de emissários submarinos do Brasil.

LOCAL	DIÂMETRO(m)	EXTENSÃO DO EMISSÁRIO (m)	PROFUNDIDADE DE DESCARGA (m)	VAZÃO (m ³ /s)
Belem-PA	0,80	320	5,0	0,6
Praia Grande I-SP	1,00	3.300	12,5	1,0
Guarujá-SP	0,90	4.500	14,0	1,4
Praia Grande II-SP	1,00	3.415	13,0	1,4
Maceió-AL	1,5	2.820	15,0	2,0
Salvador-BA	1,75	2.420	27,0	5,2
Santos-SP	1,75	4.000	10,0	7,0
Ipanema-RJ	2,40	4.325	26,0	12,0

Fonte: GONÇALVES & SOUZA (1997).

A maioria dos SDOs em operação possuem apenas tratamento preliminar (remoção de sólidos grosseiros) e desinfecção em alguns casos. LUDWIG (1988) apresenta um estudo comparativo de custos entre três sistemas que combinam diferentes níveis de condicionamento prévio (tratamento) com a disposição por emissários submarinos. Os sistemas comparados consistem de:

- (1) Tratamento Preliminar: triagem do efluente através de milipeneiras;
- (2) Tratamento Primário: incluindo tanques de sedimentação e tratamento do lodo sedimentado em digestores;
- (3) Tratamento Secundário: incluindo sedimentação primária, tratamento biológico por lodo ativado, sedimentação secundária, digestão do lodo dos sedimentadores, disposição do lodo tratado e cloração.

Os três sistemas incluem emissários submarinos para a disposição final do efluente tratado, cujo custo é avaliado em separado, e pode ser conferido na Tabela 11. O levantamento considerou os custos de construção, custos com aquisição de equipamentos elétricos e mecânicos, custos com consumo de energia, tubulações, válvulas, estradas de acesso, entre outros. Esse trabalho nos dá uma idéia mais precisa dos custos relativos envolvidos nas diferentes alternativas.

Tabela 11 - Estudo comparativo de custos com diferentes níveis de condicionamento prévio.

Processo de Tratamento	Custo da Estação de Tratamento (U.S.\$ milhões)	Comprimento do Emissário Submarino incluindo difusores	Custo do Emissário (U.S.\$ milhões)	Custo Total (U.S.\$ milhões)
(1) T. Secundário	27,0	1.200 m	6,1	33,1
(2) T. Primário	14,0	3.200 m	10,4	24,4
(3) T. Preliminar	2,7	3.200 m	10,4	13,1

Fonte: LUDWIG (1988).

2.2.4 Dispersão de Esgotos Sanitários no Oceano

GONÇALVES & SOUZA (1997) propõe uma analogia interessante que pode ser vista na Figura 8. Ele compara a tubulação difusora de um emissário submarino a uma chaminé de efluentes gasosos de alguma indústria. Tanto a chaminé como o emissário, tem a função de promover a dispersão de um efluente em ambiente estratificado de densidade diferente.

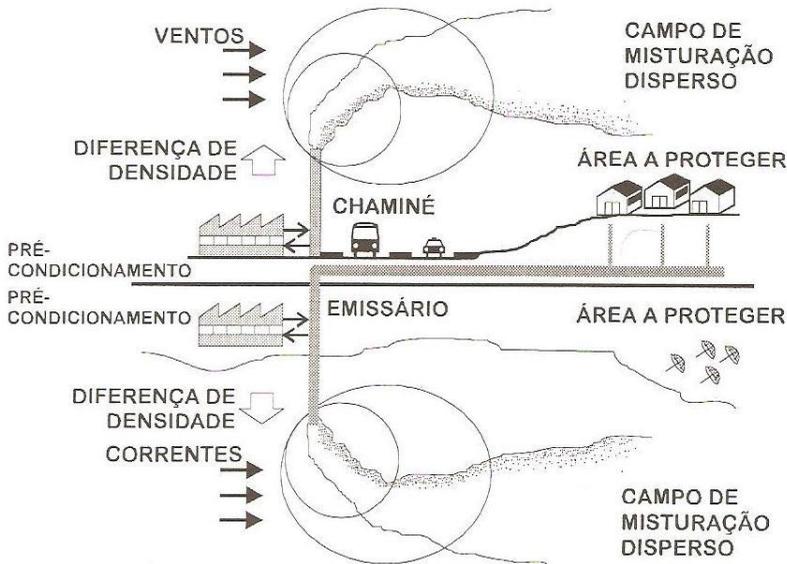


Figura 8 - Comparação entre uma chaminé e um emissário submarino.
 Fonte: GONÇALVES & SOUZA (1997).

Para CARVALHO (2003), a dispersão do efluente no meio marinho se dá em dois momentos distintos, sendo estes:

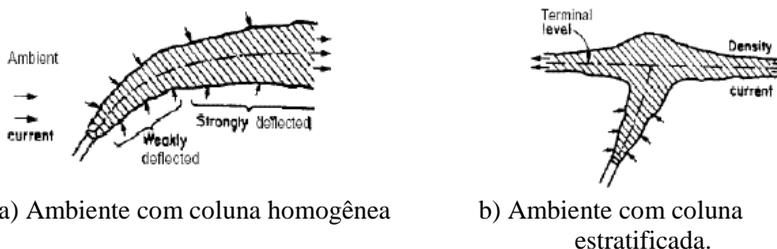
- ✓ Campo próximo: dominado pela turbulência gerada pelos jatos efluentes da tubulação difusora, forças de empuxo, escoamento ambiente e perfis de densidade;
- ✓ Campo afastado: onde predominam a turbulência gerada pela hidrodinâmica local.

No campo próximo ocorre a diluição inicial do efluente e a mesma depende exclusivamente das condições físicas do corpo receptor e das características de projeto dos difusores. Já no campo afastado, as condições oceanográficas são que determinam o comportamento da pluma. No caso de emissários de esgoto sanitário, geralmente, o efluente possui uma massa específica inferior a da água do mar. Portanto, o cone de mistura que se formará, irá se elevar em direção a superfície livre, podendo atingi-la ou não, dependendo das condições locais de estratificação de densidade.

Na região denominada campo próximo, a diluição aumenta rapidamente com a distância do difusor, até que a energia cinética turbulenta gerada pelo empuxo e momentum da descarga seja dissipada.

A máxima diluição alcançada é denominada diluição inicial. Esta diluição depende das condições ambientais e das características geométricas do difusor. À medida que o jato se eleva em direção à superfície, mistura-se com a água do mar, e tanto a força de lançamento quanto o empuxo decrescem, sendo transformados pela ação advectiva das correntes marinhas (FORTIS, 2005; CETESB 2007; FEITOSA, 2007).

Como exemplo de influência das condições ambientais, podemos observar de que forma as correntes e a estratificação podem afetar a diluição e a trajetória dos jatos lançados do sistema difusor. Na Figura 9a, a deflexão no jato flutuante na direção das correntes induz um aumento da mistura. Na Figura 9b, observa-se um ambiente estratificado, que irá agir na retração da aceleração vertical do jato, aprisionando a pluma de efluente em um certo nível da coluna d'água, dificultando assim a mistura inicial do efluente (JIRKA et al.,1996).



a) Ambiente com coluna homogênea

b) Ambiente com coluna estratificada.

Figura 9 - Correntes e estratificação térmica do ambiente afetando a trajetória dos jatos do sistema difusor.

Fonte: JIRKA et al. (1996).

A medida que a pluma se afasta do ponto de lançamento, as características geométricas do difusor diminuem a influência no processo de dispersão. A partir deste ponto a pluma não interfere mais na hidrodinâmica ambiente, uma vez que cessam as diferenças de densidade e quantidade de movimento entre o efluente e o meio. Isto ocorre porque a pluma ejetada vai se misturando com a água ambiente, até atingir uma segunda região.

Nesta segunda região, chamada de campo afastado, a turbulência do ambiente irá controlar a trajetória e a taxa de diluição da pluma. Contudo, devem ser realizados intensivos estudos e medições para compreender melhor os fenômenos físicos que envolvem a mistura

oceânica, pois existe uma série de condições hidrodinâmicas, que variam conforme as condições locais de cada região (FEITOSA, 2009; CETESB 2007).

A zona de mistura de um efluente no corpo d'água abrange tanto o campo próximo quanto o campo distante (Figura 10). Devido à natureza turbulenta do escoamento, as flutuações na concentração instantânea do efluente, quando comparadas à concentração média, são grandes em relação ao difusor e diminuem em direção ao final da zona de mistura. Neste ponto, diz-se que o campo de esgotos está estabelecido e a diluição ali observada é efetivamente a diluição inicial.

Legalmente a extensão da zona de mistura de um efluente em um corpo d'água pode ser definida como uma região onde os parâmetros de qualidade da água podem ser excedidos dentro de novos valores limites (CONAMA, 2005). A utilização de emissários submarinos deve ser definida a partir de projetos adequados para garantir a qualidade da água evitando que a zona de mistura possa interferir nos usos previstos para a água (GONÇALVES & SOUZA, 1997).

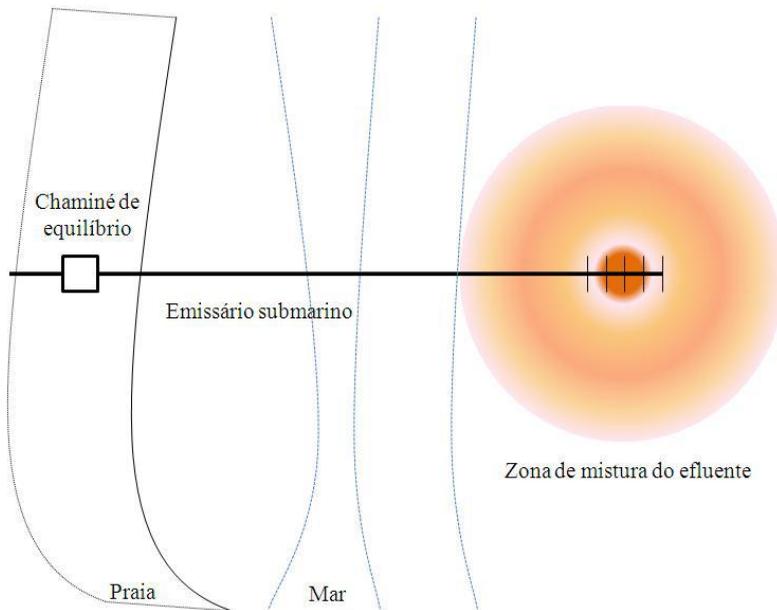


Figura 10 - Zona de mistura do efluente em um emissário submarino.
Fonte: (adaptado de GONÇALVES & SOUZA, 1997).

2.2.5 Taxa de decaimento bacteriano (T_{90})

Usualmente, costuma-se se expressar a razão de decaimento bacteriano em função do parâmetro T_{90} , que caracteriza o tempo necessário para o desaparecimento de 90% da concentração inicial de bactérias em decorrência de fatores que não sejam associados à diluição.

Uma combinação de muitos fatores afeta a sobrevivência das bactérias nas águas oceânicas. O tempo de sobrevivência desses seres varia de acordo com o corpo d'água e suas características hidrodinâmicas, associado aos fenômenos que influenciam no crescimento, morte e outras perdas dos organismos. Os fatores que influenciam a cinética dos organismos após a sua descarga em um dado corpo d'água são basicamente os seguintes:

- ✓ Luz Solar
- ✓ Temperatura
- ✓ Salinidade
- ✓ Predação
- ✓ Deficiência de Nutrientes
- ✓ Substâncias tóxicas
- ✓ Deposição dos organismos após a descarga
- ✓ Ressuspensão de particulados com organismo associado
- ✓ Crescimento após o lançamento no corpo d'água

A radiação solar é um dos fatores mais importantes no decaimento de bactérias, sendo encontradas correlações significativas entre as taxas mortalidade de coliforme e a quantidade de radiação solar incidente (ANDRADE, 2007). CHAMBERLIN & MITCHELL (1978) encontraram fortes evidências que a variação das taxas de decaimento de coliformes em águas marinhas tem como principais causadores a intensidade luminosa na superfície livre e outros fatores influentes no perfil de luminosidade ao longo da profundidade. A radiação solar influi diretamente na sobrevivência de coliformes fecais nos primeiros 30 m abaixo da superfície (ŠOLIC & KRSTULOVIC, 1992). A ação bactericida da radiação solar através da coluna d'água é atenuada por reflexão e absorção. A porção de luz solar transmitida depende da profundidade em questão, turbidez e comprimento de onda da radiação solar incidente, estratificação da coluna d'água, condições meteorológicas, geográficas e sazonais.

Estudos realizados na costa brasileira indicam diversos valores para o decaimento bacteriano T_{90} . Em Salvador, estudos iniciais realizados para o emissário submarino de Jaguaribe (GEOHIDRO,

1993), indicaram que o T_{90} para região seria na ordem de 90 minutos. Outros estudos realizados em 1970 e 1993/1994 na região do Emissário do Rio Vermelho encontraram valores médios de 122 minutos e 119 minutos respectivamente (CONSÓRCIO HYDROS / CH2M HILL, 2000c). Valores médios em torno de 80 minutos foram encontrados para Santos, Maceió e Fortaleza (AGUDO, 1986). Todos estes resultados foram obtidos a partir de experimentos de campo realizados durante o dia. A Tabela 12 apresenta valores de T_{90} para diferentes locais estudados.

Tabela 12 - Valores de T_{90} para diferentes locais estudados.

Local	T_{90} (horas)
Honolulu (Hawaii)	0,75 ou menos
Mayagues Bay (Porto Rico)	0,7
Rio de Janeiro (Brasil)	1,0
Nice (França)	1,1
Accra (Ghana)	1,3
Montevideo (Uruguai)	1,5
Santos (Brasil)	0,8 a 1,7
Fortaleza (Brasil)	1,3
Maceió (Brasil)	1,35

Fonte: LUDWIG (1988).

Na baía de Guanabara, em 1975, foram realizados experimentos para determinação de T_{90} noturno, os quais constam do relatório *Water Quality Model of Guanabara Bay* apud CONSÓRCIO HYDROS / CH2M HILL, 2000c. Os experimentos utilizaram garrafas claras e escuras, com ou sem agitação, encubadas dentro das águas da baía. As medianas dos resultados obtidos com estes estudos são apresentadas na Tabela 13. Estes resultados são importantes, quando se tem o objetivo de preservar a área destinada à balneabilidade, também para uso noturno.

Tabela 13 - Determinação de T_{90} Noturno - Baía de Guanabara.

Métodos	T_{90} – Medianas dos Resultados	
	Minutos	Horas
Garrafa Escura sem Agitação	553	9,2
Garrafa Escura com Agitação	276	4,6

Fonte: "Water Quality Model of Guanabara Bay", *Hydroscience* 1977

TOPÁZIO (2003) realizou um estudo analisando a variação do T_{90} para a modelagem de dois emissários na costa baiana. Foram calculados os valores de T_{90} ao longo do dia, para duas situações: verão e inverno. Com isso foram encontrados valores diferentes para os períodos de dia nas duas situações analisadas, sendo que no período de verão o T_{90} se apresentou menor do que para o período de inverno. Já para o período noturno, o valor de T_{90} se apresentou igual para as duas situações. Isso reforça que o principal fator influenciador do T_{90} é a radiação. A intensidade da radiação solar é dependente da elevação do sol e das condições do tempo. Deste modo, além de variar com a latitude (intensidade dos raios solares reduz à medida que aumenta a latitude), também varia ao longo do dia e sazonalmente.

A Figura 11 mostra os valores encontrados após o cálculo proposto pelo estudo.

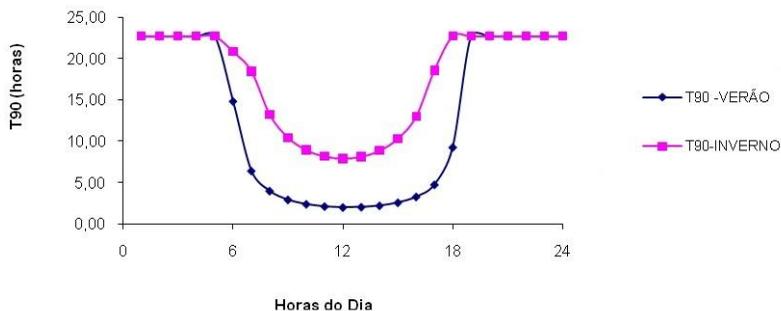


Figura 11 - Valores de T_{90} Horário no decorrer de um dia em situação de verão e inverno.

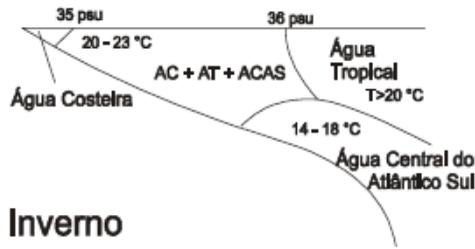
Fonte: TOPÁZIO (2003).

Dessa maneira, a distribuição da concentração de organismos em um determinado corpo d'água está relacionada aos diversos fatores que influenciam no decaimento, como também em função da localização no corpo d'água, sendo o principal limitante, a radiação.

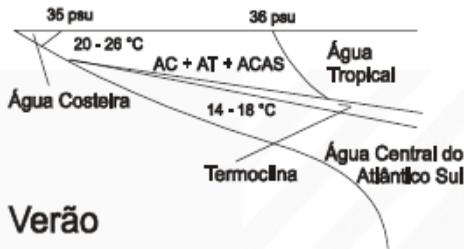
2.3 OCEANOGRAFIA REGIONAL: MASSAS DE ÁGUA E CORRENTES COSTEIRAS

A Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSB) tem limites ao norte pelo Cabo Frio (23°S), ao sul pelo Cabo de Santa Marta Grande (28°40'S), a oeste pela linha de costa e a leste pela quebra da plataforma localizada em profundidades variando entre 120 e 180 metros (CASTRO FILHO & MIRANDA,1998). A Plataforma Sudeste Brasileira é côncava com a batimetria seguindo a direção geral nordeste-sudoeste, no litoral de Santa Catarina assume a direção norte-sul (CARVALHO, 2003). Uma das principais características do litoral catarinense é a pequena influência direta do aporte continental, uma vez que os grandes rios da Região Sul do Brasil afluem para a Bacia do Prata. As massas d'água são diferenciadas por valores diferentes de temperatura e salinidade. EMILSON (1961) classificou as massas d'água que ocorrem na Plataforma Continental Sudeste Brasileira, como Água Tropical (AT, $T > 20,0^{\circ}\text{C}$ e $S > 36,4$) que é transportada para o sul pela Corrente do Brasil (CB); Água Costeira (AC), bastante influenciada pelo aporte de água continental de água doce; Água Central do Atlântico Sul (ACAS, $T < 20,0^{\circ}\text{C}$ e $S < 36,4$), originada na convergência subtropical; e Água de Plataforma (AP).

Baseado em 10 cruzeiros oceanográficos realizados entre 1975 e 1981, MATSSURA (1986) apresentou um modelo da estrutura oceanográfica de massas d'água para a PCSB (Figura 12).



Inverno



Verão

Figura 12 - Representação esquemática clássica da estrutura de massas d'água na Plataforma Continental Sudeste do Brasil, nas situações de inverno e verão
Fonte: modificado de MATSSURA (1986).

Entretanto, trabalhos mais recentes propostos por CASTRO FILHO (1987) e SILVA (1995), não reconhecem a AP como uma massa d'água distinta, mas sim como a mistura entre a ACAS com a AT e AC sobre a Plataforma Continental Sudeste do Brasil. Posteriormente, CASTRO FILHO (1987) sugere que a Plataforma Continental Sudeste do Brasil fosse subdividida em plataforma interna e plataforma externa, a primeira limitada pela costa e as isóbatas de 40 e 50 metros, onde a estratificação da salinidade e temperatura apresenta grande variação sazonal. Durante o verão, observa-se uma forte estratificação de densidades em função da penetração da ACAS por sobre a plataforma continental produzindo uma termoclina sazonal bem acentuada, e durante o inverno a coluna d'água é predominantemente homogênea e com temperaturas mais baixas. Na plataforma externa, não são observadas variações sazonais significativas (CASTRO FILHO, 1987). A Água Tropical e a Água Subtropical se alternam em predominância sazonal, produzindo nas camadas abaixo da termoclina (região do perfil vertical de temperatura, próximo à superfície, onde há grande variação

da temperatura das águas do mar), temperaturas mais altas no inverno e mais baixas no verão, a esse fenômeno dá-se o nome de “inversão térmica sazonal” (MESQUITA, 1974). Esse movimento também é conhecido como ressurgência costeira (WONGTSCHOWSKI & MADUREIRA, 2006), possuindo grande importância econômica e ecológica para a região. A Figura 13 simplifica a representação do fenômeno.

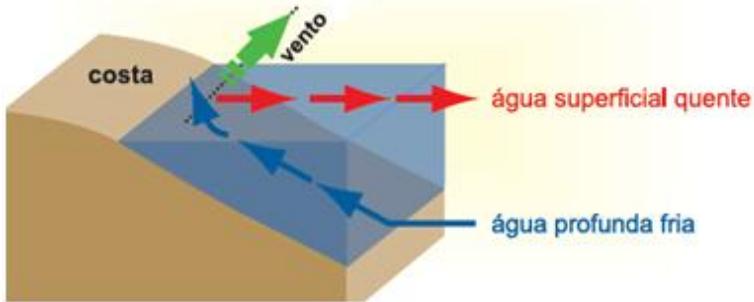


Figura 13 - Representação esquemática do fenômeno da ressurgência.

Através da investigação da estrutura termohalina do Litoral Centro Norte Catarinense, CARVALHO et al. (1998) observou dois padrões sazonais distintos bastante influenciados pelo vento, o primeiro em uma situação de primavera-verão, no qual a coluna d’água é dividida em duas camadas com a presença de uma termoclina bastante acentuada. Os ventos provenientes do quadrante norte provocam a ressurgência costeira da ACAS. Já os ventos de Sul provocam a subsidência de águas junto à costa com afundamento da termoclina. Em outra situação, de outono-inverno, a coluna d’água fica homogênea, causada tanto pela subsidência costeira devido ao aumento da magnitude e persistência dos ventos de Sul, como pela advecção de águas de origem subantártica influenciada pelo aporte continental do Rio da Prata e Lagoa dos Patos (CARVALHO et. al., 1998). Os padrões de massas de águas costeiras observadas nesta região possuem características muito semelhantes às encontradas na Plataforma Continental Sul (CARVALHO et. al., 1998). Nesta a feição oceanográfica mais importante é a extremidade oeste da convergência Subtropical formada pela confluência das correntes do Brasil e Malvinas. A convergência Subtropical migra sazonalmente influenciando fortemente a distribuição de massas d’água e circulação na Plataforma Continental Sul. No inverno, a região é dominada pela

Água Costeira com influência subantártica, com temperatura entre 4 e 15°C e salinidade variando entre 33,7 e 34,15, esta se move para o norte devido à ação de correntes costeiras. No verão é dominada pela Água Costeira com influência Tropical que é transportada para o sul pela Corrente do Brasil (CASTRO FILHO & MIRANDA, 1998). A penetração desta água fria e pouco salina pela costa sul do Brasil frequentemente ocorre por sobre a plataforma continental sudeste brasileira no inverno. CAMPOS et al. (1996) constatou uma incursão desta água até 24° S no inverno de 1993.

De acordo com BUCCI (2004), nos estudos realizados durante o verão e o outono de 2004 ao largo da Ilha de São Francisco (SC), por quase todo o período de amostragem, a coluna d'água se apresentou estratificada, com uma termoclina bem acentuada oscilando verticalmente. Quando esta se encontrava em profundidades menores na coluna d'água, o sentido da corrente era para sul-sudoeste, e o nível do mar tendia a abaixar na superfície. Neste estágio, a mistura entre o topo da ACAS, Água Tropical e Água Costeira, ocupava uma maior parte da coluna d'água. Quando a termoclina ocupava praticamente toda a coluna d'água, o sentido da corrente era para norte-nordeste e o nível d'água tendia a elevar-se na superfície. As misturas entre a Água Tropical e Água Costeira tomavam conta de toda a coluna d'água.

2.4 MODELAGEM NUMÉRICA DE PLUMAS DE DISPERSÃO DO EFLUENTE

É de extrema importância o conhecimento prévio dos tipos e magnitudes de impactos ambientais que podem ocorrer em determinados locais em função do despejo de cargas poluidoras em ambientes aquáticos. Sendo assim, a modelagem computacional é uma ferramenta valiosa no gerenciamento dos recursos hídricos, no processo de diluição de um efluente, na análise da qualidade da água através do comportamento hidrodinâmico do poluente, e no aperfeiçoamento do projeto de estações de tratamento (GREGÓRIO, 2009). Essa modelagem pode fornecer subsídios, quando acompanhada do monitoramento de campo, à definição da zona de mistura da pluma do efluente no mar (ORTIZ et al., 2006).

A descrição dos processos hidrodinâmicos no oceano é baseada nas leis de conservação: conservação de momentum (equação do movimento), conservação da massa (equação da conservação da massa),

conservação da massa parcial (equação da difusão do sal) e conservação do calor (equação da energia). Adicionalmente também é considerada a equação do estado para a água do mar. Dessa maneira, tem-se um sistema de sete equações e sete incógnitas, com quatro variáveis independentes, as três coordenadas espaciais e o tempo.

Para FEITOSA (2007), a modelagem do processo de dispersão da pluma de um emissário submarino deve ser feita separando o campo próximo do campo afastado. Esta separação se deve principalmente ao fato das causas e das escalas espaciais e temporais envolvidas no processo de mistura do efluente sanitário em águas marinhas distinguem-se significativamente.

O uso de *softwares* que fazem o acoplamento de modelos que simulam o campo afastado e o campo próximo tem sido feito com frequência na atualidade. Com isso, a avaliação do impacto provocado pelo lançamento do efluente pode ser estimado de uma maneira mais fiel a realidade, podendo ser consideradas variações horárias dos diversos fatores ambientais que influenciam na dispersão e também no decaimento do poluente. Com o modelo de campo próximo se determina, dentre outros resultados, o diâmetro da pluma, diluição inicial, distância horizontal da pluma e a altura de elevação da pluma. Os resultados fornecidos pela modelagem no campo próximo determinam as condições iniciais para a modelagem do campo afastado, que por sua vez, irá avaliar a influência da hidrodinâmica no transporte e na diluição de contaminantes simuladas no campo afastado.

2.4.1 Modelagem do Campo Próximo

A modelagem do campo próximo tem o objetivo de determinar as principais características da pluma em condições estacionárias: diâmetro, diluição inicial e distância horizontal da fonte. A mistura intensa que ocorre próximo à fonte se deve à turbulência gerada pela energia cinética do lançamento do efluente, e pelos fluxos de massa devido ao empuxo (FEITOSA et al, 2009). Assim, a diluição máxima alcançada que é denominada diluição inicial, tem como principais influenciadores a características do difusor (profundidade, quantidade de portas, espaçamento entre as portas, o diâmetro individual das portas e o alinhamento das mesmas) e as características do corpo d'água receptor (correntes e perfil de densidade).

A Figura 14 ilustra as características principais na modelagem do campo próximo.

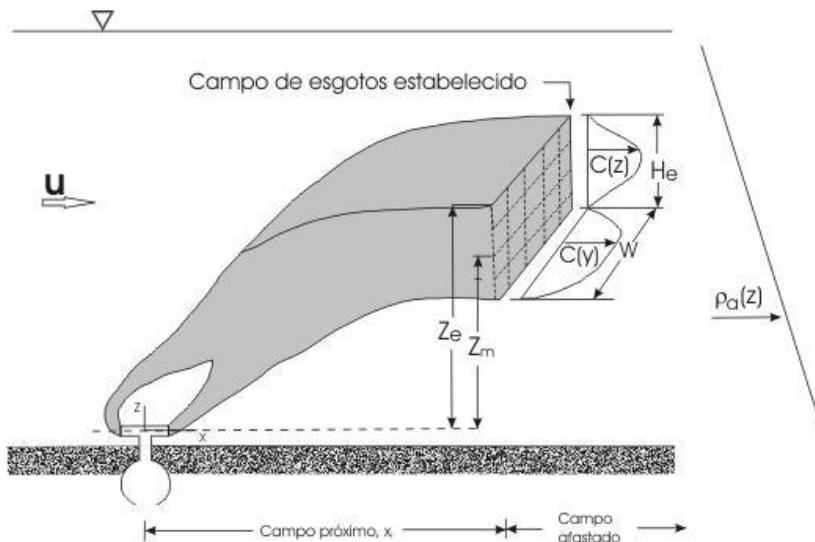


Figura 14 - Principais características do campo próximo.

Fonte: Tavares (2010).

onde Z_e é a altura do topo da pluma de esgotos em relação ao fundo, Z_m é a altura do nível de máxima concentração, H_e é a espessura da pluma, W é a largura da pluma e $\rho_a(z)$ é o perfil de densidade no eixo z que representa a estratificação da coluna d'água;

$C(y)$ e $C(z)$, observados na Figura 14, representam o perfil da concentração da pluma nas direções y e z , respectivamente. Ao se analisar esse perfil, percebe-se que os valores de maior concentração se encontram na parte central ($Z=Z_m$) da pluma, onde a diluição é a mínima.

A complexidade da previsão das características da pluma de esgotos é grande, isso se dá devido às muitas variáveis envolvidas no processo. Entretanto, existem alguns modelos de uso difundido para uma determinação simplificada do campo próximo.

Atualmente, os modelos matemáticos numéricos mais utilizados para o campo próximo são UM3, NRFIELD e CORMIX (GREGÓRIO, 2009). Para CARVALHO (2002) e ROBERTS & TIAN (2004), os

modelos UM3 e NRFIELD obtiveram resultados mais próximos dos observados em campo. CARVALHO et al., (2002) compararam resultados das simulações feitas com o UM3, CORMIX e NRFIELD com medições realizadas em campo no emissário submarino de esgotos de Ipanema (RJ).

2.4.2 Software Visual Plumes

O *Visual Plumes* é um *software* desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA - *United States Environmental Protection Agency*). Por ser disponibilizado gratuitamente na internet, o *Visual Plumes* tem grande utilização no meio acadêmico. O *Visual Plumes*, para plataforma *Windows* é uma evolução da antiga versão do *Plumes* implementado em DOS. Dentre as novas características, uma ferramenta que permite a entrada de séries temporais de dados foi incorporada ao programa possibilitando, assim, análises ao longo do tempo comparando os melhores e piores cenários possíveis. Nessa nova versão, existem três diferentes modelos de dispersão em campo próximo da pluma de emissários submarinos (UM3, DKHW 16 e o NRFIELD) e um modelo de dispersão para descarga na superfície (PDSW).

O UM3 é um modelo baseado na teoria do “carreamento da área projetada” (*Projected-Area-Entrainment*, PAE) tri-dimensional, aplicado a descargas submersas através de uma ou múltiplas portas. Seu nome está baseado no seu antecessor, o UM (BAUMGARTNER et al., 1994) e UMERGE (MUELLENHOFF et al., 1985 apud FRICK et al., 2003).

Essa capacidade do *Visual Plumes* de executar diferentes modelos consecutivamente e exibir os resultados na forma gráfica, possibilita a comparação dos diferentes resultados obtidos, contribuindo para o contínuo desenvolvimento dos modelos de dispersão da pluma no campo próximo (FRICK et al., 2003).

Os dados de entrada são inseridos no *Visual Plumes* através de três “abas”. Na aba *Diffuser* o *softwear* exige as principais características do emissário, como por exemplo, a profundidade das portas (*Port Depth*), o diâmetro do difusor (*Port diameter*) e a vazão do efluente (*Effluent flow*). Na aba *Ambient* são definidas as características do corpo receptor, como por exemplo, a profundidade (*Depth*) e a velocidade da corrente (*Current Speed*). Na aba *Special Settings*, além

de se inserir dados adicionais, podem ser feitos ajustes na forma de disponibilização dos resultados.

Como resultados gerados nas simulações, o software fornece a diluição, a distância horizontal da fonte e a elevação da pluma na coluna d'água em forma de gráficos e textos, como pode ser observado na Figura 15.

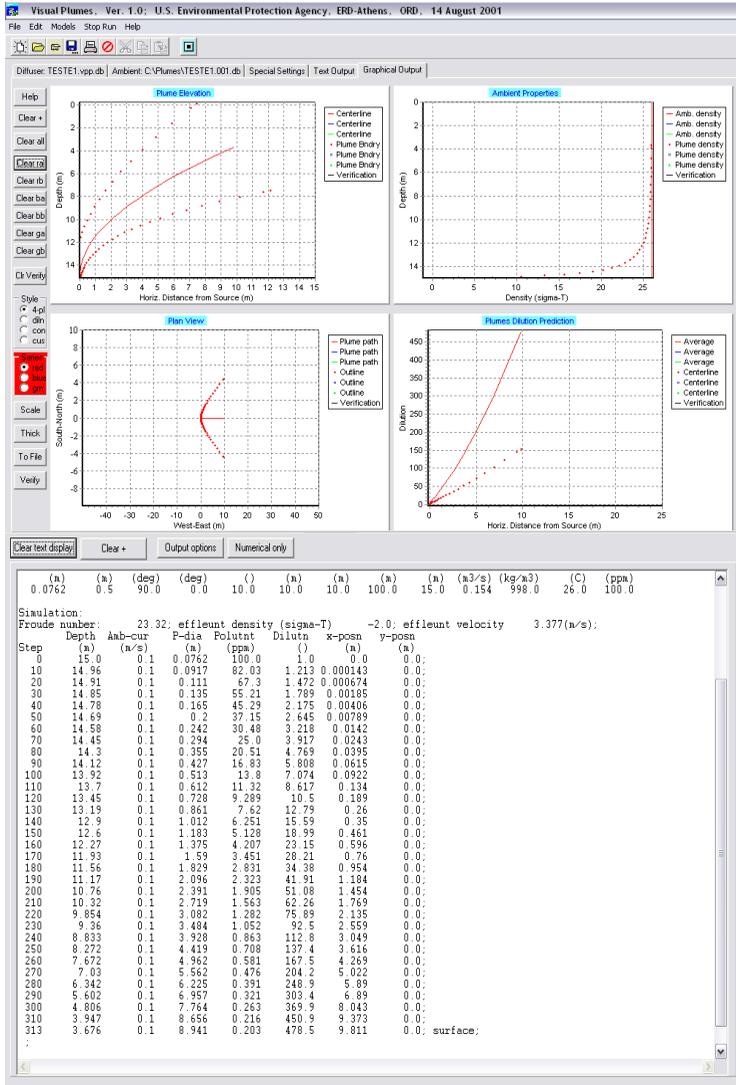


Figura 15 - Exemplo de disponibilização de resultados de uma simulação no software Visual Plumes.

2.5 PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, de 17 de março de 2005, as águas salinas são aquelas que possuem salinidade igual ou superior aos 30‰, e as águas salobras uma salinidade acima de 0,5‰ e abaixo de 30‰.

Para essa mesma resolução, as águas salinas são classificadas da seguinte maneira:

Classe Especial – destinada à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;

Classe 1 – águas destinadas a recreação de contato primário, proteção de comunidades aquáticas, e a aqüicultura e atividade de pesca;

Classe 2 - águas destinadas a pesca amadora e a recreação de contato secundário;

Classe 3 – destina a navegação e harmonia paisagística.

Essa classificação deve ser realizada segundo o órgão ambiental responsável. Na ausência dessa classificação, a resolução diz que os padrões de qualidade para o lançamento de esgoto devem ser seguidos como se fosse uma água marinha de Classe 1. No caso de Santa Catarina, as águas marinhas não possuem ainda uma classificação, sendo assim, todos os padrões de qualidade de água a serem seguidos devem considerar uma água marinha de Classe 1.

Os padrões de lançamento e os padrões microbiológicos para as diferentes classes de águas salinas podem ser observados na Tabela 14 e na Tabela 15, respectivamente.

Tabela 14 - Padrões de lançamento de efluentes segundo CONAMA.

Composto	Águas Salinas		
	Classe 1 (mg/L)	Classe 2 (mg/L)	Classe 3 (mg/L)
Oxigênio Dissolvido	6,0	5,0	4,0
Carbono Orgânico Total	3,0	5,0	10,0
Nitrogênio Amoniacal	0,40	0,70	-
Nitrito	0,07	0,20	-
Nitrato	0,40	0,70	-
Fósforo	0,062	0,093	-
Polifósforo	0,031	0,046	-

Fonte: CETESB (2007).

Tabela 15 - Padrões microbiológicos para águas salinas segundo CONAMA.

Padrões de coliformes termotolerantes (UFC/100 mL) para os diversos usos previstos				
Classes	Recreação de contato primário	Cultivo de moluscos bivalves	Recreação de contato secundário	Demais usos
Classe 1	< 1000 em 80% < 2500 em 90% 5 amostras semanais	Média g.< 43 em 80% e < 88 em 90% 15 amostras (5x/ano)	* < 200 (salobra)	< 1000 em 80% (6 amostras/ano)
Classe 2	-	-	< 2500 em 80% (6 amostras/ ano)	< 2500 em 80% (6 amostras/ano)
Classe 3	-	-	-	< 4000 em 80% (6 amostras/ano)

* Irrigação.

Fonte: CETESB (2007).

Ainda são preconizados pela Resolução CONAMA 357 outros fatos importantes a serem destacados para as águas salinas de Classe 1.

- ✓ A verificação de efeito tóxico crônico a organismos deve ser comprovada pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na

sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas;

- ✓ Materiais flutuantes, óleos e graxas, substâncias que produzem odor e turbidez, corantes provenientes de fontes antrópicas, e resíduos sólidos objetáveis, devem estar virtualmente ausentes;
- ✓ O pH deve estar entre 6,5 e 8,5, e não possuir uma variação maior que 0,2 de unidade.

Recentemente, o CONAMA aprovou a Resolução 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução CONAMA 357. Em seu Artigo 22, é especificado 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. Dessa maneira, este lançamento deve ser precedido de tratamento que garanta o atendimento das seguintes condições e padrões específicos, sem prejuízo de outras exigências cabíveis:

- ✓ pH entre 5 e 9;
- ✓ 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;
- ✓ após desarenação;
- ✓ sólidos grosseiros e materiais flutuantes: virtualmente ausentes;
- ✓ sólidos em suspensão totais: eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação.

A nova resolução, ainda preconiza que o estudo ambiental do empreendimento, deverá conter no mínimo:

I - As condições e padrões específicos na entrada do emissário;

II - O estudo de dispersão na zona de mistura, com dois cenários:

a) primeiro cenário: atendimento aos valores preconizados na Tabela 16;

b) segundo cenário: condições e padrões propostos pelo empreendedor;

III - Programa de monitoramento ambiental.

Tabela 16 - Padrões de lançamento.

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Fonte: Resolução CONAMA n°430.

Em 13 de abril de 2009, foi sancionada em Santa Catarina a Lei^o 14.675 que institui o código estadual do meio ambiente, nesse código o artigo 177^o diz que: “...*Os efluentes somente podem ser lançados direta ou indiretamente nos corpos de água interiores, lagunas, estuários e na beira-mar quando obedecidas às condições previstas nas normas federais e as seguintes...*”. Sendo as condições descritas as seguintes:

- ✓ pH: entre 6,0 e 9,0;
- ✓ “...*Os lançamentos subaquáticos em mar aberto, onde se possa assegurar o transporte e dispersão dos sólidos, o limite para materiais sedimentáveis será fixado em cada caso, após estudo de impacto ambiental realizado pelo interessado...*”;
- ✓ Ausência de materiais flutuantes visíveis;
- ✓ Concentrações máximas dos seguintes parâmetros mostradas na Tabela 17.

Tabela 17 - Concentrações máximas de parâmetros segundo Código Estadual de SC.

óleos vegetais e gorduras animais	30,0	mg/L
cromo hexavalente	0,1	mg/L
cobre total	0,5	mg/L
cádmio total	0,1	mg/L
mercúrio total	0,005	mg/L
níquel total	1,0	mg/L
zinco total	1,0	mg/L
arsênio total	0,1	mg/L
prata total	0,02	mg/L
selênio total	0,02	mg/L
manganês + 2 solúvel	1,0	mg/L
fenóis	0,2	mg/L
substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno	2,0	mg/L
compostos organofosforados e carbamatos	0,1	mg/L
sulfeto de carbono, etileno	1,0	mg/L
outros compostos organoclorados	0,05	mg/L

Fonte: SANTA CATARINA. Lei n^o14.675 de 13 de abril de 2009.

Sendo assim, no estado de Santa Catarina, os emissários submarinos que lancem efluentes devem respeitar os padrões enumerados na Tabela 17, além de possuir estudos de impactos ambientais para a mitigação de seus impactos indicados no processo de licenciamento previsto em lei.

A balneabilidade é a qualidade da águas destinadas ao contato primário. Sobre a balneabilidade das águas, a resolução do CONAMA nº 274 de 2000, define que as águas doces, salobras, ou salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário), terão suas condições avaliadas nas categorias próprias e impróprias, sendo que as águas próprias são quando:

- ✓ Excelente: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes fecais (termotolerantes) ou 200 *Escherichia coli* ou 25 enterococos por 100 mililitros;
- ✓ Muito Boa: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 400 *Escherichia coli* ou 50 enterococos por 100 mililitros;
- ✓ Satisfatória: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 1.000 coliformes fecais (termotolerantes) ou 800 *Escherichia coli* ou 100 enterococos por 100 mililitros.
- ✓ Imprópria: quando em 20% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, superar 1.000 coliformes fecais (termotolerantes) ou 800 *Escherichia coli* ou 100 enterococos por 100 mililitros; ou ainda quando o valor obtido na última amostragem for superior a 2.500 coliformes fecais (termotolerantes) ou 2.000 *Escherichia coli* ou 400 enterococos por 100 mililitros;

A Tabela 18 apresenta os requisitos necessários às águas destinadas a recreação de contato primário (balneabilidade).

Tabela 18 - Padrões de balneabilidade – Resolução CONAMA n° 274/2000.

Categoria		Coliformes fecais	Escherichia coli	Enterococos	Amostras
		(NMP/ 100mL)			
Própria	Excelente	< 250	< 200	< 25	80%
	Muito boa	< 500	< 400	< 50	80%
	Satisfatória	< 1000	< 800	< 100	80%
Imprópria		> 1000	> 800	> 400	>20%
		> 2500	> 2000	> 400	amostra única

3. METODOLOGIA

A Metodologia adotada para este estudo, que será apresentada a seguir, é representada pelo esquema da Figura 16.

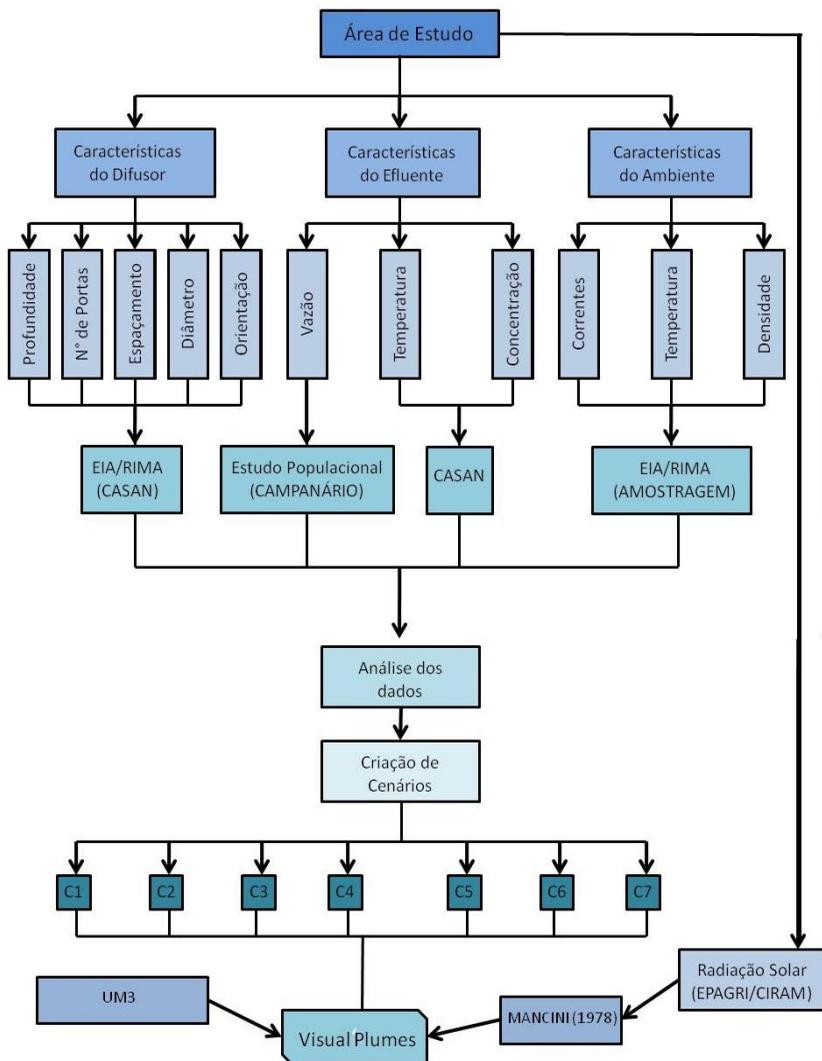


Figura 16 - Fluxograma da metodologia adotada para o estudo.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Praia dos Ingleses está situada no norte da Ilha de Santa Catarina, no município de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina (Figura 17). Possui uma extensão de 4830 m, com orientação predominante voltada a Nordeste. No canto sul, as águas são calmas e existe o acúmulo de areia com a formação de dunas. No canto norte, a entrada de ondulações é mais facilitada, fazendo com que apresente águas bravias (PMF, 2010).

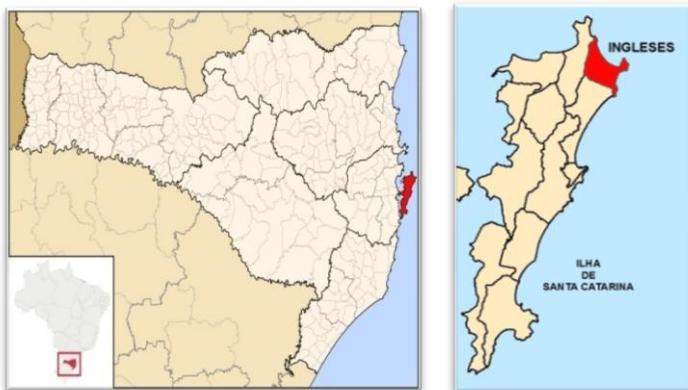


Figura 17 - Localização do distrito de Ingleses.

O crescimento demográfico acelerado do município de Florianópolis e, principalmente do bairro Ingleses, no Norte da Ilha (Figura 18), aliado à insuficiência de investimento no setor de saneamento básico, tem provocado o aumento de problemas de saúde pública na região, que por sua vez, pode vir a causar abalos no turismo do balneário, principal fonte geradora de renda na região.



Figura 18 - Panorama do Norte da Ilha de Santa Catarina.
Fonte: Google Earth (2010).

Como alternativa para solucionar essa deficiência no saneamento, está sendo proposta a implantação e execução de um SDO a lançar um efluente com tratamento terciário, na enseada de Ingleses. Tal empreendimento encontra-se na fase de licenciamento ambiental. A Figura 19 mostra a região onde será realizado o lançamento do efluente.



Figura 19 - Região do possível lançamento de efluente.
Fonte: Arquivo pessoal.

3.2 MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS

Para a simulação do campo próximo do SDO de Ingleses, foi utilizado o *software Visual Plumes*. Nele, existem três diferentes modelos de dispersão de campo próximo da pluma de emissários submarinos (UM3, DKHW 16 e o NRFIELD). Para as simulações deste trabalho, foi escolhido o modelo UM3, por se tratar do modelo original da plataforma *Visual Plumes* e por apresentar resultados mais consistentes em comparação ao NRFIELD, em estudo proposto por TAVARES (2010).

Para a determinação do coeficiente de decaimento bacteriano, o *software Visual Plumes* tem a opção de incorporar a fórmula proposta por MANCINI (1978), onde são relacionadas a taxa de decaimento com a temperatura, salinidade e radiação solar, que será descrito com mais detalhes adiante.

3.2.1 UM3

O modelo UM3 é utilizado para descargas submersas através de uma ou múltiplas portas. O modelo tem como princípio a teoria de carreamento da área projetada, tratando-se então, de um referencial lagrangeano e tridimensional. Nele, é calculada a taxa de incorporação da massa de água na pluma, por meio do carreamento forçado devido à presença das correntes e do carreamento de Taylor.

O modelo adota o estado estacionário para seu funcionamento que, combinado ao fato de ter um referencial lagrangeano, implica no cálculo de sucessivos elementos de pluma seguindo a mesma trajetória. Esses elementos de pluma sucessivos que foram formados permanecem invariáveis até a formação da pluma como um todo, pois se considera que a escala de tempo em que a pluma se forma é bem menor do que a escala de tempo das mudanças das condições ambientais e da descarga dos emissários (FRICK et al., 2003).

A Equação 1 expressa o comportamento do modelo UM3, sendo o primeiro termo a referência ao carreamento forçado, e o segundo ao de Taylor.

$$\frac{dm}{dt} = -\rho \cdot \overline{A_p} \cdot \overline{U} + \rho \cdot A_T \cdot v_t \quad (1)$$

onde, $\frac{dm}{dt}$ é a taxa com que a massa (água) é incorporada a pluma, ρ é a densidade do ambiente, A_p é a área projetada, U é a velocidade da corrente com direção normal a área projetada, A_T área de contato lateral da pluma com o ambiente e v_t é a velocidade média da pluma.

A forma do elemento é muito importante para modelar o jato, pois é determinante para a área projetada que é diretamente proporcional à força exercida pelo entranhamento, processo pelo qual o jato incorpora material do ambiente. A forma do elemento é estabelecida arbitrariamente. Normalmente, uma interpretação particular sobre o jato é utilizada para estabelecer a distribuição de massa sobre a trajetória, que sustenta que o jato tem forma cilíndrica. Entretanto, o jato é definido por uma superfície lisa que aumenta de tamanho conforme se afasta da fonte e tem a trajetória curva, tendo portanto a forma de uma secção de cone fletido. Em geral, o jato em forma de cone fletido tem uma área projetada que difere substancialmente da área projetada de um cilindro. Assim, o crescimento e os termos de curvatura são necessários para descrever com precisão a área projetada do jato (FRICK, 1984).

GREGÓRIO (2009) descreve, minuciosamente, a teoria do modelo, assumido que a pluma está em estado estacionário. A pluma permanece invariante enquanto elementos que se deslocam por ela mudam sua forma e posição com o tempo. No entanto, condições podem ser alteradas, em intervalos de tempo maiores quando comparados ao tempo decorrente da diluição inicial. O estado estacionário pressuposto é utilizado para determinar o comprimento do jato, em função da velocidade média instantânea, o seu comprimento inicial, e a velocidade inicial do efluente. Deste modo, o comprimento do elemento não é geralmente mantido constante, sendo alterado de acordo com as variações de velocidade do meio. Com isto, o raio do elemento deve responder a esta convergência ou divergência de velocidade, bem como o entranhamento.

O limite exterior da pluma coincide inicialmente com a borda do orifício que lança o efluente. Para integração a partir da condição inicial, e utilizando condições de borda, o volume do jato é calculado baseando-se na massa entranhada e assumindo a forma do elemento. Pressupõe-se que as propriedades da pluma na fronteira são indistinguíveis das do ambiente adjacente. Isto implica que a massa que atravessa a área projetada do jato possui a mesma velocidade do ambiente.

O modelo inclui princípios de conservação de massa (continuidade), momentum horizontal e energia. O momentum vertical não é conservado porque é normalmente alterado pela flutuabilidade do jato.

A conservação do momento é dada por:

$$\frac{dm}{dt} \cdot \vec{v} = \vec{u} \cdot \frac{dm}{dt} - m \cdot \frac{\rho_a - \rho}{\rho} \cdot \vec{g} \quad (2)$$

onde m é a massa de cada elemento da pluma ($m = \rho \pi b^2 h$), ρ_a e ρ são as densidades do ambiente e do elemento, respectivamente e \vec{g} é o vetor aceleração gravidade.

Idealmente, \vec{u} representa a velocidade média da corrente e \vec{v} é a velocidade dos elementos que compõem o jato.

A Equação 2 indica que a mudança no momento da pluma é devido a introdução de momento pelo entranhamento de massa dm e a mudança no momento vertical é gerado pela força de empuxo. Para avaliar o termo de empuxo na equação de conservação do momento, é necessário definir a equação de conservação de energia, que é:

$$\frac{dmc_p(T - T_{ref})}{dt} = c_p(T_a - T_{ref}) \frac{dm}{dt} \quad (3)$$

onde c_p é o calor específico a pressão constante; T , T_a e T_{ref} são as temperaturas médias do elemento, a temperatura do ambiente, e uma temperatura de referência arbitrária, respectivamente.

A conservação de salinidade é expressa por:

$$\frac{dmS}{dt} = S_a \frac{dm}{dt} \quad (4)$$

onde S_e e S_a são as salinidades do elemento e do ambiente, respectivamente.

A densidade é derivada da equação de estado definida por TEETER & BAUMGARTNER (1979). Esta equação é independente da pressão, limitando UM3 a águas rasas.

Três mecanismos de entranhamento são considerados: de Taylor (aspirado), forçado, e área projetada (turbulento). O entranhamento de Taylor é provocado por cisalhamento, pois regiões com alta velocidade são regiões de baixa pressão relativa, provocando fluxo de massa para

dentro do jato. O entranhamento forçado é devido à presença de corrente que causa a advecção da massa para dentro da pluma.

O entranhamento de área projetada é composto de três termos. O primeiro termo é proporcional ao comprimento e ao raio do jato, o segundo ao crescimento em diâmetro da pluma e o terceiro à curvatura da trajetória do jato.

A hipótese do entranhamento da área projetada é descrita pela Equação 5 a seguir:

$$\frac{dm}{dt} = \rho_a A_p u \quad (5)$$

onde dm é o incremento de massa por entranhamento em cada incremento de tempo dt , A_p é a área projetada, u é velocidade da corrente normal à área projetada e ρ_a é a densidade do ambiente.

A Equação 5 é uma expressão parcial para o entranhamento, este estado é parcialmente forçado pelo montante de massa adicionado ao jato no tempo Δt e é igual ao fluxo de massa total sobre sua superfície. A Equação 6 completa do entranhamento é a soma desta forçante com os termos do entranhamento de Taylor:

$$\frac{dm}{dt} = -\rho \frac{\rightarrow}{A_p} \frac{\rightarrow}{U} + \rho A_t v_t \quad (6)$$

onde A_t é a área do jato em contato com o fluido ambiente e v_t é a velocidade de aspiração de Taylor.

A área do jato em contato com o ambiente, A_t é descrita por:

$$A_t = 2\pi b h \quad (7)$$

onde h e b são o comprimento e o raio do jato, respectivamente.

A velocidade de aspiração de Taylor, v_t , é frequentemente relacionada à velocidade média da pluma através do coeficiente de proporcionalidade α :

$$v_t = \alpha \left| \frac{\rightarrow}{V} \right| \quad (8)$$

Quando as plumas adjacentes crescem significativamente, elas se fundem e se entranham umas às outras. Fusão de plumas tem o efeito imediato de reduzir entranhamentos, reduzindo a área de contato entre a

pluma e seus arredores. Apenas a fusão das plumas adjacentes lançadas por difusores lineares são considerados no UM3.

A aproximação básica para a fusão de jatos é a seguinte:

1) Redução das áreas de entranhamento, tanto de Taylor quanto forçado, e a perda de superfície exposta que ocorre quando jatos vizinhas interferem uns com os outros;

2) Confinar a massa do jato no espaço entre o que é conhecido e disponível pelas considerações simétricas. Assume-se que os jatos são idênticos e qualquer interação entre elas é recíproca. Para completa descrição do problema, as bordas e as condições iniciais devem ser especificadas. A condição de borda é o local e a subsequente posição onde a pluma vai ser determinada pela integração das equações. Uma outra condição de borda é o raio inicial da pluma. Condições iniciais incluem o fluxo de velocidade, a temperatura do efluente, etc.

Em geral o procedimento computacional descrito pelo modelo é:

1) O incremento de tempo é estabelecido;

2) As equações de entranhamento são usadas para determinar a quantidade de massa que vai ser adicionada neste incremento de tempo;

3) Este aumento é então comparada com o aumento de massa e as devidas adaptações são feitas para o incremento de tempo e as componentes de entranhamento satisfazer os critérios apropriados;

4) As equações de movimento e outras equações do modelo são resolvidas;

5) Um novo incremento de tempo é estabelecido e o ciclo se repete.

3.2.2 Modelo de decaimento bacteriano proposto por MANCINI (1978)

MANCINI (1978) em seu estudo, propôs estimativas numéricas do decaimento de bactérias do grupo coliforme em águas doces e salgadas, considerando os efeitos da radiação solar e temperatura. A base de dados utilizada no desenvolvimento deste modelo foi obtida através de valores obtidos na literatura, através de experimentos realizados em laboratório e medições “in situ” (FEITOSA, 2007). Com base nos dados observados, foi verificada a seguinte relação, que expressa a variação da taxa de decaimento (kt) em função da temperatura, onde são utilizados valores de k_{20} para águas salgadas.

$$k_T = k_{20} \times 1,07^{(T-20)} \quad (9)$$

onde k_T = A taxa de decaimento para uma temperatura t qualquer (dia^{-1}), k_{20} = Taxa de decaimento a 20°C (dia^{-1}) e T = Temperatura em °C

Para a variação da taxa de decaimento de acordo com a salinidade do meio, utiliza-se a Equação 10, onde se considera uma salinidade em torno de 35 psu, correspondente a um percentual de água salgada igual a 100.

$$k_s = 0,8 + 0,006(\% \text{água salgada}) \quad (10)$$

Na Equação 11, é apresentada a relação entre a taxa de decaimento e a ação conjunta da salinidade e temperatura.

$$k_{Ts} = [0,8 + 0,006(\% \text{água salgada}) \times 1,07^{(T-20)}] \quad (11)$$

Como já foi visto, a radiação solar é o fator de maior influência no decaimento de bactérias do grupo coliforme em ambientes aquáticos. Com base nisso, é introduzida na Equação 11 a influência da radiação solar. Assim, a equação final, onde são considerados os três fatores, pode ser vista na Equação 12:

$$k_{Ts} = [0,8 + 0,006(\% \text{água salgada}) \times 1,07^{(T-20)} + \bar{I}] \quad (12)$$

onde taxa de decaimento (k_{Ts}) é dada em dia^{-1} e a radiação solar em langley/hora ($1 \text{langley} = 1 \text{cal/cm}^2$).

Segundo MANCINI (1978), a equação apresentada fornece uma estimativa aproximada da taxa de decaimento de bactérias do grupo coliforme em corpos d'água. Entretanto deve ser levado em consideração que houve alguma dispersão entre os valores calculados e observados.

3.3 DADOS DE ENTRADA

Os dados de entrada solicitados pelo modelo utilizado são basicamente três: características ambientais como correntes atuantes, temperatura da água, densidade da água; características do emissário

como profundidade dos difusores, diâmetro do difusor, espaçamento entre difusores, número de difusores; e características do efluente como vazão, densidade e temperatura. Para a aquisição de dados das características dos difusores e características ambientais, foi utilizado como base o Estudo de Impacto Ambiental e Estudo Oceanográfico para Emissários Submarinos de Esgoto Tratado do SES Ingleses, realizado pela Univalli em março de 2009, que tinha como objetivo conseguir o licenciamento ambiental do empreendimento. Já para os dados de características do efluente, foram consultadas a CASAN (Companhia Catarinense de Água e Saneamento) para se obter dados de temperatura e densidade do efluente, e o estudo populacional de CAMPANÁRIO (2007), para se chegar às vazões do efluente gerado pela população atendida pelo empreendimento.

3.3.1 Características do Difusor

O difusor deve ser concebido de forma a potencializar a diluição inicial para assim alcançar a diluição mínima de 1:100. Segundo dados disponibilizados pela CASAN para a realização do EIA/RIMA, os difusores estariam localizados a uma profundidade de 15 metros, ao longo de 40 metros de comprimento, com cinco pares de portas, cada porta com 3 polegadas de diâmetro, distantes 10 metros entre si. Essas informações estão sintetizadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Características do difusor do emissário de Ingleses.

Profundidade do difusor	15 m
Número de portas	10
Espaçamento entre portas	10 m
Diâmetro das portas	3"
Orientação do difusor	90°

Além desses dados, o modelo ainda considera o coeficiente de descarga das portas difusoras. Esse coeficiente varia conforme a geometria do difusor, carga total da seção da tubulação e velocidade de lançamento pelo orifício. RAGGHIANI (2010) propôs um

dimensionamento hidráulico para o Emissário Submarino de Ingleses, para isso adotou a geometria de difusores apresentada na Figura 20, e assim, pôde calcular esse coeficiente chegando ao valor de 0,876 , que será o valor adotado para o presente estudo.

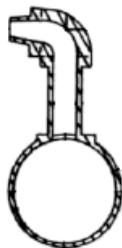


Figura 20 - Detalhe da geometria do difusor adotada.
Fonte: RAGGHIANI (2010).

As características dos difusores, descritas no EIA/RIMA, foram dimensionadas para uma vazão menor do que as que foram adotadas neste estudo. Com isso, é possível que essas condições dos difusores possam não suportar as cargas aplicadas para esses valores de vazão. Mesmo assim, optou-se por utilizar essas características de difusores com intuito de se realizar uma comparação com a situação proposta pela CASAN, mas é importante observar que os valores de diluição final podem estar sendo superestimados, já que para um correto dimensionamento seriam usadas tubulações de diâmetro maior, o que resultaria numa velocidade de saída do efluente menor, e como consequência, numa diluição menor.

3.3.2 Características do Efluente

Para se obter as vazões de projeto do efluente a ser destinado pelo SDO, foi necessário buscar dados de um estudo populacional para se encontrar a quantidade de efluente gerado pela população atendida.

Para a estimativa da população contribuinte, foi utilizado um estudo populacional do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis - IPUF, realizado por CAMPANÁRIO (2007). Neste estudo foram contemplados diversos aspectos demográficos tais como o ajuste das populações censitárias, os níveis de fecundidade, mortalidade e saldos migratórios, o número total de ligações elétricas no município,

e taxa média de ocupação das residências. Dessa maneira, o autor pôde projetar o crescimento populacional dos distritos do município até o ano de 2050. Além disso, com a análise do incremento da quantidade de lixo coletada na alta temporada, o autor estimou um número de visitantes que Florianópolis recebe anualmente, e assim, pôde calcular a população flutuante para as populações totais e por distrito. Com base nesse estudo, foi possível obter dados da população futura, residente e flutuante, para o distrito de Ingleses.

Em comparação com os dados obtidos pelo último censo do IBGE, CAMPANÁRIO (2007) apresenta, geralmente, populações maiores. Isso é justificado pelo autor, que para o caso particular do município de Florianópolis, a metodologia do recenseamento pode trazer omissões, já que o intenso fluxo migratório e as visitas de veraneio não conseguem ser bem aferidas pelo censo. Mesmo sendo realizado em 2007, antes do último censo em 2010, o estudo traz projeções mais fideis a realidade, devido aos instrumentos utilizados. A Tabela 20 apresenta a projeção de população de Florianópolis por distrito.

Tabela 20 - Projeção da população de Florianópolis por distritos.

	2010	2015	2025	2035
Sede - Ilha	204.467	237.392	291.720	332.296
Sede - Continente	101.579	105.100	120.515	136.333
Barra da Lagoa	7.360	8.119	9.402	10.485
Cachoeira do Bom Jesus	26.416	28.616	31.416	33.588
Campeche	34.738	41.639	53.937	63.565
Canasvieiras	31.348	34.411	39.322	43.742
Ingleses	39.759	44.988	52.923	58.958
Lagoa da Conceição	17.523	19.914	23.728	26.975
Pântano do Sul	9.300	10.209	11.620	12.786
Ratones	4.829	5.912	7.577	8.969
Ribeirão da Ilha	27.064	28.058	29.843	31.558
Rio Vermelho	13.958	17.146	23.441	29.315
Sto. Ant. Lisboa	7.378	8.214	9.783	11.116
TOTAL	525.719	589.720	705.227	799.687

Se formos analisar a região do Norte da Ilha de Santa Catarina, nos deparamos com a seguinte projeção para seus 4 distritos, como mostra a Tabela 21.

Tabela 21 - Projeção da população da região do Norte da Ilha de Santa Catarina.

	2010	2015	2025	2035
Cachoeira do Bom Jesus	26.416	28.616	31.416	33.588
Canasvieiras	31.348	34.411	39.322	43.742
Inglese	39.759	44.988	52.923	58.958
Rio Vermelho	13.958	17.146	23.441	29.315
TOTAL	111.481	125.161	147.102	165.603

Para o distrito de Inglese, a população residente para cada bairro e a população total do distrito, podem ser observadas na Tabela 22.

Tabela 22 - Projeção da população residente dos bairros do distrito Inglese.

	2010	2015	2025	2035
Inglese Norte	544	611	699	757
Inglese Centro	6.659	7.803	9.591	11.100
Capivari	23.503	26.110	29.707	32.469
Inglese Sul	2.464	2.819	3.462	4.016
Dunas dos Inglese	1.126	1.231	1.388	1.485
Santinho	5.463	6.413	8.076	9.131
TOTAL	39.759	44.988	52.923	58.958

Para o período de alta temporada, o distrito de Inglese apresentou grande variação populacional, recebendo acréscimos de população maiores do que a população residente fixa. A projeção para as

próximas décadas indica que essa proporção tende a aumentar ainda mais, como pode ser observado na Tabela 23.

Tabela 23 - Projeção da porcentagem de população flutuante com respeito à residente do distrito Ingleses.

	2010	2015	2025	2035
Pop. Flutuante (%)	163,7	175,9	203,3	221,8

Dessa maneira, em épocas de altas temporadas, a população do distrito de Ingleses apresenta intensos incrementos de população flutuante, que, somada a população residente, atinge os maiores valores de população total no distrito, como pode ser observado na Tabela 24.

Tabela 24 - Projeção da porcentagem de população flutuante com respeito à residente do distrito Ingleses.

	2010	2015	2025	2035
Pop. Residente	39.759	44.988	52.923	58.958
Pop. Flutuante	65.068	79.150	107.611	130.758
TOTAL	104.827	124.138	160.534	189.717

Para a concepção de projetos de saneamento, deve-se considerar que o sistema deverá atender de maneira satisfatória na sua pior condição possível, que seria o período de maior geração de esgoto, quando há a presença da maior população a ser atendida. No caso do distrito de Ingleses, a temporada de veraneio produz as maiores vazões de esgoto, sendo assim, foi considerado o acréscimo da população flutuante à população residente para o cálculo dessa vazão. Também foram levados em conta o consumo per capita e o coeficiente de retorno água/esgoto para o município de Florianópolis.

Segundo o estudo "Abastecimento de água e esgotamento sanitário nas capitais brasileiras, em 2004", realizado com os indicadores e dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2004), o consumo per capita médio calculado para a cidade de Florianópolis foi de 163L/hab.d.

Segundo ZORAIA et al. (1996), em seu estudo "Abastecimento urbano de água em Florianópolis: em busca da sustentabilidade", onde

foi observado que a vazão captada pela CASAN é de 1600 L/s, o consumo médio para 458.015 habitantes resulta em aproximadamente 302 L/hab.dia. Levando em conta as perdas no sistema de 36% (IBAM, 1994; SILVA, 1996), este valor cai para 193 L/hab.dia, valor inferior aos usualmente empregados em projetos desta natureza (200 a 250 L/hab.dia). Optou-se então, para o presente estudo, por se utilizar do valor de 200 L/hab.dia.

Segundo SOUZA (2005), o coeficiente de retorno é a relação média entre o volume de esgoto produzido e de água efetivamente consumida. Entende-se por consumo efetivo aquele registrado na micromedição da rede de distribuição de água descartando-se as perdas no sistema de abastecimento. Parte desse volume efetivo não chega aos coletores de esgoto, pois conforme a natureza do consumo, perde-se por evaporação, infiltração ou escoamento superficial. Além disso, é conveniente a investigação da existência de outras fontes de abastecimento de água, que podem elevar o volume de esgoto produzido até mesmo acima do volume registrado nos hidrômetros, caso de indústrias, hospitais e outros contribuintes singulares.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 9649) recomenda a utilização de um coeficiente de retorno igual 0,8 quando inexistem dados locais oriundos de pesquisas, que é o caso de Florianópolis.

Segundo TSUTIYA (1999), a vazão de projeto resulta da Equação 13.

$$Q = P \cdot C \cdot c \quad (13)$$

onde Q é a vazão, P é a população atendida em projeto, C é o coeficiente de retorno água/esgoto e c é o consumo per capita.

Deverá também ser calculada a vazão máxima ao longo do ano e ao longo do dia. Para isto, serão utilizados os coeficientes do dia de maior consumo (K1) e da hora de maior consumo (K2), como sugere a Equação 14:

$$Q_{max} = Q_{med} \cdot K1 \cdot K2 \quad (14)$$

Para CETESB apud TSUTIYA (1999), após medições em sistemas operantes a muitos anos, nos municípios de Valinhos e Iracemápolis, recomenda-se para tais coeficientes os seguintes valores, encontrados na Tabela 25:

Tabela 25 - Faixa de valores recomendados pela CETESB para os coeficientes K1 e K2.

K1	1,25 - 1,42
K2	2,08 - 2,35

Respeitando essa margem, adotou-se para esse estudo os valores de $K1 = 1,40$ e $K2 = 2,30$.

Diferente da maioria dos SDOs, que lançam um efluente com apenas tratamento preliminar, no SDO de Ingleses, pretende-se lançar um efluente com tratamento terciário. Como a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do sistema não se encontra em operação ainda, buscou-se dados de efluente de saída (já tratados) de outra ETE que tivesse o um nível de tratamento parecido e com características populacionais semelhantes, já que os padrões e costumes da população influenciam as características do esgoto. Dessa maneira, buscou-se, através da disponibilização da CASAN, dados referentes a ETE Insular, localizada na região central do município de Florianópolis, que possui um nível de tratamento secundário. O objetivo foi utilizar características bem próximas das que poderão ocorrer na saída da ETE em Ingleses e, como consequência, no lançamento do SDO Ingleses. Os dados disponibilizados dizem respeito a uma série histórica dos anos de 2008, 2009 e 2010, para os parâmetros temperatura e o indicador *Escherichia coli*, que podem ser encontrados no Anexo 1. O indicador *Escherichia coli* foi utilizado como base nas simulações para se analisar a sua concentração no efluente, ao longo da diluição promovida pelo sistema e do decaimento bacteriano em decorrência do meio marinho, para isso usou-se o seu valor máximo amostrado na série analisada.

A densidade do efluente foi calculada com os valores de temperatura e salinidade do efluente pela aplicação da Equação Internacional do Estado da Água do Mar (UNESCO, 1983), que é representada de maneira simplificada, pela Tabela 26. Sendo assim, considerou-se os valores de temperatura do efluente medidos e uma salinidade constante de 5 psu, devida a presença de cloretos em efluentes.

Tabela 26 - Massa específica da água (Kg/m³) em função da temperatura (°C) e da salinidade (psu).

		Temperatura [°C]					
		0	4	10	20	30	40
Salinidade [psu]	0	999,9	1000,0	999,7	998,3	995,7	992,3
	5	1004,0	1004,0	1003,7	1002,1	999,4	995,9
	35	1028,2	1027,8	1027,0	1024,8	1021,8	1018,0

Fonte: FRANCO (2009)

3.3.3 Características do Ambiente

As séries temporais de correntes e temperatura foram adquiridas durante 31 dias consecutivos (22/03/2007 12:00h até 23/04/2007 12:00h), para a realização do EIA/RIMA Ingleses. A extração de dados de corrente do ambiente foi realizada através de um perfilador acústico (ADP) marca *Sontek* de 250MHz, que foi instalado na suposta localização dos difusores, a 1700 metros da linha da praia e a 15 metros de profundidade, fazendo medições ao longo da coluna de água. Junto com o equipamento de medição das correntes foram instalados sensores de temperatura *StowAway Tidbit* marca *Onset*, ao longo da coluna de água. A série temporal desta variável é a mesma do parâmetro citado anteriormente (22/03/2007 12:00h até 22/04/2007 12:00h). A Figura 21 mostra os equipamentos utilizados no levantamento dos dados e a Figura 22 mostra o mapa com a localização do ponto de amostragem. Os dados de correntes amostrados encontram-se no Anexo 2.



Figura 21 - Detalhe dos equipamentos que foram utilizados no levantamento dos dados. A) Perfilador acústico de correntes; B) Termômetro.

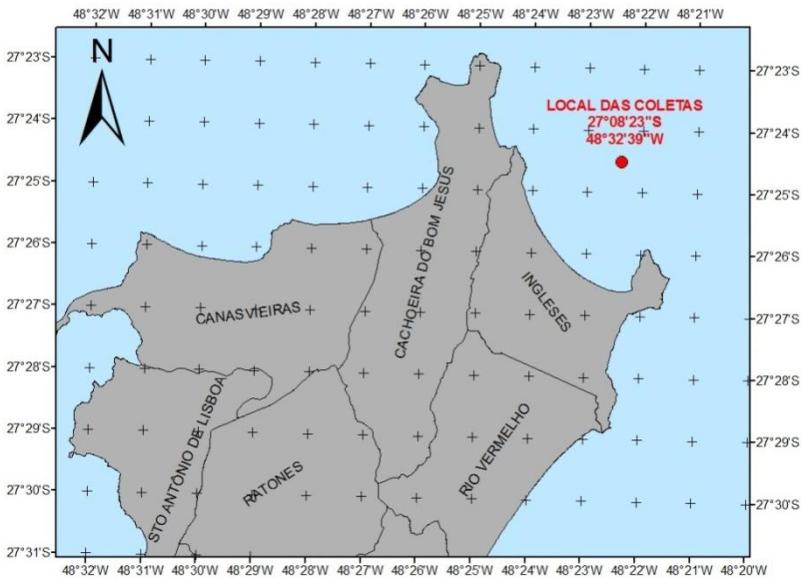


Figura 22 - Localização do ponto de amostragem para os dados ambientais.

Com esses dados, foi construído um gráfico com as temperaturas dos diversos níveis amostrados, ao longo do tempo de amostra, como mostra a Figura 23.

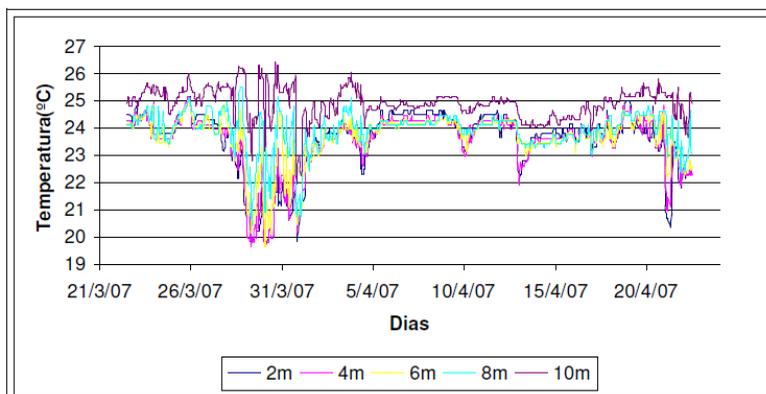


Figura 23 - Distribuição da Temperatura ao longo do tempo amostrado.
 Fonte: EIA/RIMA Ingleses.

Para se estimar a densidade da água, foram utilizadas as série temporais dos perfis verticais de temperatura medidos ao longo da coluna de água, aplicando a Equação Internacional do Estado da Água do Mar (UNESCO, 1983). Para isso, foi assumida a salinidade constante de 35 psu. A Figura 24 demonstra a evolução temporal da estrutura de densidades nas diferentes profundidades ao longo da série analisada.

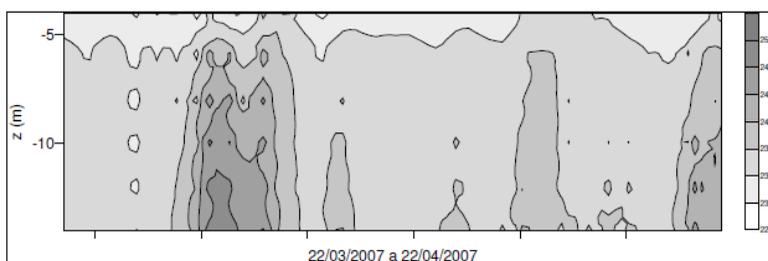


Figura 24 - Evolução da estratificação de densidade na coluna de água no ponto de lançamento de Ingleses.
 Fonte: EIA/RIMA Ingleses.

Para a caracterização do decaimento bacteriano, são necessários dados de radiação solar incidente, salinidade e temperatura. Como esses dois últimos parâmetros já estavam disponíveis para o *softwear* na caracterização ambiental, foi necessário buscar ainda dados de radiação

incidente na área de estudo. Para isso, a EPAGRI/CIRAM disponibilizou dados da Estação Meteorológica Automática Florianópolis 1006, localizada na Ilha de Santa Catarina, sob as coordenadas 27°34'52''S e 48°30'25''O, a uma altitude de 5 m, onde utilizou-se uma série amostrada de julho de 2006 até maio de 2011, para a variável Radiação Média (W/m^2), como pode ser vista na Tabela 27. Para o coeficiente de extinção da luz, que representa o percentual de luz que consegue penetrar na água do mar ao longo da profundidade, utilizou-se o *default* do programa.

Tabela 27 - Dados de Radiação Média (W/m^2) ao longo dos meses amostrados.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2006	-	-	-	-	-	-	111,8	142,6	165,5	172,3	183,4	231,3
2007	222,6	202,2	202	129	98,96	109,2	107,7	100,7	150,5	166,8	206,6	227,4
2008	203,7	211,3	166,6	145,7	118,2	98,43	117,4	104,9	139,3	131,7	144,4	242
2009	214,3	182,2	191,8	159,6	122,2	110	92,88	138,7	114,9	159,9	204,9	-
2010	202,3	198,6	167,8	121,8	-	-	79,23	125,6	123,4	171,5	209,1	189,1
2011	187,6	167,3	147,7	152	177,4	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: EPAGRI/CIRAM.

Para as simulações, será utilizado um único valor de radiação, que foi obtido a partir da média dos dados disponíveis, representando assim, um valor médio de decaimento bacteriano. Com o modelo de MANCINI (1978), será possível considerar diferentes decaimentos bacterianos, em função da luminosidade que atinge as diferentes profundidades, chegando-se mais próximo do que ocorre na realidade.

4. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos no presente estudo. Inicialmente serão apresentados os resultados da determinação das características ambientais e do efluente, que foram utilizados como dados de entrada para a modelagem. Posteriormente, será apresentada a formação dos cenários propostos para as simulações. Em seguida, serão apresentados os resultados das simulações para o campo próximo, com os diferentes cenários propostos.

4.1 ANÁLISE DOS DADOS

4.1.1 Dados do Efluente

Utilizando as equações 13 e 14, obteve-se os seguintes resultados de vazões de efluente geradas pela população estimada:

Tabela 28 - Vazão média gerada pela população estimada.

Ano	2010	2015	2025	2035
Pop. Residente	0,0736	0,0833	0,0980	0,1092
Pop. Flutuante	0,1205	0,1466	0,1993	0,2421
TOTAL	0,1941	0,2299	0,2973	0,3513

Tabela 29 - Vazão máxima gerada pela população estimada.

Ano	2010	2015	2025	2035
Pop. Residente	0,2371	0,2683	0,3156	0,3516
Pop. Flutuante	0,3880	0,4720	0,6417	0,7797
TOTAL	0,6251	0,7402	0,9573	1,1313

Para a temperatura do efluente, não foram observadas grandes variações de um ano para o outro, tanto para as temperaturas máximas,

mínimas e médias. A Tabela 30 sintetiza os dados de temperatura do efluente da série analisada para os anos de 2008, 2009 e 2010.

Tabela 30 - Temperaturas do efluente para os anos de 2008, 2009 e 2010.

Ano	2008	2009	2010
Temp. Média (°C)	23,69	24,42	23,86
Temp. Mínima (°C)	19,50	19,70	18,60
Temp. Máxima (°C)	28,40	28,00	29,70

Com a análise da série percebe-se que o efluente mantém um padrão anual de temperatura, como pode ser observado na Figura 25. No verão, são observadas as temperaturas máximas para o efluente e, a medida que o inverno vai se aproximando, as temperatura caem, até chegar às temperaturas mínimas. Sendo assim, nota-se uma forte influência da temperatura ambiente na temperatura do efluente.

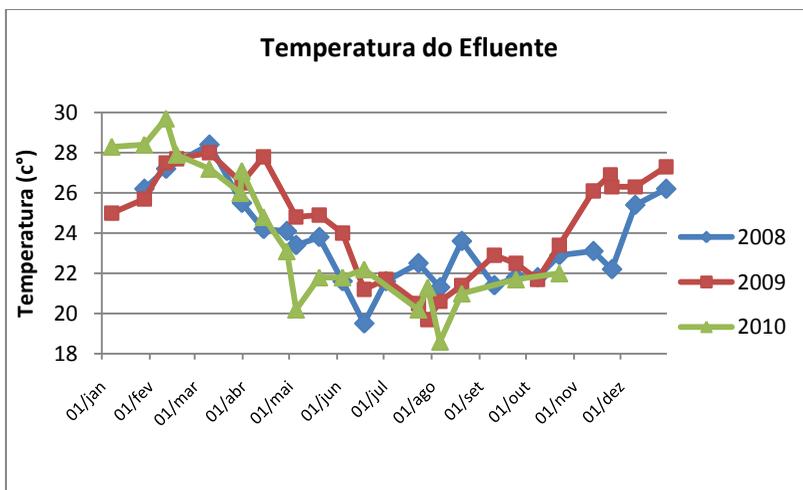


Figura 25 - Temperatura do efluente ao longo dos meses.

Para a densidade do efluente, percebe-se uma certa variação significativa. Obteve-se valores entre 999,68 mg/L para o efluente a

temperatura de 29,7 °C, e 1002,42 mg/L para o efluente a temperatura de 18,6 °C.

A concentração do indicador *Escherichia coli* amostrado revela que esse padrão sofre variações significativas ao se analisar as concentrações mínimas, máximas e médias. A Tabela 31 sintetiza os dados da presença do indicador *Escherichia coli* no efluente da série analisada para os anos de 2008, 2009 e 2010.

Tabela 31 - Presença do indicador *Escherichia coli* no efluente para os anos de 2008, 2009 e 2010.

Ano	2008	2009	2010
E. coli Média (NMP/100 mL)	26.176	742.814	4.058.476
E. coli Mínima (NMP/100 mL)	1.500	170	31.000
E. coli Máxima (NMP/100 mL)	120.000	3.800.000	24.000.000

Com a análise da série, percebe-se que o efluente não mantém padrão algum nessas variações, não existindo uma sazonalidade para isso. Essas variações chegam a ter valores significativos e podem ocorrer num curto intervalo de tempo, como pode ser observado na Figura 26. A explicação para isso pode ser um brusco intervalo chuvoso, fazendo com que o efluente seja diluído. O indicador *Escherichia coli* servirá como base nas simulações para se analisar a sua concentração no efluente, ao longo da diluição promovida pelo sistema e do decaimento bacteriano em decorrência do meio marinho, para isso será utilizado o seu valor máximo amostrado nas séries analisada, que é de 24.000.000 NMP/100mL.

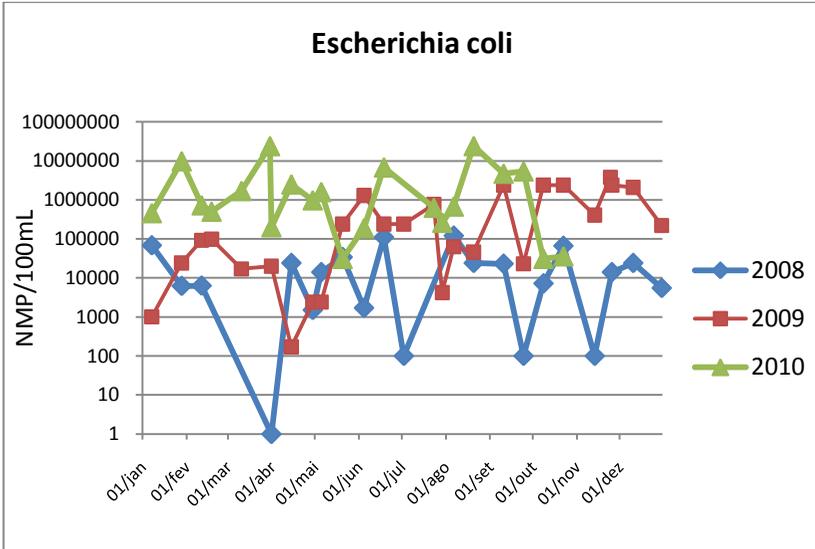


Figura 26 - Concentração de Escherichia coli no efluente ao longo dos meses.

4.1.2 Dados Ambientais

As correntes amostradas apresentaram uma velocidade média de 10,65 cm/s. Observou-se uma velocidade média no fundo (9,60 cm/s) ligeiramente menor que o valor encontrado na superfície (12,42 cm/s). As componentes médias Leste (VE) e Norte (VN), velocidade e direção da corrente medida ao longo da coluna d'água, na área estudada, podem ser conferidas na Tabela 32. Os valores em metros referem-se a profundidade de amostragem. Apesar dos valores terem sido adquiridos a cada metro optou-se em apresentar a análise em cinco pontos ao longo da coluna de água, sendo satisfatório para caracterizar os fluxos hidrodinâmicos no local do estudo.

Tabela 32 - Valores médios das componentes Leste (VE) e Norte (VN), velocidade e direção da corrente medida ao longo da coluna d'água na área de estudo.

Profundidade	VE	VN	Velocidade	Direção
(m)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(graus)
0,6	3,52	-3,36	12,42	166,87
2,6	2,93	-3,64	10,97	168,95
5,6	1,76	-3,08	10,37	176,57
8,6	1,11	-2,21	9,91	181,33
11,6	0,29	-1,14	9,6	181,45

Os dados de corrente foram sintetizados e serão apresentados de acordo com as seguintes variáveis: velocidade (ou intensidade) média, velocidade (ou intensidade) máxima e porcentagem de ocorrência. Essas tabelas encontram-se disponíveis no Anexo 2. A visualização da distribuição de correntes, de acordo com as diferentes variáveis, pode ser mais facilmente analisada com o auxílio dos gráficos das Figuras 27, 28 e 29. Neles, as direções são interpretadas como apresenta a Tabela 33, desse modo, parte-se de 0° em norte no sentido horário, assim os valores vão aumentando gradativamente, até se completar uma volta novamente em norte, zerando a contagem.

Tabela 33 - Direções das correntes.

DIREÇÃO	sigla	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
	graus	0	22,5	45	67,5	90	113	135	158	180	203	225	248	270	293	315	338

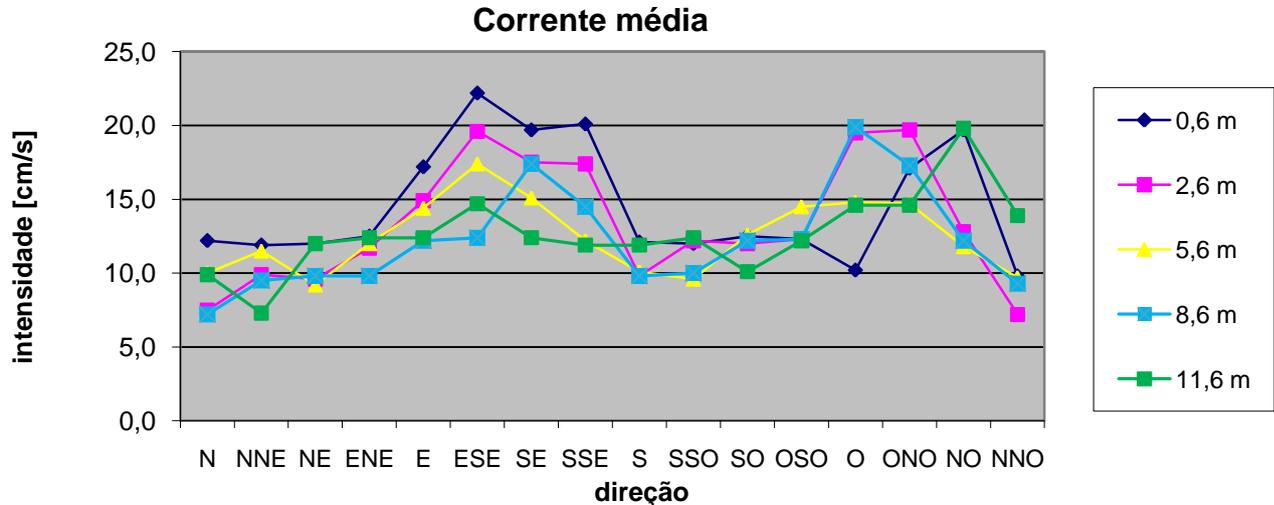


Figura 27 - Distribuição das velocidades médias nas diferentes direções de correntes.

Observando-se a Figura 27, percebe-se que o fator profundidade interferiu ligeiramente nas intensidades médias das correntes, sendo que quanto mais profundo, menor a velocidade anotada. De maneira geral, houve uma predominância das direções ESE e SE, seguidas das direções O, ONO e NO para as diferentes profundidades analisadas. A maior intensidade de corrente média encontrada foi para o nível 0,6 m com o valor de 22,2 cm/s na direção ESE, e o menor valor foi de 7,2 cm/s na direção N para o nível 8,6 m.

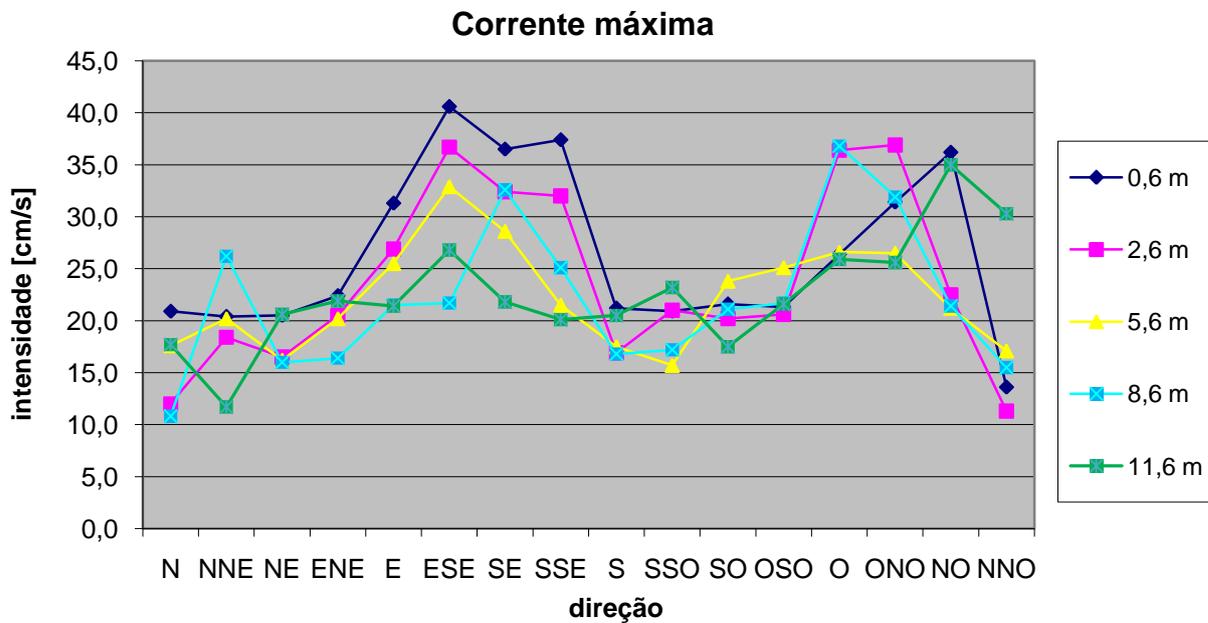


Figura 28 - Distribuição das velocidades máximas nas diferentes direções de correntes.

Com a análise da Figura 28, percebe-se uma leve influência da profundidade, dessa vez na intensidade máxima de corrente, quanto mais profundo, menor a velocidade máxima registrada. A predominância das direções das intensidades máximas seguiu o mesmo perfil das intensidades médias, foi observada a predominância de ESE e SE, seguidas das direções O, ONO e NO para as diferentes profundidades analisadas. A maior intensidade de corrente máxima encontrada foi de 40,6 cm/s na direção ESE no nível 0,6 m, e o menor valor foi de 7,2 cm/s na direção NNO para o nível 2,6 m.

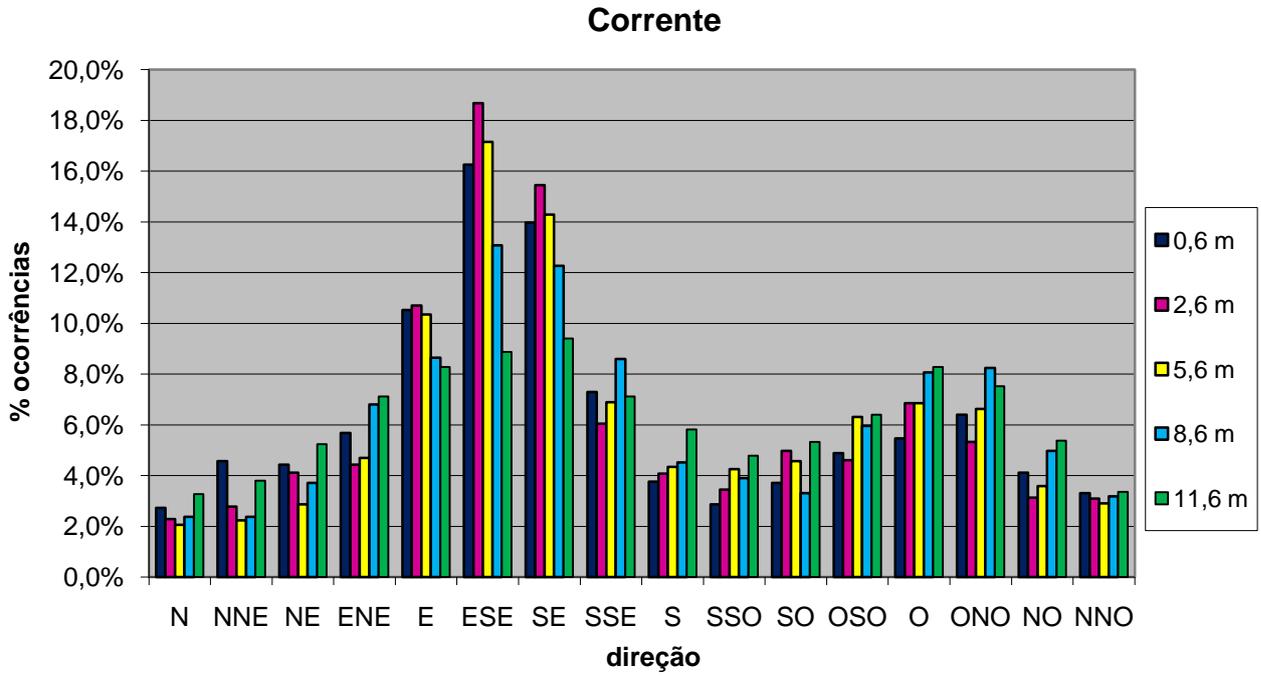


Figura 29 - Distribuição da ocorrência das diferentes direções de correntes.

Nota-se, pela Figura 29, que há uma intensa predominância da ocorrência de dois quadrantes de direção. Com a grande predominância das ocorrências, as direções E, ESE e SE aparecem com maior frequência, seguida das direções O e ONO. A predominância desses dois quadrantes pode ser explicada devido a duas condições naturais da Enseada de Ingleses: direção para que a praia está voltada e as condições meteorológicas atuantes.

De maneira simplificada, há duas forçantes meteorológicas atuantes na Ilha de Santa Catarina, isso devido a presença do principal fenômeno meteorológico: a passagem de Frentes Frias. Uma delas é o sistema pré-frontal (antes da passagem da frente), associado a temperaturas do ar quente e a presença de vento do quadrante norte. A outra, trata-se do sistema pós-frontal (após a passagem da frente), quando as temperaturas se apresentam menores e os ventos do quadrante sul. Esses ventos exercem influência direta sobre as correntes marinhas, que passam a seguir o mesmo comportamento espectral de direção dos ventos. Assim, ao longo da costa catarinense, que de maneira generalizada se apresenta voltada para leste, as correntes geradas pela passagem da frente, correm paralelas a costa, predominantemente, nas direções norte e sul. Pelo fato da Enseada de Ingleses ser voltada na direção nordeste, as correntes nessa região assumem direção predominante sudeste e noroeste, de maneira a se deslocarem paralelas a linha de costa da Enseada de Ingleses, e dessa maneira, são representadas coerentemente pelos dados analisados anteriormente.

A temperatura média na superfície foi 24,9°C, enquanto no fundo foi de 23,5°C. A Tabela 34 apresenta um resumo das temperaturas medidas no período amostrado, ao longo da profundidade.

Tabela 34 - Valores de temperatura da água médios, máximos e mínimos nas profundidades de 2, 4, 6, 8 e 10 m.

Profundidade	Mínimas	Médias	Máximas
(m)	(°C)	(°C)	(°C)
2	22	25	26
4	20	24	25
6	20	24	25
8	20	23	25
10	20	24	25

Observa-se que os valores médios a 10 m de profundidade (24°C), são maiores que os a 8 m de profundidade (23°C), mostrando um comportamento não regular, já que o esperado seria a temperatura diminuir gradativamente conforme o aumento das profundidades.

As temperaturas medidas de 4 a 10 m de profundidade são iguais, tanto nos valores máximos quanto nos mínimos. Já na superfície, a 2 m de profundidade, há uma diferença de 1°C nos valores máximos e 2°C nos mínimos em relação aos outros, indicando uma pequena estratificação. A Figura 30 apresenta uma representação gráfica da tabela síntese de temperaturas.

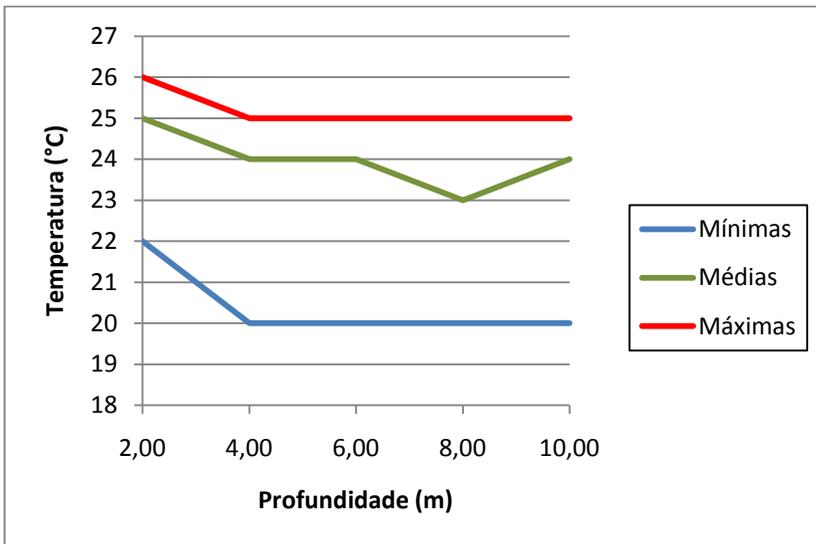


Figura 30 - Representação gráfica das temperaturas em relação as profundidades.

Os episódios de baixas temperaturas registrados pela instrumentalização utilizada no EIA/RIMA, podem estar relacionados a ação do vento nordeste e como consequência, pelas correntes do quadrante norte, que particularmente na Enseada de Ingleses, atua com predominância noroeste, como foi medido nas séries temporais.

Mesmo não se obtendo uma amostragem ao longo de um ano inteiro, foi possível observar que a variação da temperatura da água possui como principal fator de influência a presença do fenômeno da

ressurgência, e não a sazonalidade verão-inverno, como costuma-se pensar leigamente.

Para a densidade da água, encontrou-se valores entre 1023 mg/L e 1025 mg/L, como apresentada de forma resumida a Tabela 35.

Tabela 35 - Valores de densidade da água médios, máximos e mínimos nas profundidades de 2, 4, 6, 8 e 10 m.

Profundidade (m)	Mínimas (mg/L)	Médias (mg/L)	Máximas (mg/L)
2	1023,04	1023,34	1024,22
4	1023,34	1023,64	1024,76
6	1023,34	1023,64	1024,76
8	1023,34	1023,94	1024,76
10	1023,34	1023,64	1024,76

Assim, foi possível produzir a Figura 31, que demonstra a estrutura de densidades nas diferentes profundidades, de acordo com as temperaturas medidas.

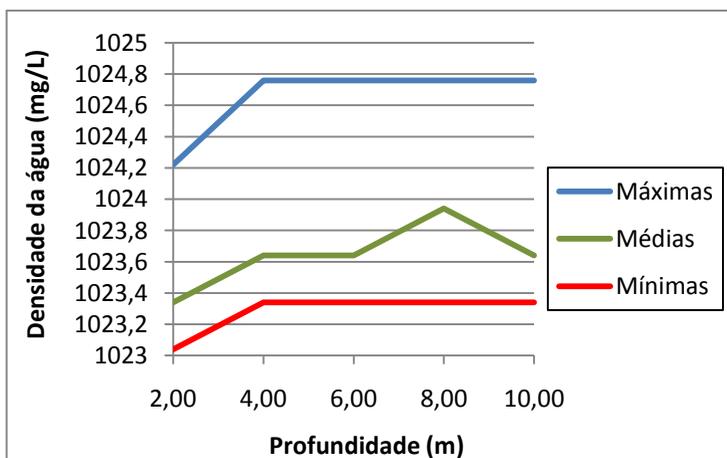


Figura 31 - Densidade na coluna de água no ponto de lançamento de Ingleses.

Percebe-se uma simetria inversa em relação ao gráfico das temperaturas da água, dessa forma, quanto maior foi a temperatura da água, menor foi a densidade da água.

Analisando-se a evolução temporal da estrutura de densidades nas diferentes profundidades ao longo da série analisada, como mostra a Figura 24, nota-se que a coluna de água permanece homogênea em grande parte do tempo amostrado, porém, há períodos de estratificação, quando águas mais densas são empurradas em direção a superfície. Segundo CARVALHO et al.,(1998) esse padrão se apresenta comum nos meses de verão quando os ventos norte e nordeste são mais consistentes e persistentes, permitindo a advecção das águas superficiais para fora da costa, fazendo com águas profundas ressurgam próximo a costa, no fenômeno da ressurgência. Sendo assim, períodos em que há estratificação da coluna de água, podem estar ligados a presença de águas mais frias, que por sua vez estão ligados a presença de correntes do quadrante norte, que por sua vez estão ligados a presença persistente de ventos desse mesmo quadrante.

Com a série de radiação amostrada pela estação meteorológica da EPAGRI/CIRAM, foi possível construir o gráfico da Figura 32. Nele é possível perceber uma forte tendência sazonal na variação da radiação.

Nos meses de verão, os valores permanecem mais altos, enquanto que nos meses de inverno esses valores caem bastante. Isso se deve, principalmente, a diferença de insolação diária, ou seja, os dias de verão são mais longos que os dias de inverno, como consequência, a radiação solar incidente sofre uma variação anual, que se comporta de maneira muito semelhante de um ano para o outro. Para as pequenas variações medidas num mesmo mês em diferentes anos, pode se correlacionar a presença de nebulosidade, que é muito variável e não possui uma tendência tão definida como a insolação, podendo variar significativamente em qualquer época do ano, e de um ano para o outro.

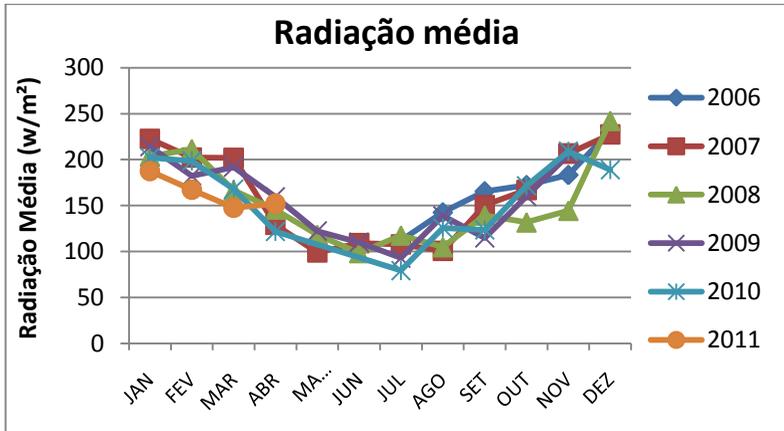


Figura 32 - Radiação média medida ao longo dos meses.

A partir desses dados, foi realizada uma média, que obteve o valor de 158 W/m^2 , que ao se converter para a unidade langleys por hora, que é a unidade de entrada no programa, chegou-se ao valor de $13,61 \text{ ly/h}$.

4.2 CENÁRIOS PROPOSTOS

Para a realização das simulações, foram criados diferentes cenários buscando caracterizar a área de estudo da maneira mais próxima da real. Foram considerados os fenômenos meteorológicos e oceanográficos típicos da região. Também foram escolhidos os episódios de maior frequência no tempo amostrado. Além desses, foram criados cenários pessimistas, a fim de se averiguar o potencial de diluição do SDO para as piores condições naturais possíveis.

Ainda com o objetivo de se representar cenários mais realistas possíveis, considerou-se a possibilidade de diferentes comportamentos ao longo de 5 profundidades no perfil vertical da coluna de água, para isso, assumiu-se que não houve variação vertical das propriedades entre tais profundidades, repetindo-se os valores de corrente ou temperatura desses limites até a profundidade inferior ou até o fundo, no caso do nível mais profundo. Foram propostos dois valores de vazão de efluente, o valor máximo calculado atual (ano de 2010) e o máximo calculado para o ano de 2035, que seria o tempo de retorno estipulado para o projeto do emissário.

Com o intuito de se analisar a influência da temperatura e densidade do efluente nos resultados gerados pelas simulações, buscou-se repetir um dos cenários citados, variando-se apenas tais características. Sendo assim, foram criados sete cenários diferentes, que podem ser encontrados esquematizados na Figura 33.

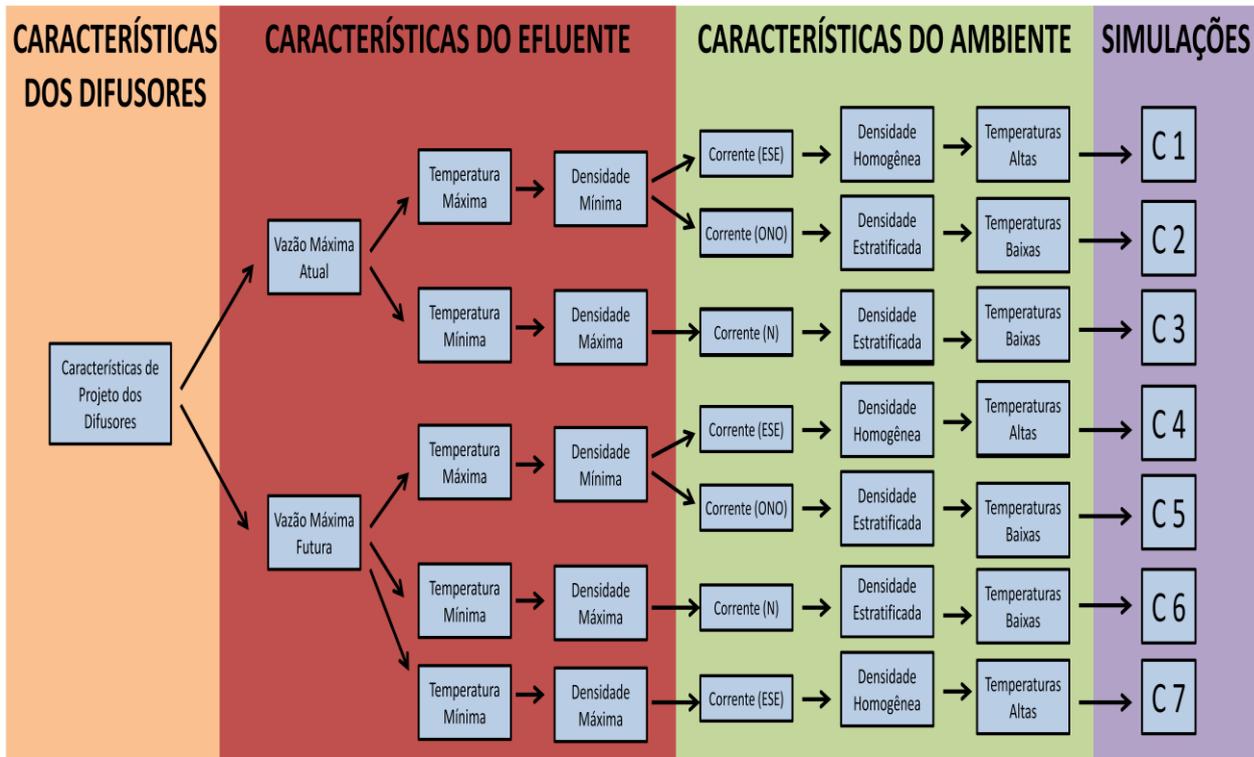


Figura 33 - Esquematisação dos cenários propostos para as simulações.

Para o Cenário 1 (C1), utilizou-se a vazão do efluente máxima calculada atual. A temperatura do efluente considerada foi a máxima e sua densidade a mínima, representando um período de verão. Para as correntes, foram utilizadas as de maior dominância, ou seja, com a combinação de maior intensidade e número de ocorrências, em cada profundidade analisada, que de maneira geral assumiu direção ESE. As intensidades de corrente utilizadas foram as máximas amostradas. Para a temperatura da água utilizou-se os valores máximos de cada nível e a densidade adotada foi de uma coluna homogênea. Sendo assim, buscou-se representar um cenário mais provável das condições oceanográficas de maneira que correntes, temperaturas e densidades se apresentassem coerentes, de acordo com os fenômenos existentes. A Tabela 36 sintetiza as condições adotadas para o Cenário 1.

Tabela 36 - Síntese das características adotadas para o Cenário 1.

CARACTERÍSTICAS DO DIFUSOR	Profundidade do difusor		15 m		
	Número de portas		10		
	Espaçamento entre portas		10 m		
	Diâmetro das portas		3"		
	Orientação do difusor		90°		
CARACTERÍSTICAS DO EFLENTE	Vazão		0,6251 m³/s		
	Temperatura		29,70 °C		
	Densidade		999,68 mg/L		
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE	Profundidade	Direção da Corrente	Intensidade da Corrente	Temperatura da água	Densidade da água
	0,6m	158 °	40,6 cm/s	26 °C	1023,04 mg/L
	2,6m	158 °	36,7 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L
	5,6m	158 °	32,9 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L
	8,6m	135°	32,6 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L
	11,6m	158 °	26,8 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L

Para o Cenário 2 (C2), utilizou-se a vazão do efluente máxima calculada atual. A temperatura do efluente considerada foi a máxima e sua densidade a mínima, representando um período de verão. Para as correntes, foram utilizadas as de segunda maior dominância para cada profundidade analisada, que, de maneira geral, assumiu direção ONO. As intensidades de corrente utilizadas foram as máximas amostradas. Para a temperatura e densidade da água foram utilizados valores de uma coluna estratificada. Sendo assim, buscou-se representar um cenário bem provável das condições oceanográficas de maneira que correntes, temperaturas e densidades se apresentassem coerentes, de acordo com os fenômenos existentes, representando um episódio de ressurgência. A Tabela 37 sintetiza as condições adotadas para o Cenário 2.

Tabela 37- Síntese das características adotadas para o Cenário 2.

CARACTERÍSTICAS DO DIFUSOR	Profundidade do difusor		15 m		
	Número de portas		10		
	Espaçamento entre portas		10 m		
	Diâmetro das portas		3"		
	Orientação do difusor		90°		
CARACTERÍSTICAS DO EFLENTE	Vazão		0,6251 m³/s		
	Temperatura		29,70 °C		
	Densidade		999,68 mg/L		
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE	Profundidade	Direção da Corrente	Intensidade da Corrente	Temperatura da água	Densidade da água
	0,6m	315°	36,2 cm/s	20°	1024,76 mg/L
	2,6m	293°	36,9 cm/s	20°	1024,76 mg/L
	5,6m	270°	26,6 cm/s	20°	1024,76 mg/L
	8,6m	270°	36,8 cm/s	22°	1024,22 mg/L
	11,6m	315°	35,0 cm/s	22°	1024,22 mg/L

Para o Cenário 3 (C3), buscou-se representar um cenário pessimista, dessa maneira, utilizou-se as menores intensidades de corrente médias amostradas, que assumiram direção predominante de N. Para a vazão de efluente, foi utilizada a máxima calculada atual. A temperatura do efluente considerada foi a mínima e sua densidade a máxima, representando um período de inverno. Para que houvesse coerência com a direção de corrente escolhida, considerou-se uma situação de temperatura e densidade da água de uma coluna estratificada, já que as correntes são do quadrante norte. A Tabela 38 sintetiza as condições adotadas para o Cenário 3.

Tabela 38 - Síntese das características adotadas para o Cenário 3.

CARACTERÍSTICAS DO DIFUSOR	Profundidade do difusor		15 m		
	Número de portas		10		
	Espaçamento entre portas		10 m		
	Diâmetro das portas		3"		
	Orientação do difusor		90°		
CARACTERÍSTICAS DO EFLENTE	Vazão		0,6251 m³/s		
	Temperatura		18,60 °C		
	Densidade		1002,42 mg/L		
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE	Profundidade	Direção da Corrente	Intensidade da Corrente	Temperatura da água	Densidade da água
	0,6m	22,5°	11,9	20°	1024,76 mg/L
	2,6m	0°	7,5	20°	1024,76 mg/L
	5,6m	45°	9,2	20°	1024,76 mg/L
	8,6m	0°	7,2	22°	1024,22 mg/L
	11,6m	22,5°	7,3	22°	1024,22 mg/L

Para o Cenário 4 (C4), utilizou-se a vazão do efluente máxima calculada para o ano de 2035. A temperatura do efluente considerada foi a máxima e sua densidade a mínima, o que representa um período de verão. Para as correntes, foram utilizadas as de maior dominância em cada profundidade analisada, que de maneira geral assumiu direção ESE. As intensidades de corrente utilizadas foram as máximas amostradas. Para a temperatura da água utilizou-se os valores máximos de cada nível e a densidade adotada foi de uma coluna homogênea. Sendo assim, buscou-se representar um cenário mais provável das condições oceanográficas de maneira que correntes, temperaturas e densidades se apresentassem coerentes, de acordo com os fenômenos existentes. A Tabela 39 sintetiza as condições adotadas para o Cenário 4.

Tabela 39 - Síntese das características adotadas para o Cenário 4.

CARACTERÍSTICAS DO DIFUSOR	Profundidade do difusor		15 m		
	Número de portas		10		
	Espaçamento entre portas		10 m		
	Diâmetro das portas		3"		
	Orientação do difusor		90°		
CARACTERÍSTICAS DO EFLENTE	Vazão		1,1313 m³/s		
	Temperatura		29,70 °C		
	Densidade		999,68 mg/L		
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE	Profundidade	Direção da Corrente	Intensidade da Corrente	Temperatura da água	Densidade da água
	0,6m	158 °	40,6 cm/s	26 °C	1023,04 mg/L
	2,6m	158 °	36,7 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L
	5,6m	158 °	32,9 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L
	8,6m	135°	32,6 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L
	11,6m	158 °	26,8 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L

Para o Cenário 5 (C5), utilizou-se a vazão do efluente máxima calculada para o ano de 2035. A temperatura do efluente considerada foi a máxima e sua densidade a mínima, representando um período de verão. Para as correntes, foram utilizadas as de segunda maior dominância para cada profundidade analisada, que de maneira geral assumiu direção ONO. As intensidades de corrente utilizadas foram as máximas amostradas. Para a temperatura e densidade da água foram utilizados valores de uma coluna estratificada. Sendo assim, buscou-se representar um cenário bem provável das condições oceanográficas de maneira que correntes, temperaturas e densidades se apresentassem coerentes, de acordo com os fenômenos existentes, representando um episódio de ressurgência. A Tabela 40 sintetiza as condições adotadas para o Cenário 5.

Tabela 40 - Síntese das características adotadas para o Cenário 5.

CARACTERÍSTICAS DO DIFUSOR	Profundidade do difusor		15 m		
	Número de portas		10		
	Espaçamento entre portas		10 m		
	Diâmetro das portas		3"		
	Orientação do difusor		90°		
CARACTERÍSTICAS DO EFLENTE	Vazão		1,1313 m³/s		
	Temperatura		29,70 °C		
	Densidade		999,68 mg/L		
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE	Profundidade	Direção da Corrente	Intensidade da Corrente	Temperatura da água	Densidade da água
	0,6m	315°	36,2 cm/s	20°	1024,76 mg/L
	2,6m	293°	36,9 cm/s	20°	1024,76 mg/L
	5,6m	270°	26,6 cm/s	20°	1024,76 mg/L
	8,6m	270°	36,8 cm/s	22°	1024,22 mg/L
	11,6m	315°	35,0 cm/s	22°	1024,22 mg/L

Para o Cenário 6 (C6), buscou-se representar um cenário pessimista, dessa maneira, utilizou-se as menores intensidades de corrente médias amostradas, que assumiram direção predominante de N. Para a vazão de efluente, foi utilizada a máxima calculada para o ano de 2035. A temperatura do efluente considerada foi a mínima e sua densidade a máxima, representando um período de inverno. Para que houvesse coerência com a direção de corrente escolhida, considerou-se uma situação de temperatura e densidade da água de uma coluna estratificada, já que as correntes são do quadrante N. A Tabela 41 sintetiza as condições adotadas para o Cenário 6.

Tabela 41 - Síntese das características adotadas para o Cenário 6.

CARACTERÍSTICAS DO DIFUSOR	Profundidade do difusor		15 m		
	Número de portas		10		
	Espaçamento entre portas		10 m		
	Diâmetro das portas		3"		
	Orientação do difusor		90°		
CARACTERÍSTICAS DO EFLENTE	Vazão		1,1313 m³/s		
	Temperatura		18,60 °C		
	Densidade		1002,42 mg/L		
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE	Profundidade	Direção da Corrente	Intensidade da Corrente	Temperatura da água	Densidade da água
	0,6m	22,5°	11,9	20°	1024,76 mg/L
	2,6m	0°	7,5	20°	1024,76 mg/L
	5,6m	45°	9,2	20°	1024,76 mg/L
	8,6m	0°	7,2	22°	1024,22 mg/L
	11,6m	22,5°	7,3	22°	1024,22 mg/L

Para o Cenário 7 (C7), buscou-se repetir as condições do Cenário 4 (C4), com exceção dos parâmetros temperatura e densidade do efluente, que sofreram variação. Dessa maneira, utilizou-se a vazão do efluente máxima calculada para o ano de 2035. A temperatura do efluente considerada foi a mínima e sua densidade a máxima, representando um período de inverno. Para as correntes, foram utilizadas as de maior dominância em cada profundidade analisada, que de maneira geral assumiu direção ESE. As intensidades de corrente utilizadas foram as máximas amostradas. Para a temperatura da água utilizou-se os valores máximos de cada nível e a densidade adotada foi de uma coluna homogênea. Sendo assim, buscou-se representar um cenário mais provável das condições oceanográficas de maneira que correntes, temperaturas e densidades se apresentassem coerentes, de acordo com os fenômenos existentes. A Tabela 42 sintetiza as condições adotadas para o Cenário 7.

Tabela 42 - Síntese das características adotadas para o Cenário 7.

CARACTERÍSTICAS DO DIFUSOR	Profundidade do difusor		15 m		
	Número de portas		10		
	Espaçamento entre portas		10 m		
	Diâmetro das portas		3"		
	Orientação do difusor		90°		
CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE	Vazão		1,1313 m³/s		
	Temperatura		18,60 °C		
	Densidade		1002,42 mg/L		
CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE	Profundidade	Direção da Corrente	Intensidade da Corrente	Temperatura da água	Densidade da água
	0,6m	158 °	40,6 cm/s	26 °C	1023,04 mg/L
	2,6m	158 °	36,7 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L
	5,6m	158 °	32,9 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L
	8,6m	135°	32,6 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L
	11,6m	158 °	26,8 cm/s	25 °C	1023,34 mg/L

4.3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os resultados obtidos com as simulações foram:

- ✓ O diâmetro da pluma, que é dada em metros, ao final do espalhamento para a diluição máxima obtida;
 - ✓ A diluição final, que é a relação da concentração inicial do efluente com a concentração final do efluente com a água do mar;
 - ✓ A distância horizontal da fonte, que é a distância máxima entre o ponto central da linha dos difusores e o local em que a pluma atinge o final do campo próximo;
 - ✓ Tempo de diluição, que é o tempo necessário para se atingir a diluição promovida no campo próximo;
 - ✓ Concentração final do poluente (indicador *Escherichia coli*), após se atingir a diluição final;
- Também serão apresentados os seguintes gráficos:
- ✓ Elevação da pluma, que representa o caminho da pluma ao longo da coluna d'água no campo próximo;
 - ✓ Propriedades do ambiente, que mostra a variação da densidade do efluente ao longo da profundidade, até atingir a densidade do ambiente;
 - ✓ Trajetória, que exibe como se dá a trajetória da pluma, com uma visão de planta;
 - ✓ Previsão da diluição da pluma, que mostra como que a diluição ocorre na medidas em que se afasta da fonte.

➤ Cenário 1

Para o Cenário 1 (C1) obteve-se os seguintes valores ao final da diluição:

- Diâmetro da pluma: 21,50 m
- Diluição final: 342,1
- Distância horizontal da fonte: 30,50 m
- Tempo de diluição: 103,5 s
- Concentração do poluente: 67.920,2 NMP/ 100mL

Além disso, foram gerados gráficos que se encontram na Figura 34, a seguir:

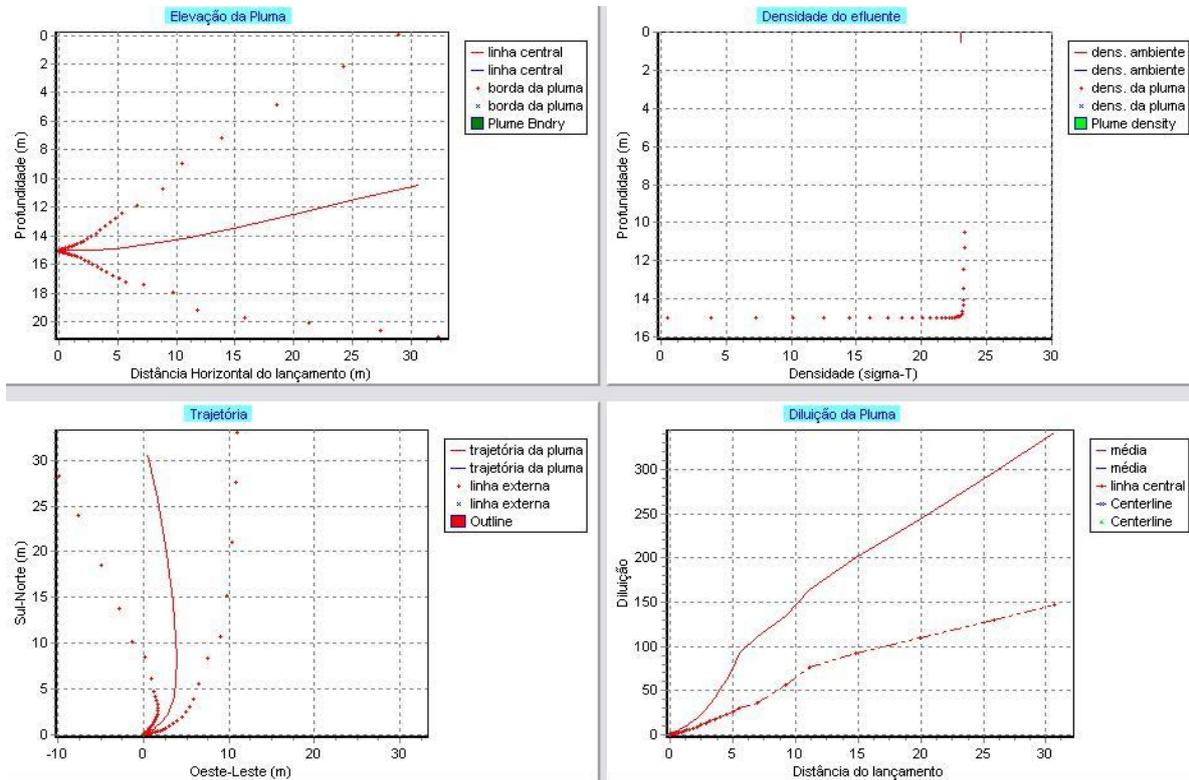


Figura 34 - Gráficos resultantes da simulação para o C1.

Analisando-se os resultados encontrados para o Cenário 1, percebe-se que a pluma se desloca na direção NNO, chegando a superfície a uma distância aproximada de 29,50 m do lançamento, com uma concentração do indicador *Escherichia coli* a 67.920,2 NMP/100mL, estando muito acima do que é permitida pela legislação pertinente, para uma área de contato primário. Como não existem padrões para a zona de mistura, a situação proposta não infringe nenhuma lei. Porém, deve-se atentar a dispersão promovida no campo distante, já que a pluma se desloca com um potencial enorme de contaminação, devido a forte presença do indicador *Escherichia coli*, e pelo fato da região ser circundada de áreas de balneabilidade com outras praias e ilhas próximas. Com exceção desse parâmetro, a promoção de diluição do efluente se apresenta muito eficiente, atingindo o valor de 1:342, o que é maior que o recomendado de 1:100, fazendo com que os demais parâmetros de qualidade de água provavelmente alcancem os padrões estipulados.

➤ Cenário 2

Para o Cenário 2 (C2) obteve-se os seguintes valores ao final da diluição:

- Diâmetro da pluma: 19,89 m
- Diluição final: 540,5
- Distância horizontal da fonte: 41,5 m
- Tempo de diluição: 109,8 s
- Concentração do poluente: 42.933,6 NMP/ 100mL

Também foram gerados os gráficos da Figura 35, a seguir:

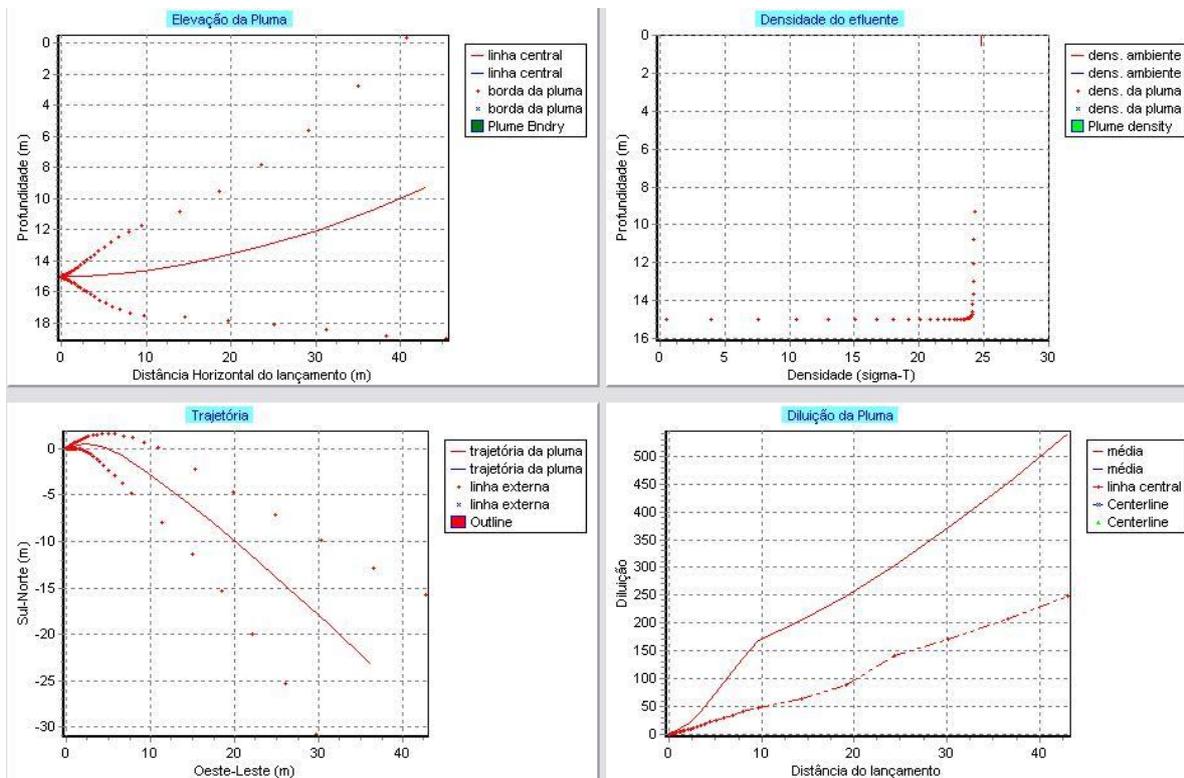


Figura 35 - Gráficos resultantes da simulação para o C2.

Analisando-se os resultados encontrados para o Cenário 2, percebe-se que a pluma se desloca na direção SE, chegando a superfície a uma distância aproximada de 41 m do lançamento, com uma concentração do indicador *Escherichia coli* a 42.933,6 NMP/ 100mL, estando muito acima do que é permitida pela legislação pertinente, para uma área de contato primário. Como não existem padrões para a zona de mistura, a situação proposta não infringe nenhuma lei. Porém, deve-se atentar a dispersão promovida no campo distante, já que a pluma se desloca com um potencial enorme de contaminação, devido a forte presença do indicador *Escherichia coli*, e pelo fato da região ser circundada de áreas de balneabilidade com outras praias e ilhas próximas. Com exceção desse parâmetro, a promoção de diluição do efluente se apresenta muito eficiente, atingindo o valor de 1:540, o que é maior que o recomendado de 1:100, fazendo com que os demais parâmetros de qualidade de água provavelmente alcancem os padrões estipulados.

➤ Cenário 3

Para o Cenário 3 (C3) obteve-se os seguintes valores ao final da diluição:

- Diâmetro da pluma: 12,81 m
- Diluição final: 190,0
- Distância horizontal da fonte: 16 m
- Tempo de diluição: 113,9 s
- Concentração do poluente: 122.271,9 NMP/ 100mL

Também foram gerados os gráficos da Figura 36, a seguir:

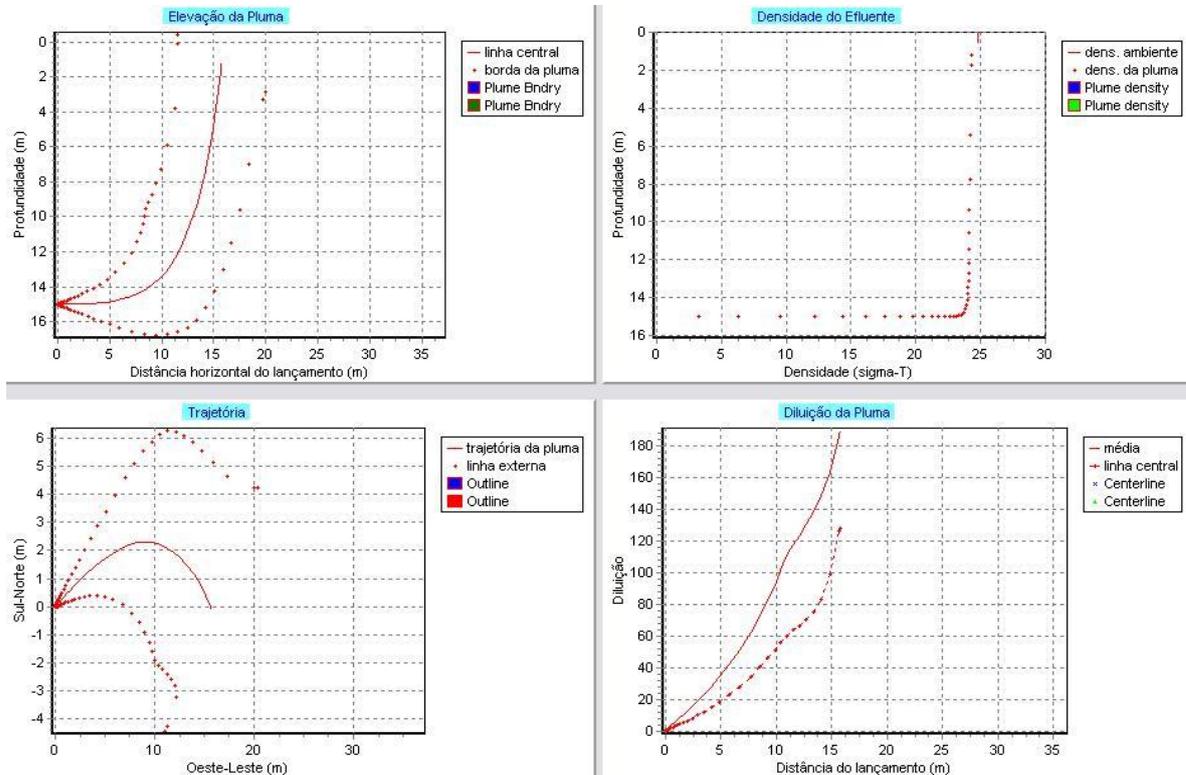


Figura 36 - Gráficos resultantes da simulação para o C3.

Analisando-se os resultados encontrados para o Cenário 3, percebe-se que a pluma se desloca na direção NE e sofre uma brusca mudança para a direção SE, devido a ações das correntes marinhas vindas de N, chegando a superfície a uma distância aproximada de 11 m do lançamento, com uma concentração do indicador *Escherichia coli* a 122.271,9 NMP/ 100mL, estando muito acima do que é permitida pela legislação pertinente, para uma área de contato primário. Como não existem padrões para a zona de mistura, a situação proposta não infringe nenhuma lei. Porém, deve-se atentar a dispersão promovida no campo distante, já que a pluma se desloca com um potencial enorme de contaminação, devido a forte presença do indicador *Escherichia coli*, e pelo fato da região ser circundada de áreas de balneabilidade com outras praias e ilhas próximas. Com exceção desse parâmetro, a promoção de diluição do efluente se apresenta muito eficiente, atingindo o valor de 1:190, o que é maior que o recomendado de 1:100, fazendo com que os demais parâmetros de qualidade de água provavelmente alcancem os padrões estipulados.

➤ Cenário 4

Para o Cenário 4 (C4) obteve-se os seguintes valores ao final da diluição:

- Diâmetro da pluma: 29,09 m
- Diluição final: 264,0
- Distância horizontal da fonte: 22 m
- Tempo de diluição: 58,24 s
- Concentração do poluente: 88.378,9 NMP/ 100mL

Também foram gerados os gráficos da Figura 37, a seguir:

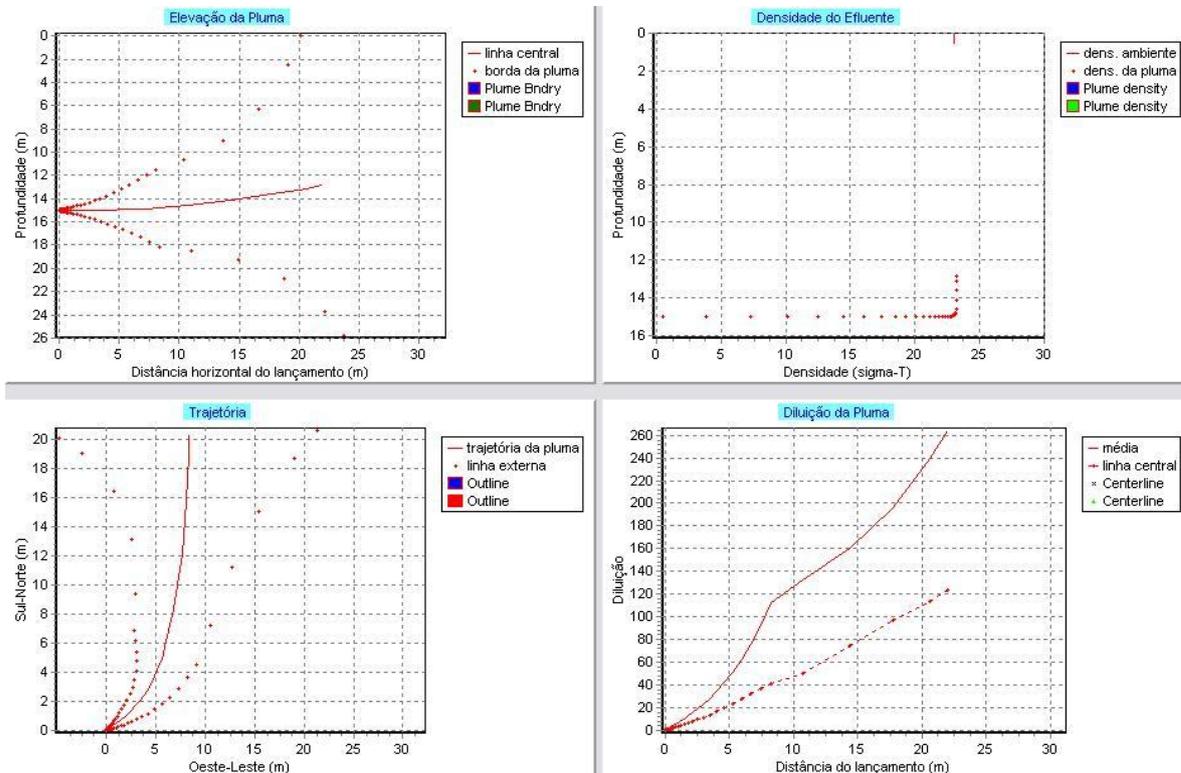


Figura 37 - Gráficos resultantes da simulação para o C4.

Analisando-se os resultados encontrados para o Cenário 4, percebe-se que a pluma se desloca na direção N, chegando a superfície a uma distância aproximada de 20 m do lançamento, com uma concentração do indicador *Escherichia coli* a 88.378,9 NMP/ 100mL, estando muito acima do que é permitida pela legislação pertinente a uma área de contato primário. Como não existem padrões para a zona de mistura, a situação proposta não infringe nenhuma lei. Porém, deve-se atentar a dispersão promovida no campo distante, já que a pluma se desloca com um potencial enorme de contaminação, devido a forte presença do indicador *Escherichia coli*, e pelo fato da região ser circundada de áreas de balneabilidade com outras praias e ilhas próximas. Com exceção desse parâmetro, a promoção de diluição do efluente se apresenta muito eficiente, atingindo o valor de 1:264, o que é maior que o recomendado de 1:100, fazendo com que os demais parâmetros de qualidade de água provavelmente alcancem os padrões estipulados.

➤ Cenário 5

Para o Cenário 5 (C5) obteve-se os seguintes valores ao final da diluição:

- Diâmetro da pluma: 22,03 m
- Diluição final: 409,5
- Distância horizontal da fonte: 41 m
- Tempo de diluição: 91,76 s
- Concentração do poluente: 56.769,7 NMP/ 100mL

Também foram gerados os gráficos da Figura 38, a seguir:

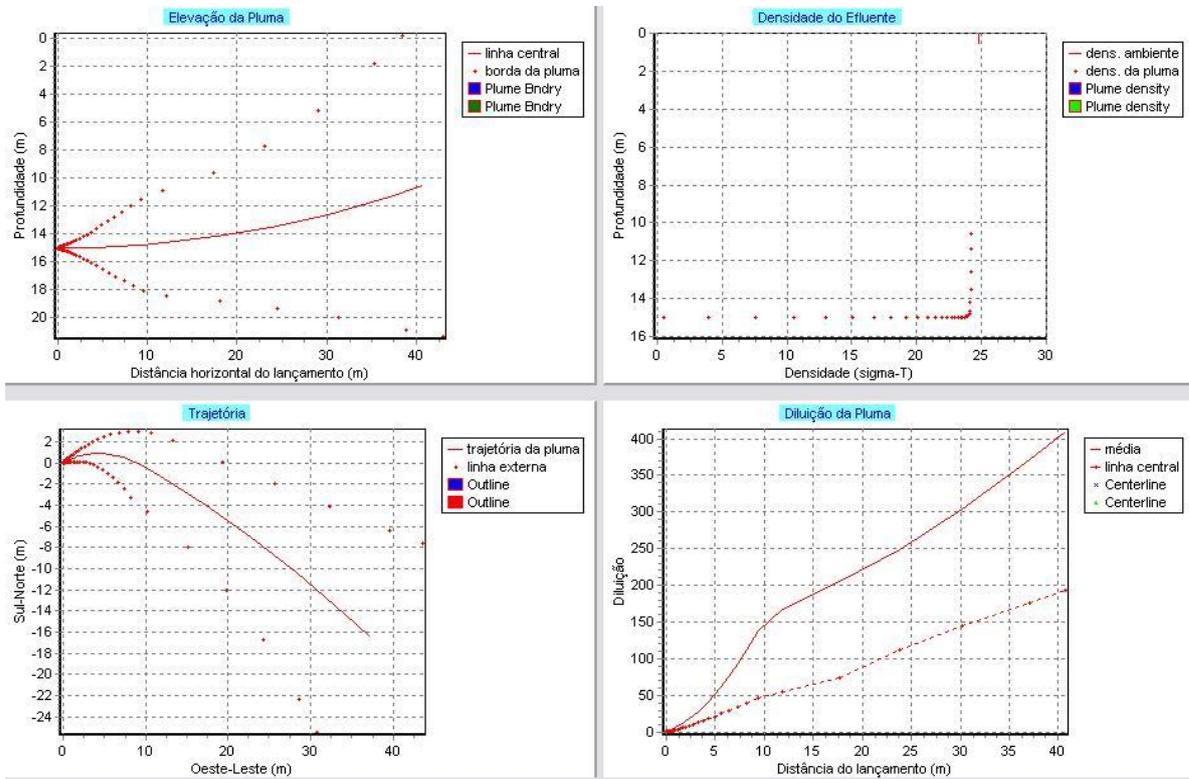


Figura 38 - Gráficos resultantes da simulação para o C5.

Analisando-se os resultados encontrados para o Cenário 5, percebe-se que a pluma se desloca na direção SE, chegando a superfície a uma distância aproximada de 39 m do lançamento, com uma concentração do indicador *Escherichia coli* a 56.769,7 NMP/ 100mL, estando muito acima do que é permitida pela legislação pertinente, para uma área de contato primário. Como não existem padrões para a zona de mistura, a situação proposta não infringe nenhuma lei. Porém, deve-se atentar a dispersão promovida no campo distante, já que a pluma se desloca com um potencial enorme de contaminação, devido a forte presença do indicador *Escherichia coli*, e pelo fato da região ser circundada de áreas de balneabilidade com outras praias e ilhas próximas. Com exceção desse parâmetro, a promoção de diluição do efluente se apresenta muito eficiente, atingindo o valor de 1:409, o que é maior que o recomendado 1:100, fazendo com que os demais parâmetros de qualidade de água provavelmente alcancem os padrões estipulados.

➤ Cenário 6

Para o Cenário 6 (C6) obteve-se os seguintes valores ao final da diluição:

- Diâmetro da pluma: 12,81 m
- Diluição final: 209,3
- Distância horizontal da fonte: 25 m
- Tempo de diluição: 117 s
- Concentração do poluente: 110.968,4 NMP/ 100mL

Também foram gerados os gráficos da Figura 39, a seguir:

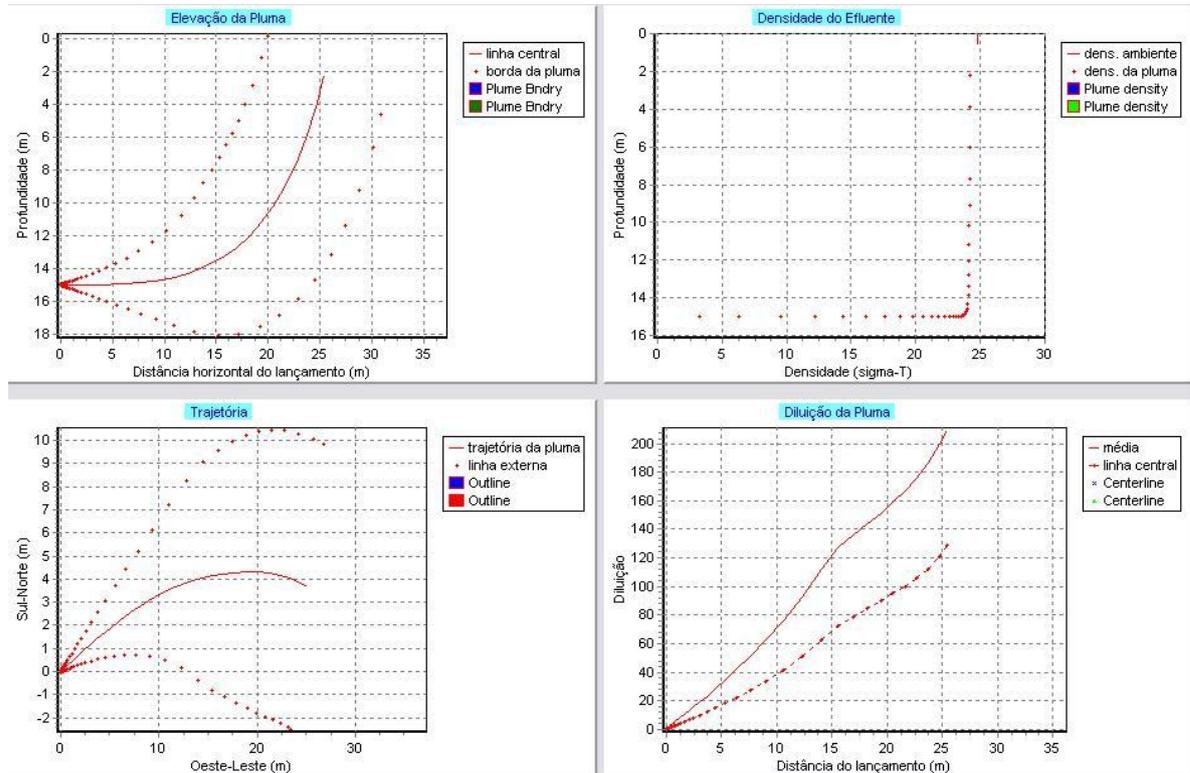


Figura 39 - Gráficos resultantes da simulação para o C6.

Analisando-se os resultados encontrados para o Cenário 6, percebe-se que a pluma se desloca na direção NE e sofre uma brusca mudança para a direção SE, chegando a superfície a uma distância aproximada de 20 m do lançamento, com uma concentração do indicador *Escherichia coli* a 110.968,4 NMP/ 100mL, estando muito acima do que é permitida pela legislação pertinente, para uma área de contato primário. Como não existem padrões para a zona de mistura, a situação proposta não infringe nenhuma lei. Porém, deve-se atentar a dispersão promovida no campo distante, já que a pluma se desloca com um potencial enorme de contaminação, devido a forte presença do indicador *Escherichia coli*, e pelo fato da região ser circundada de áreas de balneabilidade com outras praias e ilhas próximas. Com exceção desse parâmetro, a promoção de diluição do efluente se apresenta muito eficiente, atingindo o valor de 1:209, o que é maior que o recomendado de 1:100, fazendo com que os demais parâmetros de qualidade de água provavelmente alcancem os padrões estipulados.

➤ Cenário 7

Para o Cenário 7 (C7) obteve-se os seguintes valores ao final da diluição:

- Diâmetro da pluma: 26,46 m
- Diluição final: 265,9
- Distância horizontal da fonte: 23 m
- Tempo de diluição: 60,56 s
- Concentração do poluente: 87.973,6 NMP/ 100mL

Também foram gerados os gráficos da Figura 40, a seguir:

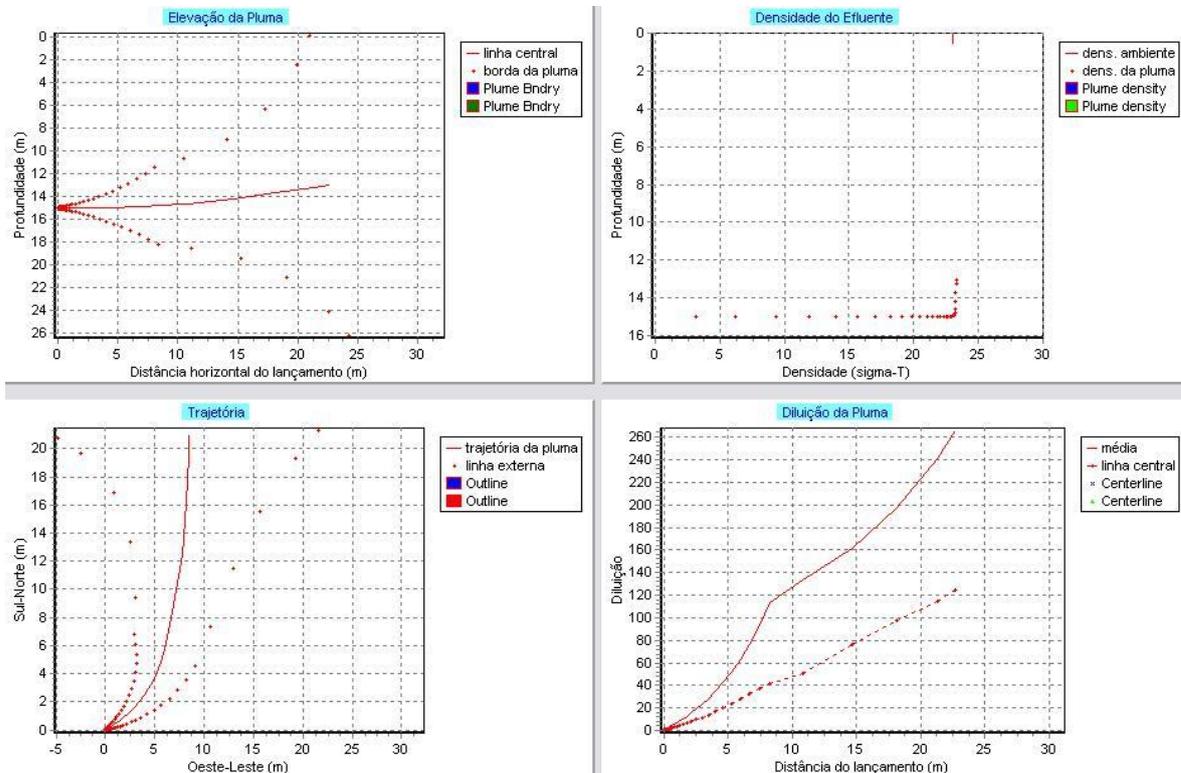


Figura 40 - Gráficos resultantes da simulação para o C7.

Analisando-se os resultados encontrados para o Cenário 7, percebe-se que a pluma se desloca na direção N, chegando a superfície a uma distância aproximada de 21 m do lançamento, com uma concentração do indicador *Escherichia coli* a 87.973,6 NMP/ 100mL, estando muito acima do que é permitida pela legislação pertinente, para uma área de contato primário. Como não existem padrões para a zona de mistura, a situação proposta não infringe nenhuma lei. Porém, deve-se atentar a dispersão promovida no campo distante, já que a pluma se desloca com um potencial enorme de contaminação, devido a forte presença do indicador *Escherichia coli*, e pelo fato da região ser circundada de áreas de balneabilidade com outras praias e ilhas próximas. Com exceção desse parâmetro, a promoção de diluição do efluente se apresenta muito eficiente, atingindo o valor de 1:266, o que é maior que o recomendado de 1:100, fazendo com que os demais parâmetros de qualidade de água provavelmente alcancem os padrões estipulados.

A Figura 41 sintetiza os valores encontrados nas simulações para os diferentes cenários.

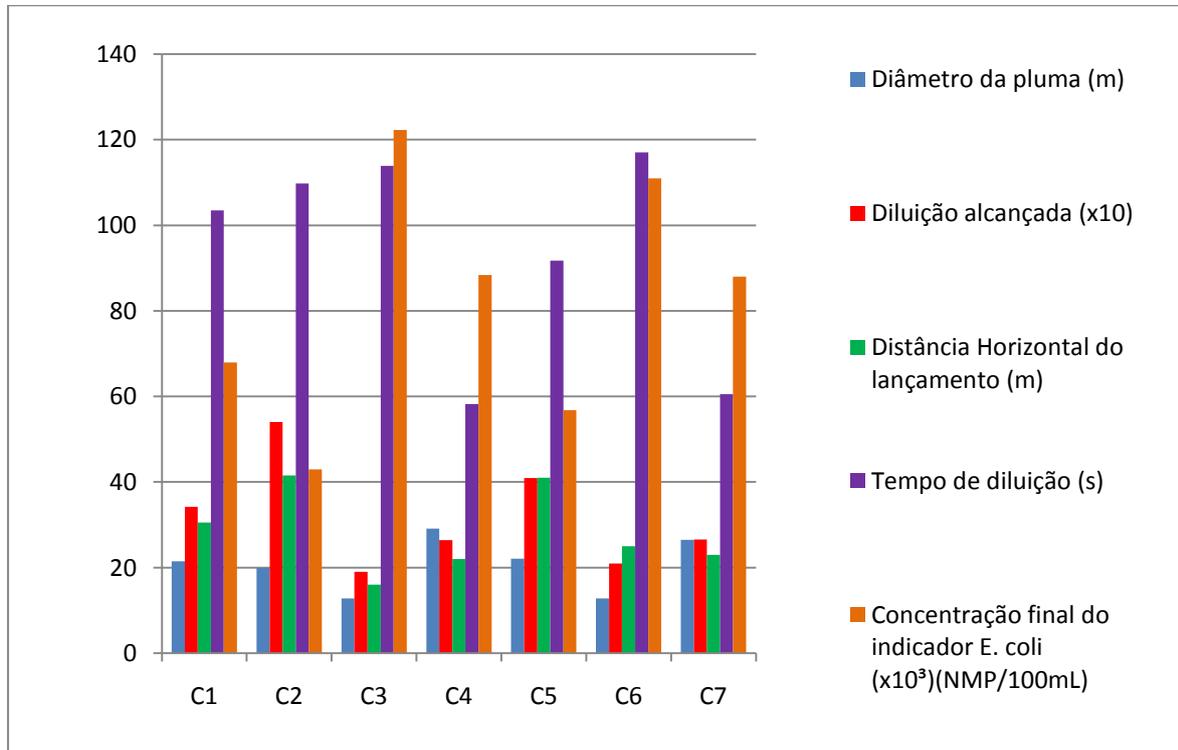


Figura 41 - Síntese dos resultados encontrados nas simulações para os diferentes cenários.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS

Nesta parte, será feita uma comparação analisando-se a influência de cada parâmetro variado nos diferentes cenários. Serão comparados os resultados com a utilização de vazão atual com a vazão futura, temperatura de efluente máxima com temperatura de efluente mínima, coluna de água homogênea com coluna de água estratificada e intensidade de corrente forte com intensidade de corrente fraca.

➤ Vazão Atual X Vazão Futura

Para melhor análise, buscou-se comparar cenários que se comportassem da mesma maneira, mas que variassem apenas o valor de vazão do efluente entre eles. Dessa maneira, foram confrontados o C1 com o C4, o C2 com o C5 e o C3 com o C6. As Figuras 42, 43 e 44 apresentam gráficos que auxiliam nas comparações. Os cenários com vazões de efluente atuais são representados pela cor vermelha e os cenários com vazões de efluente futuras pela cor azul.

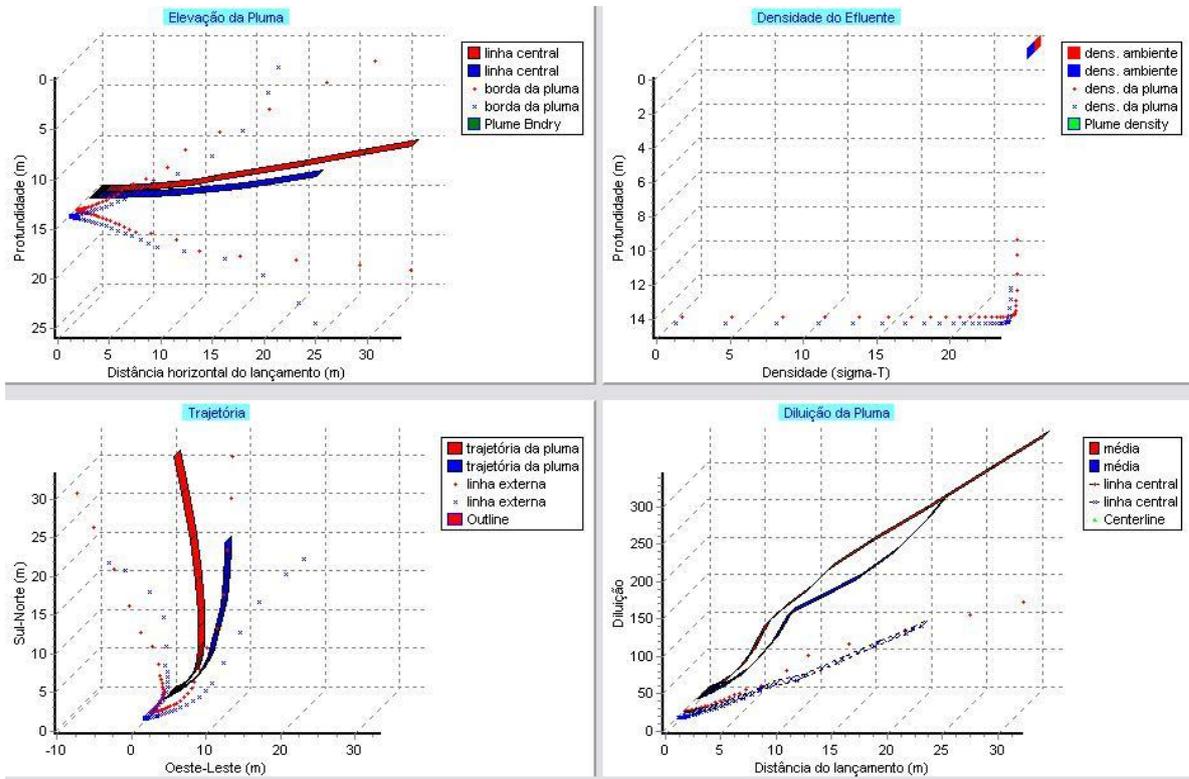


Figura 42 - Gráficos comparativos entre os cenários C1 (vermelho) e C4 (azul).

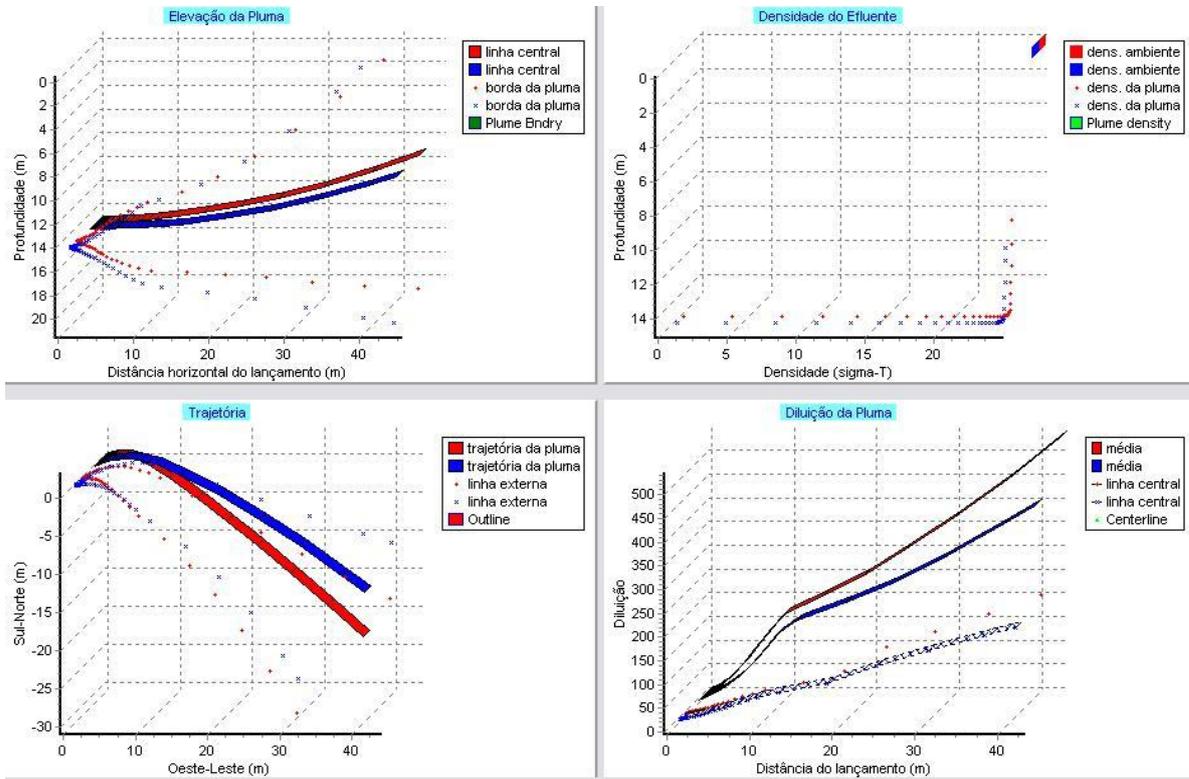


Figura 43 - Gráficos comparativos entre os cenários C2 (vermelho) e C5 (azul).

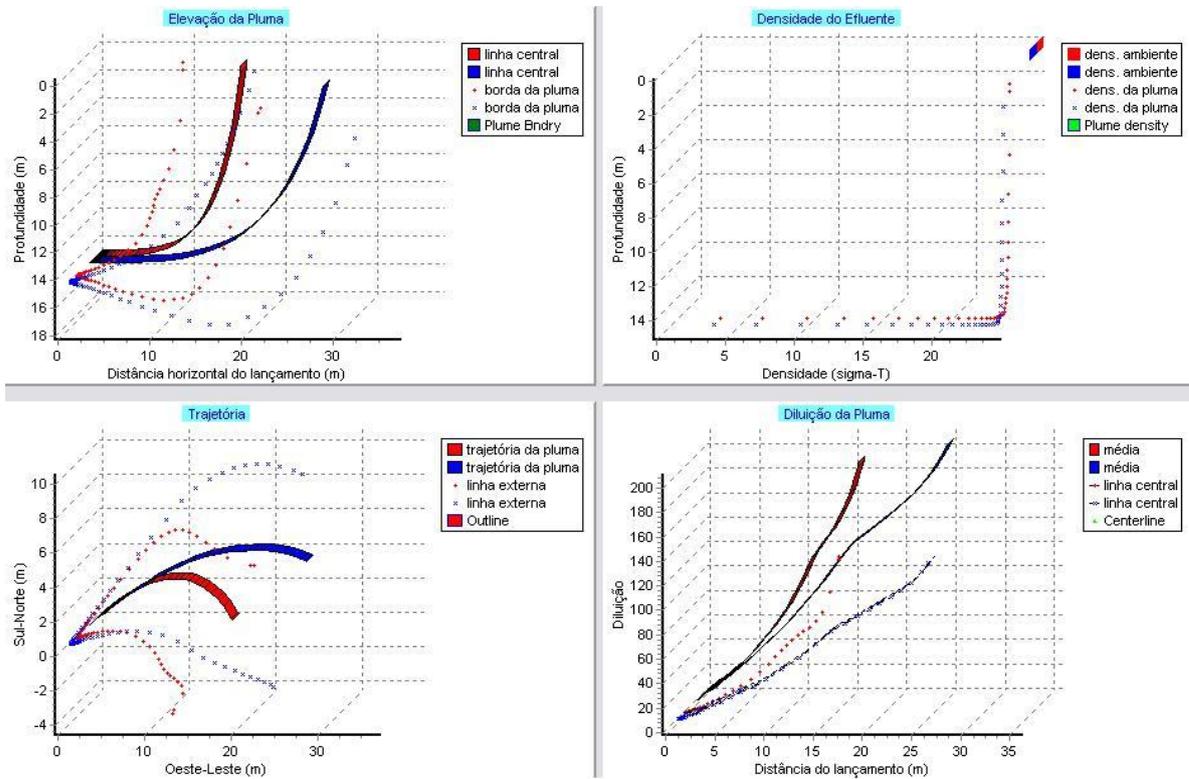


Figura 44 - Gráficos comparativos entre os cenários C3 (vermelho) e C6 (azul).

Percebe-se, que a vazão influenciou diretamente em alguns fatores. A diluição se mostrou fortemente influenciada pela quantidade de vazão do efluente. Quanto maior foi a vazão, menor foi a diluição promovida pelo sistema, sendo assim, vazões menores obtiveram maior diluição a menores distâncias do lançamento. Outro fator que sofreu influência foi a trajetória da pluma, que para os dois valores de vazões, segue uma tendência direcional devida as correntes marinhas presentes, porém, nota-se que para vazões maiores, a mudança da direção do lançamento para a direção da corrente atuante é mais lenta, fazendo com que a trajetória da pluma faça uma curva de raio maior.

➤ Temperatura do Efluente Máxima X Temperatura do Efluente Mínima

Como proposto na metodologia, foi criado um cenário repetido mudando-se apenas a temperatura do efluente. Dessa maneira, foram confrontados os cenários C4 com o C7. A Figura 45 apresenta gráficos que auxiliam na comparação. O cenário com temperatura de efluente máxima é representado pela cor vermelha, e o cenário com temperatura de efluente mínima pela cor azul.

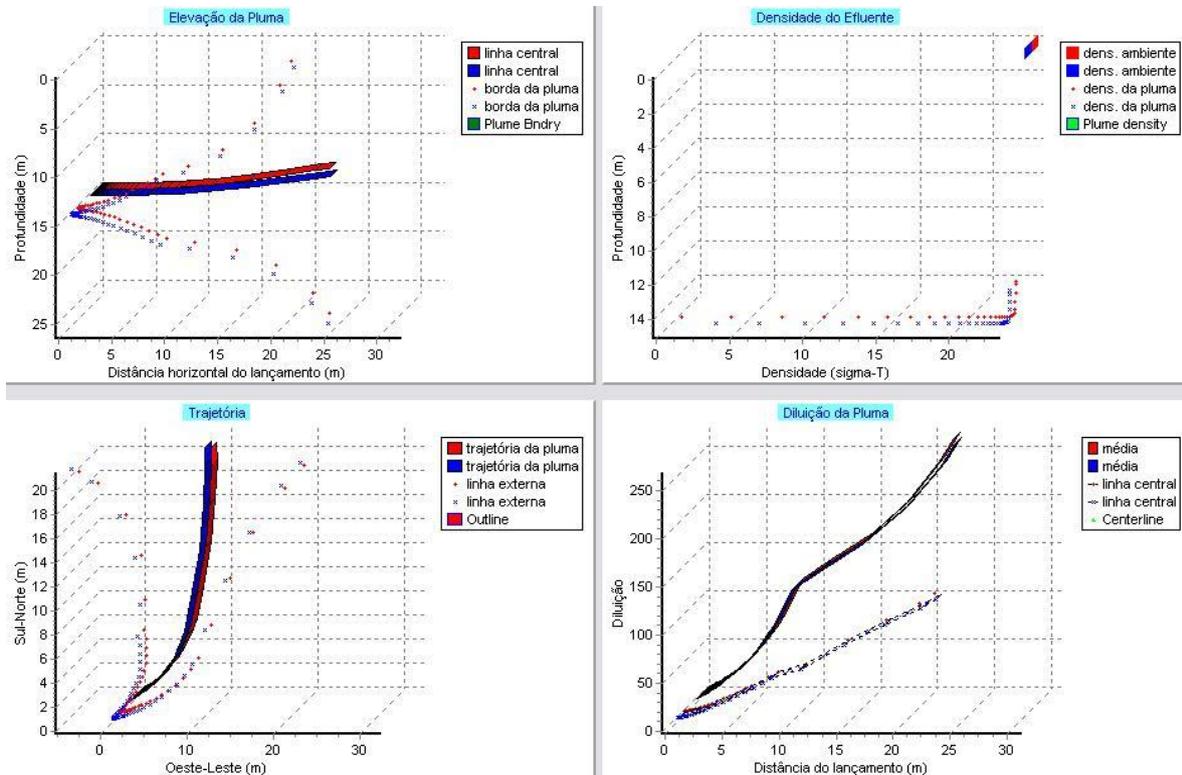


Figura 45 - Gráficos comparativos entre os cenários C4 (vermelho) e C7 (azul).

Percebe-se que a característica analisada não influenciou significativamente na dispersão no campo próximo. Os valores comparados são muito parecidos e é possível notar uma mínima diferença que beneficiou as temperaturas menores de efluente na diluição, e que, mesmo que muito pouco, faz com que a pluma sofra maior influência da corrente atuante e que atinja a superfície mais distante do ponto de lançamento.

➤ Coluna Homogênea X Coluna Estratificada

Para essa análise, buscou-se comparar cenários que se apresentassem semelhantes, mas com o detalhe de possuir o perfil de densidade e temperatura do ambiente diferentes, um homogêneo e outro estratificado. Assim, confrontou-se os cenários C1 com o C2 e os cenários C4 com o C5. As Figuras 46 e 47 apresentam gráficos que auxiliam nas comparações. Os ambientes de coluna homogênea são representados pela cor vermelha, e os estratificados pela cor azul.

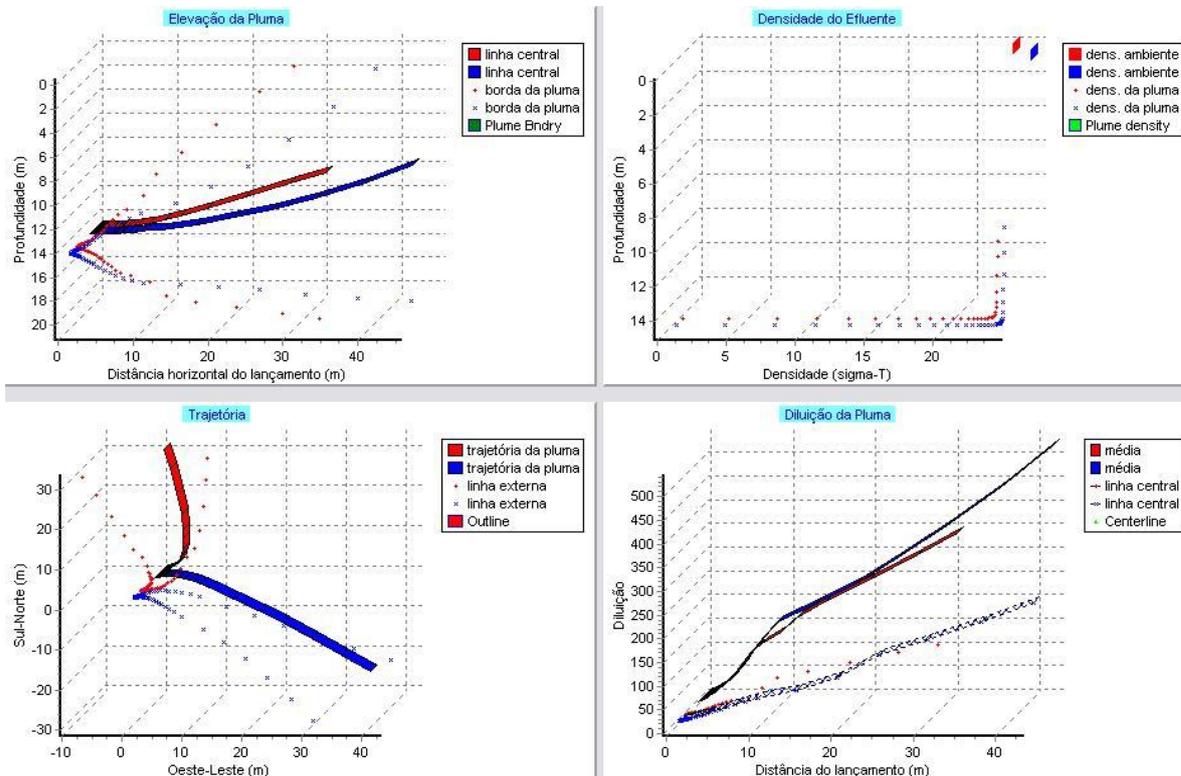


Figura 46 - Gráficos comparativos entre os cenários C1 (vermelho) e C2 (azul).

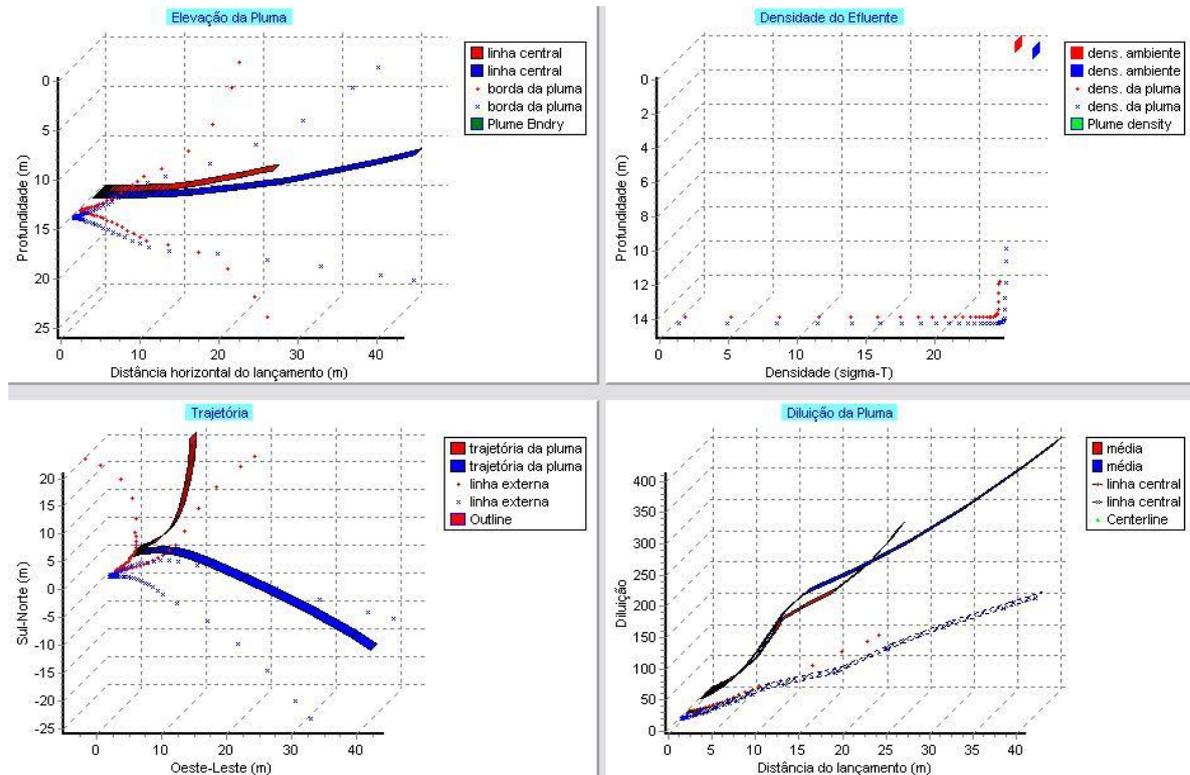


Figura 47 - Gráficos comparativos entre os cenários C4 (vermelho) e C5 (azul).

Como já era esperada, a análise do gráfico de densidades mostra que o ambiente de coluna estratificado apresenta uma densidade maior. A influência exercida do perfil de coluna d'água na dispersão no campo próximo se mostra muito interessante. Devidas as estratificações, a pluma acaba percorrendo um caminho submerso mais longo, fazendo com que atinja maiores diluições e que se distancie mais do ponto de lançamento. É importante notar a representativa diferença na trajetória da pluma, que se deve a diferença de quase 180° das correntes atuantes, e que nada tem a ver com a estratificação ou não da coluna d'água.

➤ Intensidade de corrente forte X Intensidade de corrente fraca

Para essa análise, buscou-se comparar cenários que se apresentassem os mais parecidos possíveis e com o detalhe de possuírem a intensidade de corrente diferentes, sendo assim, confrontou-se os cenários C2 com o C3 e os cenários C5 com o C6, já que possuem as direções de correntes bem próximas. Esses cenários divergem no valor de temperatura do efluente, mas como já foi averiguado que esse fator influi pouquíssimo na dispersão no campo próximo, manteve-se essas comparações. As Figuras 48 e 49 apresentam gráficos que auxiliam nas comparações. Os ambientes com correntes fortes são representados pela cor vermelha, e os com correntes fracas pela cor azul.

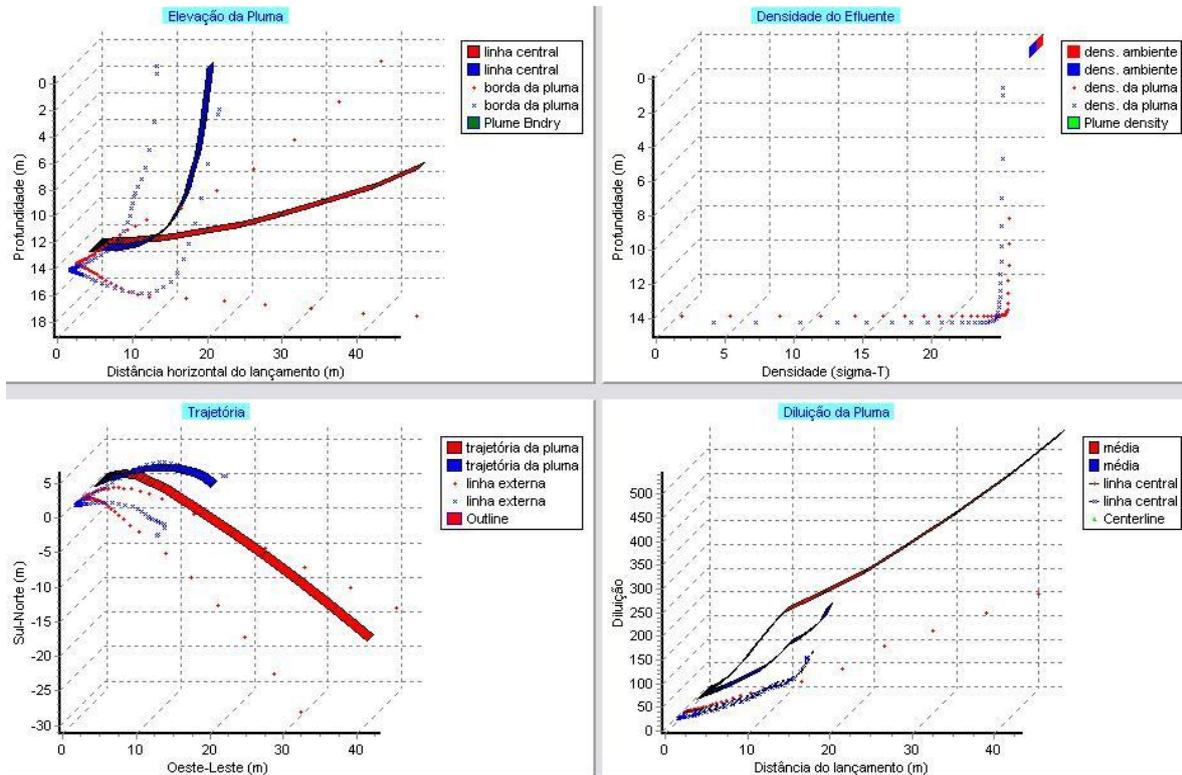


Figura 48 - Gráficos comparativos entre os cenários C2 (vermelho) e C3 (azul).

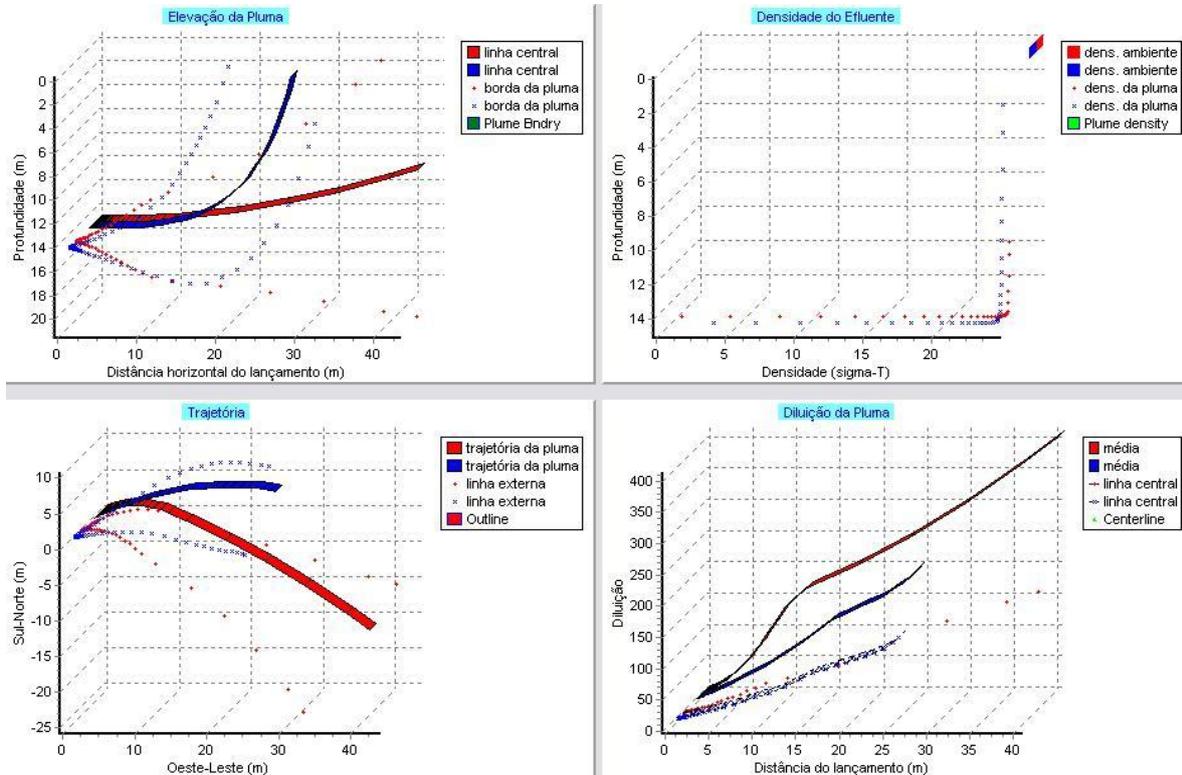


Figura 49 - Gráficos comparativos entre os cenários C5 (vermelho) e C6 (azul).

Nessa comparação, é notada uma forte influência do fator intensidade de corrente. Corrente maiores promoveram uma diluição muito maior do efluente lançado. Também foi percebido que quanto maior a intensidade da corrente, maior foi o caminho percorrido submerso, aumentando a diluição e fazendo com que a distância do lançamento aumente, assim como sua trajetória.

5. CONCLUSÕES

O *software Visual Plumes* se apresentou como uma ferramenta importante e acessível na análise da dispersão no campo próximo de SDOs, possibilitando a análise de diversos cenários e a comparação das variáveis com os diferentes resultados obtidos.

Através das estimativas populacionais foram realizados os cálculos das vazões de efluente produzidas pelo distrito de Ingleses, que obtiveram o valor de 0,6251 m³/s para o ano de 2010, e de 1,1313m³/s para o ano de 2035.

Com os dados amostrados durante o EIA/RIMA de Ingleses, conclui-se que as situações hidrodinâmicas de maior ocorrência são de correntes da direção ESE, seguidas de correntes da direção ONO. As correntes de menor intensidade observadas são do quadrante N. A estratificação do perfil de coluna d'água está geralmente associado a presença de correntes do quadrante N e os perfis homogêneos com as demais direções de corrente.

Com a análise dos dados do efluente durante o período amostrado, conclui-se que o efluente apresentou temperaturas entre 18,60 °C e 29,70°C, sofrendo total influência da temperatura ambiente, ou seja, nos meses mais frios foram amostradas temperaturas de efluente mais baixas, e nos meses mais quente foram amostradas temperaturas de efluente mais altas. A concentração de *Escherichia coli* apresentou grande variação, entre 170 NMP/100ml e 2.4000.000 NPM/100ml, não apresentando sazonalidade alguma para esse parâmetro.

Foram criados sete cenários reproduzindo-se alternadamente, três situações de correntes hidrodinâmicas (ESE, ONO e N), dois valores de vazões (2010 e 2035) e duas condições de temperatura e densidade da água ao longo da coluna d'água (temperaturas altas com densidades baixas e temperaturas baixas com densidades altas). Dessa maneira, foi possível representar cenários realistas que representaram bem a área de estudo.

Com as simulações geradas, obteve-se para o C1, o diâmetro da pluma de 21,50 m; a diluição final de 342,1; a distância horizontal da fonte de 30,50 m; o tempo de diluição de 103,5 s; e a concentração final do poluente de 67920,2 NMP/ 100mL. Para o C2, obteve-se o diâmetro da pluma de 19,89 m; a diluição final de 540,5; a distância horizontal da fonte de 41,5 m; o tempo de diluição de 109,8 s; e a concentração final do poluente de 42933,6 NMP/ 100mL. Para o C3, o obteve-se o diâmetro da pluma de 12,81 m; a diluição final de 190,0; a distância

horizontal da fonte de 16 m; o tempo de diluição de 113,9 s; e a concentração final do poluente de 122271,9 NMP/ 100mL. Para o C4, obteve-se o diâmetro da pluma de 29,09 m; a diluição final de 264,0; a distância horizontal da fonte de 22 m; o tempo de diluição: 58,24 s; e a concentração do poluente de 88378,9 NMP/ 100mL. Para o C5, obteve-se o diâmetro da pluma de 22,03 m; a diluição final de 409,5; a distância horizontal da fonte de 41 m; o tempo de diluição de 91,76 s; e a concentração do poluente de 56769,7 NMP/ 100mL. Para o C6, obteve-se o diâmetro da pluma de 12,81 m; a diluição final de 209,3; a distância horizontal da fonte de 25 m; o tempo de diluição de 117 s; e a concentração do poluente de 110968,4 NMP/ 100mL. Para a C7, obteve-se o diâmetro da pluma de 26,46 m; a diluição final de 265,9; a distância horizontal da fonte de 23 m; o tempo de diluição de 60,56 s; a concentração do poluente de 87973,6 NMP/ 100mL.

Para os resultados gerados pelas simulações, pode-se concluir que o SDO Ingleses apresentou bons valores de diluição, sendo maiores do que os recomendados para projeto e execução desse tipo de tecnologia. No entanto, isso não viabiliza ambientalmente o empreendimento, já que para períodos em que há picos da concentração de *Escherichia coli* no efluente, a diluição promovida pelo sistema não alcança valores seguros dessa concentração para a balneabilidade, podendo haver uma grande possibilidade de contaminação biológica caso a pluma atinja áreas de contato primário da população como a Praia de Ingleses, Praia Brava, Praia do Santinho, Ilhas das Aranhas, Ilha do Arvoredo e Ilha Mata Fome, que circundam o local do lançamento de efluente.

Na comparação das diferentes variáveis empregadas nas simulações, conclui-se que existem comportamentos distintos. A vazão do efluente influenciou diretamente nos valores de diluição alcançados, quanto maior a vazão, menor a diluição e maior o diâmetro da pluma, além de influenciar na trajetória da pluma, fazendo com que ela tenha maior dificuldade de ganhar a direção da corrente atuante. A temperatura do efluente não influenciou significativamente em nenhum aspecto da dispersão no campo próximo, obtendo-se valores muito semelhantes para os diferentes valores empregados. O perfil de coluna d'água exerceu grande influência nos valores de diluição e distância horizontal do lançamento e menor influência no valor de diâmetro de pluma, sendo assim, quanto maior foi a estratificação, maiores foram a diluição e a distância horizontal do lançamento e menor foi o diâmetro da pluma. A intensidade de corrente também causou uma forte influência nos valores de diluição, distância horizontal do lançamento e

diâmetro da pluma, quanto maior a intensidade da corrente, maior os valores encontrados.

É importante lembrar, que para os valores de intensidade da corrente, foram utilizados valores médios e máximos, nunca sendo utilizados valores mínimos registrados em amostras. Dessa maneira, podem ser esperados valores de diluição menores do que os simulados, o que pode comprometer a eficiência do sistema. Além disso, as características de difusores utilizadas podem estar causando diluições superestimadas, devido ao fato de seu dimensionamento não ter sido específico para as vazões utilizadas. Por outro lado, para a concentração do indicador *Escherichia coli* no efluente foi utilizado o valor máximo amostrado ao longo de três anos, representando um episódio crítico que ocorre poucas vezes, e não um valor comum ao dia-a-dia, sendo assim, foi simulada uma condição crítica, o que não quer dizer que na maioria das ocasiões a pluma de efluente se mantenha em concentrações tão altas como as simuladas.

Ainda é importante lembrar que, para esse estudo, foi utilizado um efluente de saída de um tratamento secundário. Caso o efluente de SDO de Ingleses seja disposto com um tratamento prévio de nível terciário, como proposto a princípio pela CASAN, isso pode vir a diminuir a presença de patógenos no efluente e também diminuir as concentrações de *Escherichia coli* a níveis mais baixos, que pode, ao final da mistura, levar a pluma a atingir valores satisfatórios desse indicador.

6. RECOMENDAÇÕES

Para futuros trabalhos, recomendam-se estudos do campo distante com a análise do decaimento bacteriano, para que assim, seja averiguada a concentração final desses microorganismos ao longo da trajetória da pluma, assim como seus possíveis destinos. Além disso, é recomendada a implementação de um T90 variável considerando uma variação horária ao longo do dia e uma variação anual ao longo das diferentes estações do ano, de incidência de radiação, caracterizando assim, um estudo que caracterize as diversas situações que ocorrem na realidade. Também recomenda-se a utilização de séries históricas maiores para os dados de entrada para a modelagem, a fim que se possa caracterizar diferentes situações ocorrentes ao longo do ano, relacionando-as com sazonalidade da época do ano, e para que se possa obter médias que sejam mais representativas para diversos anos.

O modelo matemático de decaimento assumido neste trabalho, foi desenvolvido numa condição diferente da que se encontra na costa catarinense, apresentando características específicas do local do experimento. Sendo assim, é recomendada a avaliação e a quantificação do decaimento de bactérias indicadoras de contaminação fecal em águas catarinenses, o que pode viabilizar a validação do modelo de decaimento em sua aplicação em Santa Catarina, e até possibilitar o desenvolvimento de um modelo mais adequado as nossas condições ambientais.

A coleta e destinação do efluente, objeto deste estudo, abrange apenas o distrito de Ingleses. Visto que os outros distritos do norte e restante da ilha possuem déficit por esse mesmo serviço, deve ser considerado no dimensionamento do SDO Ingleses, a possibilidade de incrementar outros distritos na abrangência desse empreendimento. A construção e implementação de outros sistemas de disposição adicionais acarretariam em maiores custos e impactos quando comparado a implantação de um único SDO. Deve-se atentar ao incremento dessa vazão excedente, já que pode vir a comprometer a diluição promovida, e assim não atender as recomendações e legislações pertinentes.

Diversos pesquisadores têm mostrado uma grande preocupação com a sedimentação de partículas em suspensão no efluente, estranhas ao ambiente, que podem alterar o fundo oceânico com o passar do tempo e como consequência, causar impactos nas espécies bentônicas locais, devido a isso, recomenda-se estudos específicos.

Para a execução segura de um futuro SDO, deverá ser proposto um monitoramento efetivo a ser realizado em diversos pontos, abrangendo a denominada Zona de Influência do emissário, incluindo águas e sedimentos. O monitoramento deverá abranger parâmetros físicos, químicos e microbiológicos contemplando variáveis de química da água, campo de densidade e colimetria fecal, e parâmetros hidrobiológicos tendo como principais enfoques a eutrofização, biomassa fitoplanctônica, composição do fitoplâncton e do zooplâncton, associações bênticas e toxicidade da água e do sedimento de fundo e avaliação da Integridade do Sistema Emissário Difusor.

A existência do preconceito de que a disposição oceânica se trata apenas de uma operação poluente, deve ser tratada com cautela. Sabe-se que a elevada capacidade de assimilação do oceano, aliada a um dimensionamento correto da tubulação difusora e do comprimento do emissário, nos remetem a altos fatores de diluição e de mortalidade de patógenos. Assim, o uso desse tipo de tecnologia não deve ser descartado, merecendo uma atenção maior em estudos de aprofundamento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUDO, E. A.; SANTOS, J. L. **Experimental Measurement of turbulent Diffusion, Initial Dilution and T90**. Wat. Sci. Tech. Vol 18, Nº11, pp. 131-140. CETESB, São Paulo, Brasil, 1986.

ANA. **Plano Nacional de Recursos Hídricos, documento base de referência – minuta**. 2003.

ANDRADE, R. R. **Simulação numérica do transporte da pluma de esgoto lançada no canal de passagem e sua influência na qualidade de água da Baía do Espírito Santo**. Monografia. Departamento de Ecologia e Recursos naturais. Universidade Federal do Espírito Santo 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA, ABES, 2005. Disponível em:< <http://www.abes-sc.org.br/novosite/>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**. Rio de Janeiro, 1986.

BARROS, R. T. de V. (coord.), **Manual de Saneamento e proteção ambiental para os municípios**. Volume 2. 221p, 1995.

BAUMGARTNER, D., W. FRICK, P. R. **Dilution Models for Effluent Discharges** - 3rd Edition, Newport, Oregon: USEPA - United States Environmental Protection Agency, 1994.

BLENINGER T. **Coupled 3D Hydrodynamic Models for Submarine Outfalls: Environmental Hydraulic Design and Control of Multiport Diffusers**. 218 f. Tese de doutoramento, Universidade de Karlsruhe, Alemanha, 2006.

BRASIL. **Constituição da Republica Federativa do Brasil**. Brasília: Senado, 1988.

BRASIL. **Decreto Presidencial 4.340 de 22 de agosto de 2002**. Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 200, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, e dá outras providências.

BRASIL. Decreto Presidencial 5.300 de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências.

BRASIL. Decreto Presidencial 6.848 de 14 de maio de 2009. Altera e acrescenta dispositivos ao Decreto 4.340, de 22 de agosto de 2002, para regulamentar a compensação ambiental.

BRASIL. Decreto Presidencial 99.274 de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei nº 6.902 e a Lei nº 6.938, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Lei nº 7.661 de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3ed. Brasília: FUNASA, 2004. 374p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. Caderno Setorial de Recursos Hídricos: Saneamento. Brasília: ANA, 67p, 2006.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: IBGE, 397p. , 2002.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº001**, de 23 de janeiro de 1986.

BUCCI, R. F. **Investigação da estrutura hidrodinâmica no litoral norte catarinense**. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Oceanografia Física, Universidade do Vale do Itajaí. 50 f. Itajaí, 2004.

CAMPANÁRIO, P. **Florianópolis: dinâmica demográfica e projeção da população por sexo, grupos etários, distritos e bairros (1950-2050)**. Instituto de planejamento de Florianópolis – IPUF, 2007.

CAMPOS, E.J.D.; LORENZZETTI, J. A.; STEVENSON, M. R. ; STECH, J. L. ; SOUZA, R. B. **Penetration of waters from the Brazil-Malvinas Confluence region along the South American Continental Shelf up to 23°S**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 68(Supl. 1): 49-58, 1996.

CARVALHO, J.L.B. **Modelagem e análise do lançamento de efluentes através de emissários submarinos**. 2003. 173 f. Tese de doutoramento, Departamento de engenharia Oceânica, COOPE/UFRJ, 2003.

CARVALHO, J.L.B., ROBERTS, P.J.W, ROLDÃO, J., **Field observations of Ipanema Beach Outfall**. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, v.128, n.2, p. 151-160, 2002.

CARVALHO, J. L. B., SCHETTINI, C.A.F. & RIBAS, T. M. **Estrutura Termohalina do Litoral Centro-Norte Catarinense**. Notas Técnicas da Facimar, Itajaí-SC, (2):181- 197, 1998.

CASTRO FILHO, B.M.C. & MIRANDA, L. B. **Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 40° N and 34° S**. In: The Sea. John Wiley & Sons, Inc.. 11:209-251, 1998.

CASTRO FILHO, B. M. C. **Condições oceanográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: Variações sazonais e em média escala**. Boletim do Instituto Oceanográfico, São Paulo, 35(2):135-151, 1987.

CETESB 2004. **Relatório de Qualidade das Águas Litorâneas no Estado de São Paulo – Balneabilidade das Praias – 2004**. Série relatórios, CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2004.

CETESB 2007. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. 2007.

CETESB 2007. **Relatório de monitoramento de emissários submarinos**. Série relatórios, CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. 2007.

CHAMBERLIM, C. E; MITCHELL, R. **A decay model for enteric bacteria in natural waters**. In: Water Pollution Microbiology. Edited by Ralph Mitchell. Wiley- Interscience Publication. Vol. 2: 325-348, 1978.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº237, de 19 de dezembro de 1997**. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº274, de 29 de novembro de 2000**. Trata da balneabilidade, dá definições e revoga artigos da resolução 020/86.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº377, de 9 de outubro de 2006**. Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário.

CONSÓRCIO HYDROS / CH2M HILL, 2000c, **Modelamento e Avaliação Ambiental / Relatório de Diagnóstico da Qualidade das Águas da BTS nº RT-257-05-MA-002 RF**.

DIAGNÓSTICOS DO SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, 2008**. Disponível em:<www.snis.gov.br>

EMILSON, I. **The shelf and coastal waters of southern Brazil.** Boletim do Instituto Oceanográfico. São Paulo, 11(2):101-112, 1961.

FEITOSA, R. C. **Acoplamento de modelos de campo próximo e campo afastado com cinética de decaimento bacteriano variável – Aplicações em emissários submarinos.** 190 f. Tese de doutoramento, Departamento de engenharia Oceânica, COOPE/UFRJ, 2007.

FEITOSA, R. C., ROSMAN P. C. C., ROQUE O. C. C., ASSUMPÇÃO R. F. **Modelagem computacional dos emissários submarinos de esgotos do rio vermelho e Jaguaribe (Salvador-BA) através do acoplamento de modelos de campo próximo, decaimento bacteriano e campo afastado.** In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife-PE. Anais... Recife-PE: ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

FERREIRA, Aurélio. **Dicionário da Língua Portuguesa.** Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2000.

FOFONOFF, N.P.; MILLARD, R.C. **Algorithms for the computation of fundamental properties of seawater.** Unesco Technical Papers in Marine Sciences, n. 44, p. 1-53, 1983.

FORTIS, R. M. **Modelagem computacional da dispersão da pluma dos efluentes dos emissários submarinos do TEBAR-Petrobrás.** 181 f. Dissertação de mestrado, Departamento de engenharia Civil, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

FRANCO, D. **Notas de aula da disciplina Hidráulica II.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, 2009.

FRICK, W. E. **Nonempirical closure of the plume equations,** *Atmospheric Environmental* 18(4), 653_662, 1984.

FRICK, W. E., ROBERTS, P.J.W., DAVIS, L. R., KEYES, J., BAUMGARTNER, D. J., GEORGE, K. P. **Dilution Models for Effluent Discharges-4th Edition (Visual Plumes).** Athens, Georgia: USEPA - United States Environmental Protection Agency, 2003.

GEOHIDRO. Projeto Executivo do S. D. O E. Jaguaribe e Avaliação Operacional e Ambiental do Emissário do Rio vermelho – Relatório Final, 1993.

GONÇALVES, F. B.; SOUZA, A.P. Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários- História, teoria e prática. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 348 p. 1997.

GREGÓRIO, H. P. Modelagem Numérica da Dispersão da Pluma do Emissário Submarino de Santos. 2009. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, USP, 2009.

IBAM (Instituto Brasileiro de Administração Municipal) - Consulta Nacional Sobre a Gestão do Saneamento e do Meio Ambiente Urbano. Consulta Local, Prefeitura Municipal de Florianópolis, Florianópolis, 1994.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. Abastecimento de água e esgotamento sanitário nas capitais brasileiras, em 2004. Campanha de Olho nos Mananciais, 2007.

JIRKA, G. H., DONEKER, R. L., HINTON, S. W. User's manual for CORMIX. A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters. Ithaca, New York: U.S. Environmental Protection Agency, 152 p. , 1996.

LUDWIG, RUSSELL G. Environmental Impact Assessment – Siting and design of submarine outfalls. OMS, 1988.

MANCINI, J.L. Numerical Estimates of Coliform Mortality Rates Under Various Conditions. Journal Water Pollution Control. Fed., v.50, n. 11, pp. 2477- 2484, 1978.

MATSSUURA, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região Sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). Ciência e Cultura 38(8):1439-1450, 1986.

MENEZES, L. C. C. Considerações sobre saneamento básico, saúde pública e qualidade de vida. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.23, n.1, p.55-61, jan/mar, 1984.

MESQUITA, A. R. de. **Marés, Circulação e Nível do Mar na Costa Sudeste do Brasil**. Relatório do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – SP, 49p. ,1997.

MESQUITA, A. R. **Report on the seasonal variations of coast waters: Brazil (Lat. 24 3 S)**. Relatório do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – SP (1):1-36. , 1974.

MORAES, L. R. S. **Conceitos de Saúde e Saneamento**. Salvador: DHS/UFBA6p. , 1993. Não Publicado.

MPO/SEPURB/DESAN. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília - DF, 1997.

MUKAI, T. **Direito ambiental sistematizado**. São Paulo: Forense Universitária, 1992.

NUVOLARI, A. (coord). **Esgoto Sanitário – Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

ORTIZ, J. P., ARASAKI, E., MARCELLINO, E. B., DA SILVA, O. F., FORTIS, R. M. **Modelagem Aplicada à Simulação do Escoamento da Pluma de Efluentes de Emissários Submarinos no Litoral Paulista**. In: Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento. São Paulo: Imprensa Oficial do estado de São Paulo, p.25-42. , 2006.

PEREIRA, G. G., **Estudo dos Principais Impactos Ambientais dos Emissários Submarinos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, 2010.

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2008. Disponível em:<www.ibge.gov.br>

PMF - Prefeitura Municipal de Florianópolis. Disponível em: <<http://portal.pmf.sc.gov.br/>>.

RAGGHIANI, V. T. **Dimensionamento Hidráulico de Emissários Submarinos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFSC, 2010.

RDH – RELATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO HUMANO DE 2006. PNUD - **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento**, 2006. Disponível em: <www.pnud.org.br>.

ROBERTS, P. J. W., HUNT, C. D., MICKELSON, M. J. **Field and model studies of the Boston outfall**. Proc., 2nd Int. Conf. on Marine Waste Water Discharges, MWWD2002, Istanbul, Turkey, 2002.

ROBERTS, P.J.W. & TIAN, X. **New experimental techniques for validation of marine discharge models**. Environmental Modelling and Software 19 (1), 691-699, 2004.

ROBERTS, P.J.W., **Line Plume and Ocean Outfall Dispersion**. Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, v.104, p. 313-331, 1979.

ROBERTS, P.J.W., SNYDER, W.H., BAUMGARTNER, D.J. **Ocean Outfall I: Submerged Wastefield Formation**. Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, v. 115, n. 1, p.1-25, 1989 (I).

ROBERTS, P.J.W., SNYDER, W.H., BAUMGARTNER, D.J. **Ocean Outfall II: Spatial Evolution of Submerged Wastefield**. Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, v. 115, n. 1, p. 26-48, 1989 (II).

ROBERTS, P.J.W., SNYDER, W.H., BAUMGARTNER, D.J. **Ocean Outfall III: Effect of Diffuser Design on Submerged Wastefield**. Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, v. 115, n. 1, p. 49-70, 1989 (III).

SANTA CATARINA. **Lei nº14.675 de 13 de abril de 2009**. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.

SILVA Jr, R. J. C. **A Indústria da Água como atividade econômica**. Revista BIO, Ano VIII, No 1, Jan/Mar, pág. 22 - 34, 1996.

SOLIC, M., KRSTULOVIC, N. **Separated and Combined Effectes os Solar Radiation, Temperature, Salinity and pH on the Survival of Faecal Coliforms in Seawater**, 1992.

TAVARES, D. F. **Simulação no Campo Próximo da dispersão de efluentes oriundos de um Emissário Submarino**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, 2010.

TEETER, A. M. & BAUMGARTNER, D. J. **Prediction of initial mixing for municipal ocean discharges**, 43 edn, USEPA Environmental Research Laboratory, Corvallis, OR, USA, 1979.

TOPÁZIO, E. F. **Modelagem de pluma de Emissários com T90 variável na costa oceânica de Salvador, BA**. XIII, 129 p, 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Oceânica, 2003) Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2003.

TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 1ed- São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 1999.

UNIVALI. **Relatório de Impacto Ambiental para Emissários Submarinos de Esgoto Tratado do SES Ingleses (Praia de Ingleses)**.RIMA. Santa Catarina, 2008.

USEPA. **United States Environmental Protection Agency. Water Quality Models and Tools**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/waterscience/models.html>> . Acesso em: 15 de outubro de 2010.

VON SPERLING, M. **Princípio de tratamento biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Minas Gerais: ed. Segrac, Vol 1, 240p. , 2005.

WONGTSCHOWSKI, C. L. R. ; MADUREIRA, L. S. P. **O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ZORAIA, V. G.; DALSASSO, R. L.; POMPÊO, C. A.. **Abastecimento urbano de água em Florianópolis: em busca da sustentabilidade**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

ANEXO 1 - Dados de saída da ETE Insular. Fonte: CASAN

Ano 2008				Ano 2009				Ano 2010			
Data	T	E. Coli	DBO	Data	T	E. Coli	DBO	Data	T	E. Coli	DBO
	(OC)	NMP/100 mL	mg/l		(OC)	NMP/100 mL	mg/l		(OC)	NMP/100 mL	mg/l
07/jan	0	68000	1,2	07/jan	25	1000	13	06/jan	28,3	460000	20
28/jan	26,2	6200	2,2	20/jan	25,7	24000	21,3	20/jan	28,4	9800000	-
11/fev	27,2	6300	1,8	04/fev	27,5	92000	23	03/fev	29,7	730000	29
10/mar	28,4	-	1,5	18/fev	27,7	98000	46	17/fev	27,9	500000	57
31/mar	25,5	1	1,7	04/mar	28	17000	42,3	03/mar	27,2	1700000	-
14/abr	24,2	24000	3,1	18/mar	26,5	20000	51,6	17/mar	27,1	200000	20
29/abr	24,1	1500	-	01/abr	27,8	170	26,3	30/mar	26	24000000	-
05/mai	23,4	14000	-	23/abr		2400	12,3	12/abr	24,8	2500000	31,5
20/mai	23,8	34000	-	06/mai	24,8	2400	-	27/abr	23,1	980000	43
04/jun	21,6	1700	45,3	14/mai	24,9	240000	-	12/mai	20,2	1600000	13,5
18/jun	19,5	110000	18,0	27/mai	24	1300000	28	01/jun	21,8	31000	9
02/jul	21,6	100	4,0	17/jun	21,2	240000	35	16/jun	21,8	190000	-
23/jul	22,5	-	6,0	01/jul	21,7	240000	52,5	29/jun	22,2	6800000	-
06/ago	21,3	120000	15,0	15/jul	20,5	770000	-	15/jul	20,2	630000	9
20/ago	23,6	24000	33,0	29/jul	19,7	4200	40	29/jul	21,3	260000	64

10/set	21,4	23000	15,0	12/ago	20,6	63000	42,5	10/ago	18,6	680000	45
24/set	21,8	100	8,0	25/ago	21,4	46000	25	23/ago	21	24000000	79,5
08/out	21,8	7200	9,0	08/set	22,9	2400000	-	14/set		4700000	37
22/out	22,9	66000	32,3	22/set	22,5	23000	15	20/set	21,7	5400000	4,5
13/nov	23,1	100	4,3	08/out	21,7	2400000	-	04/out		31000	4
25/nov	22,2	14000	12,0	22/out	23,4	2400000	-	20/out	22	36000	12,5
10/dez	25,4	24000	54	03/nov	26,1	410000	22,5				
30/dez	26,2	5500	20,7	12/nov	26,3	2400000	-				
				24/nov	26,9	3800000	-				
				10/dez	26,3	2100000	64,5				
				22/dez	27,3	220000	-				

Tabela 2.7: Diagrama de ocorrência conjunta entre velocidade (cm/s) e direção de correntes à profundidade de 2,6m.

Velocidade	N	NN	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	O	OSO	O	ONO	NO	NNO	TOTAL	%	Dir, Média
0,0 - 5,0	20	27	31	23	37	35	33	31	22	19	23	17	19	16	28	29	410	18,4	180
5,0 - 10,0	25	32	39	47	85	81	80	60	34	34	42	45	53	33	27	30	747	33,5	180
10,0 - 15,0	6	1	18	22	62	110	83	21	25	16	34	29	52	36	13	10	538	24,1	180,3
15,0 - 20,0		2	4	6	43	93	85	12	10	5	11	11	8	16	1		307	13,7	202,9
20,0 - 25,0				1	8	67	44	6		3	1	1	14	13	1		159	7,1	187,6
25,0 - 30,0					4	22	17	4					5	3			55	2,5	200,4
30,0 - 35,0						6	3	1					1	1			12	0,5	237,7
35,0 - 40,0						3							1	1			5	0,2	
40,0 - 45,0																			
45,0 - 50,0																			
TOTAL	51	62	92	99	239	417	345	135	91	77	111	103	153	119	70	69	2233		
%	2,3	2,8	4,1	4,4	11	19	15	6	4,1	3,4	5	4,6	6,9	5,3	3,1	3,1			
Vel, Média	7,5	9,9	9,6	11,7	14,9	19,6	17,5	17,4	9,8	12,2	12,0	12,3	19,5	19,7	12,8	7,2			
Vel, Max	12,0	18,4	16,5	20,5	26,9	36,7	32,4	32	16,9	21,0	20,2	20,6	36,4	36,9	22,5	11,3			2,6m

Tabela 2.8: Diagrama de ocorrência conjunta entre velocidade (cm/s) e direção de correntes à profundidade de 5,6m.

Velocidade	N	NNENE	ENE E	ESE SE	SSE S	SSO SO	OSO O	ONONO	NNO	TOTAL	%	Dir, Média							
0,0 - 5,0	17	20	28	35	24	25	39	31	19	31	24	21	17	24	16	18	389	17,4	179,7
5,0 - 10,0	25	27	27	38	75	88	99	63	47	40	36	55	39	48	46	38	791	35,4	180,1
10,0 - 15,0	3	1	7	24	76	121	110	39	25	20	24	40	47	40	12	7	596	26,7	179,3
15,0 - 20,0	1	1	2	7	45	96	47	18	6	4	16	21	26	14	5	2	311	13,9	180,7
20,0 - 25,0		1		1	8	35	22	3			2	3	21	16	1		113	5,1	187,0
25,0 - 30,0				3	13	2						1	3	6			28	1,3	203,6
30,0 - 35,0					5												5	0,2	129,3
35,0 - 40,0																			
40,0 - 45,0																			
45,0 - 50,0																			
TOTAL	46	50	64	105	231	383	319	154	97	95	102	141	153	148	80	65	2233		
%	2,1	2,2	2,9	4,7	10	17	14	6,9	4,3	4,3	4,6	6,3	6,9	6,6	3,6	2,91			
Vel, Média	10,0	11,5	9,2	12,0	14,4	17,4	15,1	12,2	10,1	9,6	12,6	14,5	14,8	14,7	11,8	9,7			
Vel, Max	17,6	20,2	16,2	20,2	25,5	32,9	28,6	21,5	17,5	15,7	23,8	25,11	26,6	26,5	21,2	17,1			5,6m

Tabela 2.9: Diagrama de ocorrência conjunta entre velocidade (cm/s) e direção de correntes à profundidade de 8,6m.

Velocidade	N	NNE	NE	ENE	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	TOTAL	%	Dir, Média	
0,0 - 5,0	24	26	26	32	21	30	38	31	28	24	14	30	30	28	23	22	427	19,1	180,3
5,0 - 10,0	24	23	44	64	71	83	89	68	35	34	35	51	61	58	47	39	826	37,0	180,6
10,0 - 15,0	5	3	11	43	74	91	76	58	28	25	15	36	44	54	22	8	593	26,6	180,0
15,0 - 20,0		1	2	13	19	53	52	28	10	4	8	12	29	28	17	2	278	12,4	191,4
20,0 - 25,0				8	35	14	6			2	4	11	12	2			94	4,2	215,7
25,0 - 30,0						2	1					1	3				7	0,3	221,4
30,0 - 35,0						3						2	1				6	0,3	239,6
35,0 - 40,0												2					2	0,1	284,5
40,0 - 45,0																			
45,0 - 50,0																			
TOTAL	53	53	83	152	193	292	274	192	101	87	74	133	180	184	111	71	2233		
%	2,4	2,4	4	6,8	8,6	13	12,3	8,6	4,5	3,9	3,3	6	8,1	8,2	5	3			
Vel, Média	7,2	9,5	9,8	9,9	12,2	12,4	17,4	14,5	9,8	10,0	12,2	12,3	19,9	17,3	12,2	9,3			
Vel, Max	10,8	16,2	16,0	16,4	21,5	21,7	32,6	25,1	16,8	17,2	21,1	21,7	36,8	31,9	21,4	15,5			8,6m

Tabela 2.10: Diagrama de ocorrência conjunta entre velocidade (cm/s) e direção de correntes à profundidade de 11,6m.

Velocidade N	NNENE	ENE	ESESE	SSE S	SSOSO	OSO	ONONO	NNO	TOTAL	%	Dir, Média								
0,0 - 5,0	20	28	25	27	36	22	35	29	29	33	27	29	27	25	26	25	443	19,8	179,7
5,0 - 10,0	36	38	58	57	77	67	71	56	54	45	45	57	63	61	39	30	854	38,2	180,2
10,0 - 15,0	16	19	25	46	52	68	60	51	35	21	44	37	47	37	29	9	596	26,7	180,3
15,0 - 20,0	1	0	8	20	18	33	24	22	11	7	3	17	34	32	15	10	255	11,4	189,8
20,0 - 25,0			1	9	2	7	20	1	1	1		3	13	9	6		73	3,3	188,3
25,0 - 30,0						1							1	4	3		9	0,4	258,7
30,0 - 35,0															1	1	2	0,1	329,2
35,0 - 40,0															1		1	0,0	325,3
40,0 - 45,0																			
45,0 - 50,0																			
TOTAL	73	85	117	159	185	198	210	159	130	107	119	143	185	168	120	75	2233		
%	3,3	3,8	5	7,1	8,28	8,9	9,4	7,1	5,8	4,8	5,3	6,4	8,3	7,5	5,4	3			
Vel, Média	9,9	7,3	12,0	12,4	12,4	14,7	12,4	11,9	11,9	12,4	10,1	12,2	14,6	14,6	19,8	13,9			
Vel, Max	17,7	11,7	20,6	21,9	21,4	26,8	21,8	20,1	20,5	23,2	17,5	21,6	25,9	25,6	35,0	30,3			11,6m