



PATOLOGIAS EM EMISSÁRIOS SUBMARINOS EM AÇO REVESTIDO EM CONCRETO ARMADO

RAUL CORDEIRO ANDRADE DE FREITAS

Novembro de 2016

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA CIVIL

RAUL CORDEIRO ANDRADE DE FREITAS

PATOLOGIAS EM EMISSÁRIOS SUBMARINOS EM AÇO REVESTIDO EM
CONCRETO ARMADO

São Paulo

2016

RAUL CORDEIRO ANDRADE DE FREITAS

PATOLOGIAS EM EMISSÁRIOS SUBMARINOS

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie juntamente ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Civil Brasileira e Dupla Titulação Portuguesa.

ORIENTADOR: PROF. MS. SIMÃO PRISZKULNIK

São Paulo

2016

RESUMO

Os emissários submarinos são um dos elementos que compõe o sistema de disposição oceânica de efluentes domésticos. Esse sistema é composto por uma estação de tratamento, com apenas o tratamento preliminar ou até o tratamento secundário dos efluentes, dependendo do caso de aplicação, a parte da tubulação terrestre, chamada de emissário terrestre e a parte submarina, chamada de emissário submarino.

Essas tubulações submarinas normalmente são robustas, podendo aparecer tanto com pequenos diâmetros de 0,75m tanto com grandes diâmetros de aproximadamente 7,00 m, também podem ser executadas em diversos materiais com diversos métodos construtivos. O objetivo deste trabalho é apresentar o panorama geral sobre os emissários submarinos, desde a etapa legislativa até a etapa construtiva desse tipo de tubulação, por fim focando nos emissários submarinos que são executados em aço com revestimento em concreto armado.

Muitos dos trabalhos que relacionam os emissários submarinos tem como objetivo a análise de impactos ambientais que podem ser causados por esse tipo de disposição de efluentes domésticos. Porém neste trabalho, além de ser comentado sobre os impactos ambientais, são comentados os aspectos patológicos estruturais dessas tubulações, voltando para a agressividade do meio marinho no revestimento de concreto e suas armaduras, nos elementos metálicos que compõe as tubulações, os impactos mecânicos gerados pelas forças hidrostáticas e os desgastes gerados pelo próprio efluente doméstico.

Palavras-chaves: emissários submarinos, patologias, corrosão, degradação, proteção catódica.

ABSTRACT

The submarine outfalls are one of the elements that compose the ocean disposal system of domestic sewage. This system consists of a treatment plant with only primary treatment or even the secondary treatment of effluents, depending on the way it is applied, the part of the earth pipeline, so called terrestrial outfalls and the underwater part, called the submarine outfall.

These subsea pipelines are usually robust and can appear either with small diameters of 0.75m or with large diameter of approximately 7.00 m, can also be performed in various materials with different construction methods. The aim of this paper is to present the overview of the submarine outfalls from the legislative stage to the constructive stage of this type of pipe, finally focusing on submarine outfalls that run on steel-coated concrete.

Many of the work related to the submarine outfalls aims the analysis of environmental impacts that may be caused by this type of disposal of domestic waste. But in this work, besides being commented on the environmental impacts are discussed structural pathological aspects of these pipes, returning to the aggression of the marine environment in the concrete lining and their armor, the metal parts that make up the pipes, mechanical impacts of hydrostatic forces and the stresses generated by own wastewater.

Keywords: submarine outfalls, conditions, corrosion, degradation, cathodic protection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Ilustração de um sistema de disposição oceânica em comparação a uma chaminé ...	22
Figura 2 Características típicas de um sistema de esgotamento oceânico.....	29
Figura 3 Estação de Pré-Condicionamento da cidade de Santos.....	30
Figura 4 Peneiras Rotativas	31
Figura 5 Processo de tratamento de efluentes na ETAR de V. N. de Gaia	32
Figura 6 Diluição Inicial (Abraham)	36
Figura 7 Diluição Inicial (Brooks)	37
Figura 8 Fenômeno de Carreamento	38
Figura 9 Difusão Inicial - Zona de Mistura (Roberts).....	38
Figura 10Junta Ponta e Bolsa	40
Figura 11Método de tramos (horse)	42
Figura 12Método Barcaça	43
Figura 13Método Puxamento	44
Figura 14Perfil de implantação de um emissário submarino	45
Figura 15Interação Tubulação e Solo Marinho	45
Figura 16 Zona de Baixa Pressão	46
Figura 17 Sustentação do emissário submarino de Ipanema/RJ	53
Figura 18 Colapso parcial do pilar	53
Figura 19 Colapso total do pilar	54
Figura 20 Posicionamento do pilar em planta	54
Figura 21 Recuperação da sustentação do emissário submarino.....	55
Figura 22 Distribuição da corrente e do potencial ao longo da tubulação	59
Figura 23 Representação dos sistemas de proteção catódica	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Padrões de qualidade de água	24
Tabela 2 Padrões de balneabilidade.....	25
Tabela 3 Programas de Monitoramento de águas no Estado de São Paulo	27
Tabela 4 Vantagens e desvantagens na implantação de emissários submarinos.....	28
Tabela 5 Causas e Modos de Falhas	51
Tabela 6 Velocidade de corrosão média (mm/ano)	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio

EIA Estudo de Impacto Ambiental

EPC Estação de Pré-Condicionamento

ETAR Estação de Tratamento de Águas Residuais

ETE-LAB Estação de Tratamento de Esgoto por Lodo a Batelada

LHEPUSP Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

LI Licença de Instalação

LO Licença de Operação

LP Licença Prévia

RAP Relatório Ambiental Preliminar

RIMA Relatório de Impacto no Meio Ambiente

PEAD Polietileno de Alta Densidade

SABESP Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

UE União Européia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA.....	13
1.3	METODOLOGIA	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	ESTADO DA ARTE.....	15
2.1	LICENCIAMENTO	15
2.2	ASPECTOS TÉCNICOS	15
2.3	ZONA DE MISTURA.....	19
2.4	MONITORAMENTO	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1	ASPECTOS LEGAIS RELATIVOS À DISPOSIÇÃO OCEÂNICA	22
3.1.1	Legislação Brasileira referente às Águas	23
3.1.2	Licenciamentos e Programas de Monitoramentos	25
3.2	ASPECTOS TEÓRICOS RELATIVOS À DISPOSIÇÃO OCEÂNICA.....	28
3.2.1	Infraestrutura para a solução de disposição oceânica	29
3.2.2	Aspectos projetuais dos emissários submarinos e dimensionamento da tubulação principal.....	33
3.2.3	Considerações de cálculo de zonas de mistura e dimensionamento da tubulação difusora.....	36
3.2.4	Materiais Empregados	40
3.2.5	Métodos Construtivos	42
3.2.6	Estabilidade e Proteções	44
4	PATOLOGIAS EM EMISSÁRIOS SUBMARINOS EM AÇO COM REVESTIMENTO EM CONCRETO.....	48
4.1	A IMPORTÂNCIA DAS VISTORIAS TÉCNICAS.....	48
4.2	CAUSAS E MODOS DE FALHA.....	49
4.2.1	Solo Marinho.....	49
4.2.2	Movimentação das águas	49
4.2.3	Tráfego Marítimo	50
4.2.4	Proteções e materiais empregados	50

4.2.5	Transporte de efluentes.....	50
4.2.6	Implantação da tubulação	50
4.2.7	Meio Ambiente.....	50
4.2.8	Ações humanas	51
4.3	RISCOS DE ACIDENTES E MEDIDAS CORRETIVAS.....	52
4.3.1	Materiais metálicos sob possível risco de corrosão por águas marinhas	56
4.3.2	Concreto armado sob possível risco de degradação e corrosão das armaduras por águas marinhas	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
5.1	CONCLUSÕES.....	65
5.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	66
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1 INTRODUÇÃO

A utilização dos emissários submarinos juntamente com a Estação de Pré-condicionamento de esgotos é uma solução amplamente utilizada em cidades litorâneas brasileiras e pelo mundo. O princípio da auto-depuração no corpo receptor marítimo é o grande fator que chama a atenção para esse tipo de solução. A maior quantidade de emissários submarinos está localizada no Estado de São Paulo, sete unidades de disposição oceânica, porém há ocorrência em vários outros Estados como Rio de Janeiro, Santa Catarina e Alagoas.

O Estado de São Paulo possui 15 municípios costeiros com uma população de cerca de dois milhões de habitantes que pode dobrar durante o verão. Esse aumento sazonal aliado à insuficiência dos sistemas de saneamento gera a poluição fecal dos recursos hídricos litorâneos, segundo Lamparelli (2007). E é por conta da preocupação com o meio ambiente marinho que a tarefa de projetar, implantar e manter um exultor submarino é complexa e multidisciplinar.

Mendonça (2014) afirma que: “The project of submarine outfalls is a complex problem for solving because equal significance should be given to the environment, economy and social aspect of the problem.”. Por conta dos avanços realizados nesta área, como no emprego de materiais plásticos (PEAD) e métodos modernos para construção do emissário submarino, pequenas comunidades tem um mais acesso a esse tipo de solução, segundo (Ortiz *et al.*, 2007).

Com o objetivo de garantir a minimização dos impactos ambientais nas regiões de emprego da disposição oceânica, faz-se necessário obter três tipos de licenças para aprovação e implantação de um projeto de emissários submarinos, são eles: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação, segundo Lamparelli (2007), cada um com requisitos de documentação diferentes, no final gerando uma Matriz de Impactos, juntamente com os programas ambientais, e programas de monitoramento.

Os programas de monitoramento são essenciais para garantir a eficiência de todo o sistema de tratamento de esgoto e disposição oceânica, tanto no ponto de vista da qualidade do efluente e da forma que é diluído no mar quanto dos aspectos físicos e estruturais da própria tubulação submersa.

A questão da análise das patologias que são passíveis de ocorrer em um emissário submarino é essencial para manter seu bom funcionamento e sua eficiência e por

consequência, uma melhor qualidade de água para recreação, o estabelecimento de uma coexistência harmoniosa com o ecossistema marinho e uma diminuição dos custos totais finais, tomando ações preventivas relacionadas a erros passados e ao histórico de situações que possam gerar resultados desfavoráveis em relação aos âmbitos social, ambiental e econômico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é estudar as possíveis patologias que envolvem os emissários submarinos desde a sua construção até o final de sua vida útil, analisando aspectos relacionados à agressão do meio subaquático ao material empregado na tubulação, à disposição do efluente, ao fator temporal, entre outros aspectos a serem estudados no decorrer deste trabalho.

1.1.2 Objetivos específicos

No decorrer deste trabalho serão apresentados e discutidos alguns assuntos relacionados com o tema da dissertação, como:

- Apresentação do sistema de tratamento de esgoto que envolve a utilização de um emissário submarino;
- Documentação e licenças necessárias para a aprovação e execução de um emissário submarino;
- Os métodos construtivos tanto nos trechos terrestres quanto nos trechos subaquáticos;
- Como é feita a modelagem de faixas de pluma e apresentação de um *software* que auxilia nos cálculos;
- Como são executadas as monitorizações da qualidade da água e situação física do emissário;

Todos esses assuntos terão o objetivo de contextualizar o prezado leitor a realidade da construção, execução, monitorização e manutenção que envolve a utilização da solução para tratamento e disposição oceânica de esgoto em cidades litorâneas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Motivação: Desde as aulas que envolvem saneamento básico, sempre houve o interesse no estudo sobre aspectos de tratamento de águas, tratamento de esgotos, captação de águas e distribuição. Esta dissertação visa estudar um tema complexo que são os emissários submarinos e que, sendo um tema muito específico, não é muito abordado no ensino superior. O tema de patologias é um assunto que gera discussões interessantes sobre durabilidade, manutenção e novas tecnologias.

Importância do tema: Este tema é de grande importância com relação à qualidade das disposições oceânicas de esgotos sanitários, afetando assim a qualidade das águas marítimas, a qualidade dos ecossistemas marinhos e a balneabilidade das praias.

Importância da pesquisa: A pesquisa deste tema é de suma importância, pois através de estudos e pesquisas podem ser avaliadas patologias que ocorrem em vários outros casos de utilização de emissários submarinos, tanto nacionais quanto internacionais, e prever situações que possam causar essas patologias em futuros emissários submarinos ou até mesmo em emissários já existentes, mas que podem sofrer interferências de outros fatores externos que por ventura possam ocorrer com a alteração das condições iniciais de implantação do exultor.

1.3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram utilizadas as seguintes ferramentas de pesquisa e obtenção de dados e informações para estudo e desenvolvimento desta dissertação:

- Trabalhos de Conclusão de Curso;
- Monografias;
- Dissertações de Mestrado;
- Artigos de Periódicos;
- Google Acadêmico;
- Repositórios Científicos;
- Livros e Coletâneas de Artigos Científicos, disponíveis nas bibliotecas da Universidade Presbiteriana Mackenzie;
- Manuais de Fornecedores especializados;
- Normas relacionadas;
- Relatórios de avaliações de emissários submarinos;

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco seções:

A seção 1 possui a Introdução geral ao tema e apresentação dos objetivos, justificativa e metodologia do trabalho.

A seção 2 aborda a revisão bibliográfica da tese em questão, apresentando de forma organizada as teses, artigos e documentos utilizados para o desenvolvimento da dissertação.

A seção 3 se apresenta as principais características dos emissários submarinos, desde as licenças necessárias para a aprovação de projetos, passando pelos estudos preliminares oceanográficos, determinação de materiais a serem empregados, métodos construtivos existentes, uma breve comparação de custo-benefício em relação aos sistemas de tratamento de esgoto convencionais.

A seção 4 se aprofunda mais no tema das patologias envolvendo os materiais empregados na construção dos emissários submarinos, sugerindo ações preventivas e ações corretivas para cada caso.

A seção 5 contem as conclusões do trabalho resultantes das pesquisas realizadas e sugerindo possíveis direções para futuras linhas de pesquisa.

2 ESTADO DA ARTE

Os estudos que envolvem a construção de um emissário submarino mostram que este é um assunto extremamente multidisciplinar, envolvendo especialistas nas áreas de oceanografia, meio ambiente, saneamento básico entre outras áreas.

Apesar de este assunto ser bastante extenso e complexo, serão comentados todos os aspectos principais na implantação de um exultor submarino de forma sucinta, mas com o enfoque maior na área de construção, métodos construtivos, materiais utilizados, ancoragens e patologias em si.

2.1 LICENCIAMENTO

Em seu artigo, Lamparelli (2007), comenta os desafios que envolvem o licenciamento e a monitorização de emissários submarinos no Estado de São Paulo. O trabalho discute sobre alguns pré-requisitos para solicitação e emissão das licenças prévia, de instalação e de operação, dentre eles estão o Relatório Ambiental Preliminar (RAF) e o Relatório de Impacto no Meio Ambiente (RIMA) que devem ser elaborados pelo empreendedor e encaminhados para o órgão licenciador e ao término desta etapa, deve-se ter disponível um plano de monitorização de águas, envolvendo os cursos de água, praias, corpo receptor e do efluente.

2.2 ASPECTOS TÉCNICOS

Souza (2007) descreve a estrutura de funcionamento de um emissário submarino e cita diversos exemplos tanto nacionais quanto internacionais. Também faz um estudo comparativo de custos de sistemas com diversos níveis de tratamento do efluente e são descritos os principais fatores que devem ser analisados e geridos de forma atenta, pois influem diretamente no funcionamento do sistema. Além da apresentação destes fatores, também é comentado quais são os principais materiais empregados na construção de um emissário submarino, quais os aspectos da legislação que são pertinentes e os parâmetros de projetos a serem seguidos. De forma global, Souza comenta os principais aspectos que envolve a construção de um emissário submarino.

No trabalho de Marcellino e Macedo (2007), são discutidos os principais critérios para a localização de uma disposição oceânica pela SABESP (Companhia de

Saneamento Básico do Estado de São Paulo). Para efeito de exemplificação do uso desses critérios é citado o caso do emissário submarino de Santos, cujo será um ponto de estudo deste trabalho também, mas com o conhecimento de quais foram os critérios utilizados para a localização deste emissário, será mais fácil identificar quais foram as preocupações que os projetistas tiveram com relação à durabilidade do exultor e o meio ambiente. Neste trabalho também é comentado sobre os principais programas de minimização de impactos da disposição oceânica que devem ser previstos, levantando todos os impactos negativos, assim gerando a Matriz de Impactos e programas para monitoramentos e ações corretivas.

Enquanto isso, Sobrinho (2007) trata de um assunto diferente que envolve a comparação da utilização de um emissário submarino precedido de uma estação de pré-condicionamento com relação a um sistema de tratamento de esgoto com tratamento secundário e desinfecção com lançamento em um corpo receptor anterior ao mar, como um rio. Este trabalho é importante para a discussão de viabilidade de um exultor submarino com relação a um tratamento convencional e sobre os critérios que a água deve apresentar para manter a balneabilidade das praias que estarão sob efeito dos efluentes tratados.

Já no trabalho de Alfredini (2007), é comentada a avaliação de processos costeiros e estuarinos através de modelagem física no Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O estudo desses processos ajuda a compreender as correntes de circulação que atuam na área de implantação do emissário submarino e providenciam informações importantes com relação à hidrodinâmica envolvida na disposição oceânica. Juntamente com informações relacionadas às ondas, é possível traçar planos de contingência, navegação e análise de processos litorais e forças atuantes na estrutura do exultor submarino.

Arasaki e Ortiz (2007) faz uma comparação de custo-benefício entre uma estação de tratamento de esgoto através do processo de lodo por batelada (ETE-LAB) e a estação de pré-condicionamento (EPC) com emissário submarino e analisa os critérios para emissário de uma zona de mistura na costa de São Paulo. Seu trabalho teve como objetivo a análise de resultados obtidos, por campanhas oceanográficas juntamente com a Marinha brasileira e a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) e amostragens da água, através de um levantamento batimétrico, resultando em um imageamento da pluma do efluente e com auxílio de programas de simulação de zonas de mistura como CORMIX. Os resultados obtidos através deste artigo poderão ser utilizados para futuras tomadas de decisão com relação ao futuro do saneamento básico no litoral paulista, como futuras

expansões de emissários submarinos, futuras obras marítimas, entre outras obras que possam afetar o desempenho do exultor submarino.

Em seu artigo, Bleninger e Jirka (2007) discute um assunto que não será aprofundado no presente trabalho, apenas apresentado de forma sucinta, que é o processo de cálculo para dimensionamento de difusores em emissários submarinos. Este assunto é importante para ser retratado, pois apresenta vários fatores que devem ser levados em conta para evitar a perda de dinheiro, problemas hidráulicos, como bloqueio parcial, baixa diluição do efluente e para minimizar impactos no ambiente aquático.

Através de visita a Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Vila Nova de Gaia em Portugal, foi possível obter algumas informações importantes com relação à infraestrutura e funcionamento do tratamento de esgoto e disposição oceânica, como volumes médios de funcionamento, quais os sistemas de tratamento empregados e como é feito o tratamento, direcionamento e armazenamento do lodo gerado.

Já na tese de doutorado de Mendonça (2014), são feitas diversas considerações tanto sobre um design funcional como sobre um design estrutural para emissários submarinos, especificando condições de qualidade de água, mecanismos e previsões para a diluição do efluente, integridade estrutural e estabilidade da tubulação, entre outras características. Esta tese tem como objetivo a discussão de um modelo para avaliação de riscos na implantação de um emissário submarino, analisando os itens descritos anteriormente e possíveis situações de falhas nesses âmbitos apresentados.

Inverno (2013), faz um estudo da modelagem numérica da interação de ondas em emissários submarinos em sua tese de mestrado. Em seu trabalho, Inverno descreve quais são os parâmetros utilizados para o estudo da interação das ondas e descreve como é realizada a modelagem numérica dessas interações através do modelo numérico IH-2VOF. Como objetivo de estudo, foram realizadas simulações do efeito das ondas em um cilindro dentro de um canal e comparando os resultados com o modelo numérico em questão, concluiu-se que os escoamentos experimentais e numéricos são semelhantes entre si, de forma global. Inverno obteve resultados importantes com relação ao cálculo de pressões geradas pelas ondas exercidas sobre o cilindro, representando o emissário submarino, deve-se enfatizar as ações das ondas para o cálculo da estrutura de um exultor submarino.

A tese de mestrado de Moura (2011) teve como objetivo apresentar dois métodos para construção do trecho submarino de um sistema de esgotamento por disposição oceânica, apresentando os pontos positivos e negativos de cada metodologia. O objeto de estudo foi o emissário submarino de Campeche. Moura levanta um importante

questionamento que são os impactos ambientais gerados pela implantação de um exultor submarino, como na execução de um canteiro de obras, na mobilização de recursos e na própria implantação da estrutura. Este trabalho é de suma importância por conta de sua sugestão de metodologias para construção de emissários submarinos, apontando as vantagens e desvantagens de cada sugestão.

No artigo de van Rijn (2013) sobre transporte de sedimentos próximo a estruturas marítimas, van Rijn comenta sobre a sedimentação e a erosão provocadas pelas correntes, o que pode causar a exposição das estruturas de uma tubulação que esteja localizada submersa em meio marítimo, afetando estruturalmente. Porém o maior enfoque deste trabalho é mostrar a interação das correntes no processo de erosão próximo a esse tipo de tubulação e diferentes metodologias de cálculo para previsão do transporte de sedimentos.

O trabalho de Rodrigues (2013) levanta um grande questionamento com relação ao emissário submarino de Maceió-AL. Seu trabalho tem como objetivo diagnosticar a situação do saneamento básico em Maceió e se o emissário submarino implantado tem a capacidade de suportar a carga de efluentes gerada caso todo o esgoto gerado pela população desta cidade seja enviada ao oceano e, através dos resultados dessa pesquisa, propor um aumento na eficiência dos sistemas de saneamento locais e possivelmente uma expansão do emissário existente. Este trabalho trata do emissário submarino de Maceió-AL, porém serve como questionamento para todos os emissários submarinos, pois a cobertura dos sistemas de saneamento de cidades litorâneas tende a crescer e com isso a vazão de efluentes que chega às estações de tratamento de esgoto e por fim, na disposição oceânica, ou até mesmo em alguns casos como em Santos que há uma grande movimentação de pessoas na época de férias e do verão.

Já em sua tese de mestrado, Freitas (2010) apresenta uma metodologia para a execução de um projeto de tratamento de esgoto e disposição oceânica através de um emissário submarino para cidade de pequeno porte. Analisando o panorama brasileiro da situação do saneamento básico, cidades de pequeno porte carecem de recursos financeiros para executar tratamentos convencionais de esgoto e a disposição oceânica é uma boa forma de ter um retorno benéfico para essas cidades. Este trabalho não só apresenta metodologia para a execução de projetos de emissários submarinos, mas sobre a escolha de materiais e as formas de garantir a estabilidade das estruturas do emissário submarino.

Lapa (2008) fez estudos dos fundamentos teóricos e de experiências práticas sobre patologias, recuperação e reparo de estruturas de concreto em sua dissertação. Onde foi possível analisar as fases de projeto, emprego de materiais e processos construtivos, com o

objetivo de evitar as patologias e caso ocorram, visando a profunda análise das condições que geraram tais patologias e seus devidos reparos. Este trabalho acrescenta informações importantes sobre o emprego de concreto armado em diversas situações, que tipos de patologias podem ocorrer caso seu emprego seja feito de forma errônea e quais são as devidas providências a serem tomadas.

Em seu artigo, Oliveira estuda um caso de corrosão de armadura de uma estrutura de concreto armado e faz uma comparação de custos entre as ações corretivas em relação aos custos de execução e de prevenção de tal patologia, chegando a conclusão de que estes custos de recuperação podem chegar a valores expressivos pela comparação. Esta comparação prática confirma o conhecimento geral de que as ações corretivas geram custos maiores em longo prazo do que as ações preventivas.

Hauser (1982) disserta sobre a previsão de durabilidade de concretos preparados com agregados graníticos e calcários em túneis emissários de esgoto. Hauser diz que por conta da prolongada exposição das tubulações ao esgoto e principalmente sob o efeito do calor do verão, há a aceleração da formação de sulfetos e a seguir a formação de ácido sulfúrico, através da exposição com a umidade presente na parte superior da tubulação, que agredem o concreto, causando a corrosão do mesmo. Este assunto é bastante discutido e é de suma importância para a durabilidade do concreto e da estrutura das tubulações que encaminham os esgotos para o tratamento.

Almeida (1986) apresenta um roteiro para a execução de estudos oceanográficos necessários para a implantação de um emissário submarino, onde é explicado que os estudos oceanográficos são divididos em quatro etapas, sendo elas: física, biológica, química e geológica. Cada etapa é detalhada e esses estudos devem ser feitos de forma organizada e programada com o objetivo de evitar a perda de dados, por conta da complexidade de obtenção dos dados, da necessidade de apoio logístico e alto custo.

2.3 ZONA DE MISTURA

Deneker (2007), afirma que o gerenciamento das águas superficiais necessita que o ponto de descarga seja regulado não apenas pelo final da tubulação, mas de uma forma que seja possível analisar a diluição inicial numa zona de mistura. Neste trabalho apresenta o conceito de zona de mistura, que se caracteriza por uma zona onde ocorre a mistura do efluente com o corpo receptor e ocorre a auto-depuração do esgoto e apresenta também CORMIX, um simulador e sistema de suporte para decisões com relação ao ambiente e

conforme a metodologia de funcionamento deste software, o sistema analisa a qualidade da água dentro das zonas de mistura, afetando diretamente o projeto e execução de um emissário submarino.

Ortiz *et al.* (2007) discute a visão geral dos emissários submarinos e faz uma comparação entre a disposição oceânica com Estação de Pré-Condicionamento (EPC) versus o tratamento de esgoto por lodo ativado por batelada. Durante a sua comparação, é levantado um importante questionamento com relação à zona de mistura, afirmando que não é fácil reproduzir em modelo a real trajetória de uma pluma de esgoto no mar, por conta das variáveis que envolvem este processo, como a ação das correntes marítimas. Por fim, este trabalho também faz mais alguns questionamentos com o objetivo de auxiliar na definição da zona de mistura e no processo de tomada de decisões envolvendo a opção por emissário submarino.

Ainda sobre modelagem de zonas de mistura, Ortiz (2007) disserta sobre o software de modelagem CORMIX e o compara com o software FLUENT, concluindo que ambos podem ser utilizados e seus resultados devem ser comparados, com o objetivo de complementação de informações e formação de uma zona de mistura. É importante salientar que a determinação da zona de mistura, dispersão de pluma descarregada pelo emissário submarino e programas de monitoramento tanto da qualidade da água quanto dos aspectos físicos da tubulação são fatores decisivos para a obtenção da licença ambiental e implantação de um sistema de disposição oceânica.

Na tese de mestrado de Gregorio (2009), foi estudada a modelagem numérica da dispersão da pluma do emissário submarino de Santos. São apresentados diversos métodos para a modelagem de pluma e foram estudadas três hipóteses, que são: o projeto original de 1979, a nova configuração de 2009 e uma terceira configuração sugerida pelo autor que duplica o comprimento da tubulação com relação ao comprimento original. Com os resultados obtidos, Gregorio (2009) conclui que o terceiro arranjo possuiria plumas com menos extensão e comprimento do que os projetos comparados.

2.4 MONITORAMENTO

Scanes (2007) também desenvolve um artigo sobre programas de monitoramento da eficiência dos emissários submarinos na descarga oceânica e sobre os efeitos que uma descarga mal controlada pode causar no ecossistema aquático, como eutrofização, intoxicação de ecossistemas e pessoas, uma baixa qualidade de água, assim

como a balneabilidade, entre outros impactos. Scanes estuda o programa de monitoramento dos ecossistemas que ocorre em Sydney e é importante salientar como uma comparação e enriquecimento de informações com relação à monitorização e garantia da eficiência da solução para tratamento de esgoto estudado.

Em complemento aos trabalhos citados anteriormente, Avanzi (2007) introduz em seu artigo sobre o conceito do controle do sistema de disposição oceânica e sua infraestrutura, levantando importantes parâmetros que devem ser atendidos, assim como softwares e formas de controle que devem ser utilizadas para garantir a eficiência do tratamento e da disposição, com o objetivo de apresentar o Projeto “Life Aquarius” utilizado pela UE como mecanismo de controle e técnicas de avaliação das condições de operação do sistema de disposição oceânica. Este artigo providencia um ponto de vista europeu para o problema do controle e a garantia de uma eficiência dos emissários submarinos abordado na década de noventa e quais foram os objetivos alcançados.

Avanzini (2007) comenta igualmente sobre as fases de execução de um emissário submarino de forma sucinta, levando o assunto para o ponto de vista da supervisão e planejamento de execução de projeto, levantando grandes questionamentos quanto a execução de cada etapa, desde a aprovação e o planejamento até a preparação física e dos softwares que dão suporte para o sistema de controle do sistema de tratamento de esgoto por emissários submarinos. Este trabalho é de grande importância para mostrar e detalhar alguns pontos cruciais que devem ser respeitados neste assunto, dando maior enfoque para a situação prática e operacional da implantação desse sistema de tratamento de esgoto.

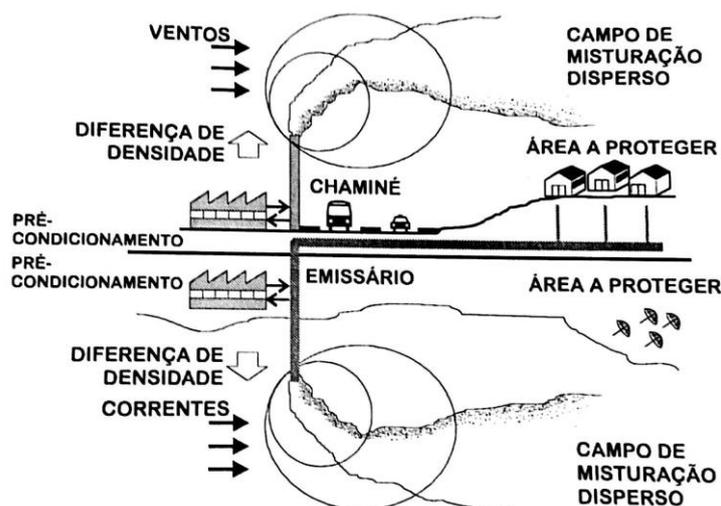
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sistema de disposição oceânica é composto por cinco principais elementos, sendo eles: uma estação de tratamento de efluentes, uma tubulação terrestre que interliga a estação de tratamento de efluentes com a chaminé de equilíbrio, uma tubulação submersa que se estende por quilômetros em direção ao mar e uma tubulação difusora, que servirá para o lançamento dos efluentes no corpo receptor, o mar.

A principal característica que envolve todo o processo de disposição oceânica é a capacidade de auto-depuração do mar, ou seja, a capacidade de diluição dos efluentes nas águas marinhas e visando o menor impacto ambiental possível, permitindo tanto a balneabilidade das águas quanto o bem-estar dos ecossistemas marinhos.

Uma excelente comparação com uma chaminé de uma indústria para um melhor entendimento de como funciona o sistema de disposição oceânica é feita por Gonçalves e Souza (1997) na Figura 1.

Figura 1 Ilustração de um sistema de disposição oceânica em comparação a uma chaminé



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

3.1 ASPECTOS LEGAIS RELATIVOS À DISPOSIÇÃO OCEÂNICA

No Brasil, não existe uma parte da legislação que atenda em especial os emissários submarinos, porém há outras ferramentas em que é possível obter um respaldo legal sobre os procedimentos a serem tomados para a execução de um sistema de esgotamento oceânico.

As ferramentas que são comumente utilizadas para se obter esse tipo de respaldo são: as resoluções CONAMA e em especial a resolução N° 357/05 e N° 430/11. Como o lançamento de efluentes domésticos é uma das principais causas de poluição dos oceanos, são necessários muitos estudos prévios e a montagem de um plano para monitoramento ambiental das regiões que serão afetadas no caso de uma obra como a de um emissário submarino.

A união dos resultados desses estudos prévios com o plano de monitoramento deve formar uma solução que atenda as condições dos parâmetros indicados nas resoluções CONAMA.

3.1.1 Legislação Brasileira referente às Águas

Os aspectos legais que influem na implantação de um sistema de esgotamento sanitário por disposição oceânica são apresentados na resolução N° 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Alguns dos principais objetivos desta resolução são:

- Fazer o controle dos lançamentos no meio ambiente de poluentes, proibindo o lançamento em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida;
- Fazer a classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por condições e padrões específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes;
- Estabelecer os padrões de qualidade da água para o seu lançamento, assim como parâmetros para garantir a qualidade do esgotamento;
- Garantir que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas.

A resolução CONAMA N° 357 veio a ampliar e substituir a resolução de número 20 do CONAMA no dia 17 de março de 2005, com o objetivo de estabelecer novos parâmetros com relação à qualidade da água para uso doméstico e industrial, segundo Silva (2016).

É importante salientar que de acordo com esta resolução as águas são divididas inicialmente em três tipos sendo eles: Águas Doces, Águas Salinas e Águas Salobras. Segundo a CONAMA N° 357, as águas doces possuem salinidade igual ou menor a 0,5‰, as

águas salobras possuem salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰ e as águas salinas possuem salinidade igual ou superior a 30‰.

E cada tipo de água tem suas subdivisões, como o assunto principal desta dissertação é uma estrutura marítima, serão comentadas as subdivisões das águas salinas e salobras, segundo CONAMA N° 357:

- Classe especial, que são destinadas à preservação ao meio ambiente aquático, como em unidades de conservação de proteção integral e para manter o equilíbrio natural da comunidade aquática;
- Classe um, que são destinadas à recreação de contato primário, à proteção de comunidades aquáticas, à aquicultura e à atividade de pesca;
- Classe dois, que são destinadas à pesca amadora e à recreação de contato secundário;
- Classe três, que são destinadas à navegação e à harmonia paisagística.

Na Tabela 1 são apresentadas as condições e os padrões de qualidade da água com o objetivo de caracterizar e classificar cada categoria de água e suas subdivisões.

Tabela 1 Padrões de qualidade de água

Composto	Águas Salinas			Águas Salobras		
	Classe 1 (mg/L)	Classe 2 (mg/L)	Classe 3 (mg/L)	Classe 1 (mg/L)	Classe 2 (mg/L)	Classe 3 (mg/L)
Oxigênio Dissolvido	6.0	5.0	4.0	5.0	4.0	3.0
Carbono Orgânico Total	3.0	5.0	10.0	3.0	5.0	10.0
Nitrogênio Amoniacal total	0.4	0.7	-	0.4	0.7	-
Nitrito	0.07	0.2	-	0.07	0.2	-
Nitrato	0.4	0.7	-	0.4	0.7	-
Fósforo	0.062	0.093	-	0.124	0.186	-
Polifosfato	0.031	0.046	-	0.062	0.093	-
Clorofila	0.004	0.02	-	0.007	0.02	-

Fonte: Adaptado de Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento, Desafios para o Licenciamento e Monitoramento Ambiental de Emissários Submarinos: a Experiência de São Paulo, Claudia Condé Lamparalli (2007).

E na Tabela 2, com relação aos padrões de balneabilidade.

Tabela 2 Padrões de balneabilidade

Categoria		Coliformes Term. (NMP/100 mL)	Escherichia coli (UFC/100mL)	Esterococos (UFC/100 mL)
Própria	Excelente	<250 em 80% das amostras	<200 em 80% das amostras	<25 em 80% das amostras
	Boa	<500 em 80% das amostras	<400 em 80% das amostras	<50 em 80% das amostras
	Satisfatória	<1000 em 80% das amostras	<8000 em 80% das amostras	<100 em 80% das amostras
Imprópria		>1000 em mais de 20% das amostras	>800 em mais de 20% das amostras	>100 em mais de 20% das amostras
		>2500 na última amostra	>2000 na última amostra	>400 na última amostra

Fonte: Adaptado de Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento, Desafios para o Licenciamento e Monitoramento Ambiental de Emissários Submarinos: a Experiência de São Paulo, Claudia Condé Lamparalli (2007).

Outras resoluções surgiram desde 2005 com o objetivo de complementar a Resolução CONAMA N° 357/5, assim como a Resolução CONAMA N° 393/2007 (que dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural) e a Resolução CONAMA N° 397/08 (que altera o inciso II do § 4° e a Tabela X do § 5° do art. 34 da Resolução CONAMA N° 357/05 e acrescenta os §6° e 7°).

Mas a resolução CONAMA N° 430/2011 veio a complementar a Resolução vigente n° 357/05 no âmbito da gestão do lançamento de efluentes em corpos de águas receptores. Segundo Ceron (2012), os principais pontos de destaque desta resolução foram:

- Inclusão de novas definições, assim como a definição de emissários submarinos e atualização da definição de zonas de mistura;
- Definição de condições para lançamento de efluentes em emissários submarinos;
- Alterações e inclusões de condições e parâmetros para controle e lançamento de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- Exigências mais rigorosas para a realização das coletas de amostras e ensaios laboratoriais de efluentes, entre outros pontos.

O acréscimo das novas informações, definições, condições e parâmetros referentes ao lançamento de efluentes foi de grande importância para a legislação ambiental brasileira, demonstrando um avanço no âmbito do lançamento e controle de efluentes e um maior nível de exigências, refletindo na preocupação para com o meio ambiente aquático e o bem-estar do ser humano.

3.1.2 Licenciamentos e Programas de Monitoramentos

As licenças e programas de monitoramentos tem um objetivo em comum, que seria a minimização dos impactos ambientais gerados pelo emissário submarino. É importante

salientar que a estrutura organizacional para obtenção do licenciamento ambiental é sempre a mesma não importa a localidade dentro do Brasil, porém algumas exigências podem ser alteradas dependendo do órgão responsável em cada localidade ou Estado. As informações a seguir informam o padrão seguido pela agencia licenciadora do Estado de São Paulo, a Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo).

Uma vez que o emissário submarino desenvolve atividades consideradas potencialmente poluidoras do ponto de vista da legislação ambiental, deve-se obter o licenciamento ambiente que se dá em três fases, sendo elas:

- Licença Prévia (LP);
- Licença de Instalação (LI);
- Licença de Operação (LO).

Segundo Lamparelli (2007), na primeira fase para o licenciamento ambiental deve ser elaborado um RAP (Relatório Ambiental Preliminar) que deve conter informações iniciais referentes ao projeto do emissário, tais como: sua localização, seu comprimento, profundidade, disposição e número de difusores, modelagem matemática do comportamento de pluma no campo próximo e no campo distante e a caracterização ambiental do corpo receptor.

Os aspectos técnicos citados acima serão discutidos aprofundadamente a seguir. Este relatório tem como objetivo explicitar as condições iniciais de implantação do emissário submarino para o órgão licenciador que avaliará a viabilidade ambiental do empreendimento e solicitará ou não a execução de um EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto no Meio Ambiente).

Este segundo estudo é mais complexo e completo e deve apresentar informações mais detalhadas com relação a caracterização do empreendimento, as condições ambientais do corpo receptor e de balneabilidade, as previsões de impactos que serão gerados pela implantação do exultor, quais são as soluções previstas para a minimização desses impactos, um orçamento preliminar e um programa para monitorização ambiental da área afetada, de acordo com Artigo 6º da Resolução CONAMA 001/86.

Nas etapas seguintes para obtenção do licenciamento, o órgão licenciador participa da aprovação da licença de Instalação e de Operação, podendo assim, pedir documentos e informações complementares específicas de caso a caso.

Os programas de monitoramento têm como objetivo principal garantir a qualidade das águas e são desenvolvidos pela agencia reguladora/licenciadora juntamente com a empresa responsável pelo saneamento básico da região, no âmbito mais geral, os

programas de monitoramento ativos no Estado de São Paulo, segundo Lamparelli (2007), são descritos na Tabela 3.

Tabela 3 Programas de Monitoramento de águas no Estado de São Paulo

Programa de monitoramento	Início	Nº aprox. Pontos de amostragem	Frequência Amostral	Parâmetros
Praias	1968	150	Semanal	3.00
Cursos de água	1984	600	Semestral	2.00
Rios Litorâneos	2001	30.0	Semestral	14.0
Emissários	2002	5.0	Semestral	16.0

Fonte: Adaptado de Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento, Desafios para o Licenciamento e Monitoramento Ambiental de Emissários Submarinos: a Experiência de São Paulo, Claudia Condé Lamparalli (2007).

Lamparelli (2007) disserta que o plano de monitoramento, sendo os parâmetros de verificação, a frequência da amostragem e a localização, aprovados pela agência licenciadora. Lamparelli (2007) também comenta que o monitoramento ambiental para emissários submarinos é dividido em três fases:

- Monitoramento prévio cujos resultados devem constar no RAP sendo necessários antes da emissão da LI;
- Monitoramento intensivo nos primeiros anos de operação;
- Monitoramento contínuo durante a operação do sistema.

E estes programas de monitoramento também devem incluir:

- Monitoramento dos cursos de águas;
- Monitoramento das praias;
- Monitoramento do corpo receptor;
- Monitoramento do efluente.

Nesses monitoramentos são colhidas amostras dos cursos de águas, das praias, do corpo receptor e do efluente afim de serem encaminhadas a um laboratório que fará os ensaios com relação aos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e hidrobiológicos, segundo Lamparelli (2007).

Scanes (2007) completa dizendo que um bom programa de monitoramento deve normalmente cobrir uma variedade de abordagens de acordo com cada requisito particular de cada parâmetro a ser monitorado. Porém de outra forma, Lamparelli (2007) também aponta mesmo havendo muitas dificuldades no monitoramento de emissários submarinos, como por exemplo, equipamentos específicos que deixam o custo mais elevado,

condições meteorológicas e a localização dos difusores, existe a modelagem matemática que pode simular algumas situações que sejam impossíveis de se amostrar e com todos esses dados é possível fazer uma análise do empreendimento.

Um emissário submarino possui uma vida útil elevada e por isso há fatores cumulativos que são dificilmente detectáveis nos primeiros anos de sua operação. Lamparelli (2007) conclui muito bem dizendo que “[...] é muito importante trabalhar com a visão de prevenção uma vez que é difícil prever e medir as alterações do ambiente marinho sendo que parte delas pode ser ainda desconhecida.”.

3.2 ASPECTOS TEÓRICOS RELATIVOS À DISPOSIÇÃO OCEÂNICA

Apesar de, geralmente, apresentarem custos-benefícios elevados, os emissários submarinos devem ser bem planejados e dimensionados para evitar problemas como por exemplo, subdimensionamento e superdimensionamento de tubulações ou condições mal previstas para a dispersão dos efluentes no mar, afetando negativamente a eficiência do emissário submarino.

Ortiz *et.al.* (2007) apresenta na Tabela 4 indicando as principais vantagens e desvantagens de se optar por um sistema de disposição oceânica.

Tabela 4 Vantagens e desvantagens na implantação de emissários submarinos

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

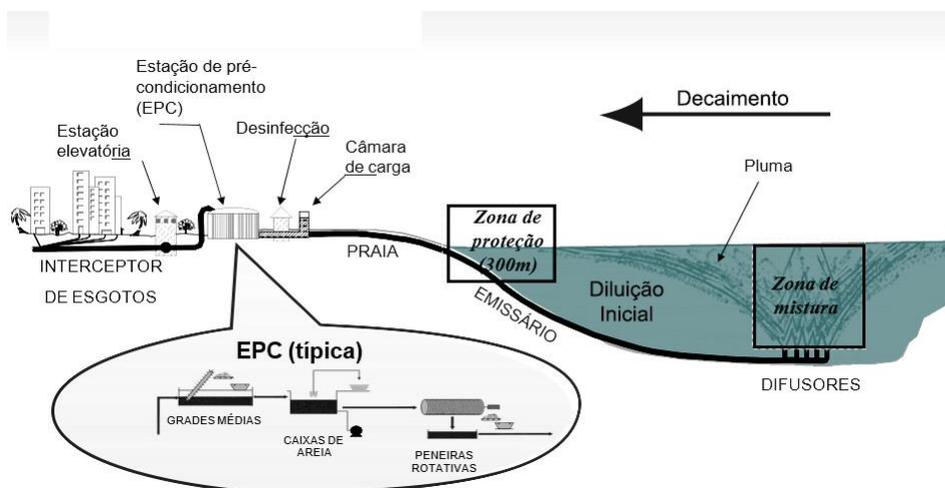
Fonte: Adaptado de Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento, Visão Geral dos Emissários Submarinos no Litoral Paulista, Ortiz *et. al.* (2007).

No decorrer deste subcapítulo serão apresentados os principais aspectos teóricos que envolvem as tomadas de decisão com relação aos emissários submarinos.

3.2.1 Infraestrutura para a solução de disposição oceânica

Os equipamentos que compõem o sistema de disposição oceânica podem ser divididos em quatro sistemas: Estação de Pré-Condicionamento (EPC), as instalações de transporte dos efluentes pré-condicionados ou emissário parte terrestre (EMT), o emissário parte submarina (EMS) e a tubulação difusora (TBD), segundo Gonçalves e Souza (1997). (Figura 2).

Figura 2 Características típicas de um sistema de esgotamento oceânico



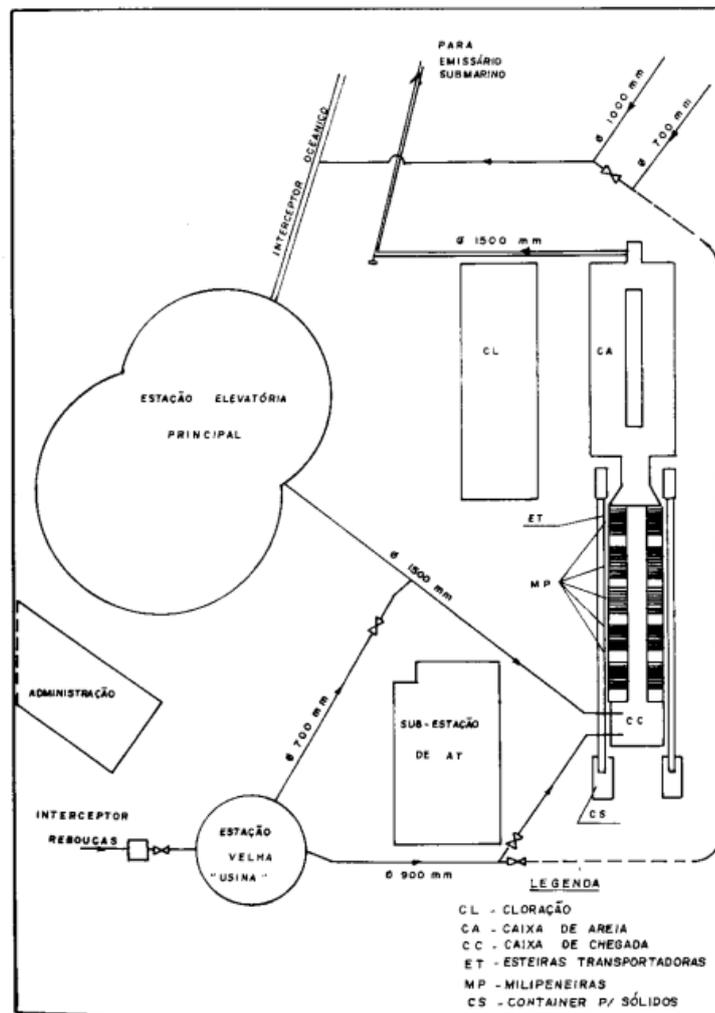
Fonte: Adaptado de Apresentação de Slides “Emissários Submarinos para Lançamento de Efluentes Sanitários”

Os efluentes domésticos são recolhidos pelo sistema de coleta de efluentes da região e encaminhados para um ou mais interceptores, tubulações com diâmetros maiores que tem a função de centralizar os efluentes e encaminhá-los para a Estação de Pré-Condicionamento.

Para comentar sobre os equipamentos desse sistema, será citado o exemplo da cidade de Santos, no Estado de São Paulo, cujo emissário submarino foi construído em aço revestido de concreto com 4.000 m de extensão inicial, diâmetro de 1,750 m e vazão de projeto de 7.000 l/s para o ano 2000. O lançamento do efluente é feito através de 40 tubulações difusoras, de 30,00 cm de diâmetro, em posição vertical, espaçados a cada 5,000 m entre si a uma profundidade de aproximadamente 10,00 m, segundo Agudo *et al.* (1986).

A máxima capacidade da EPC existente é de 3.500 l/s, ou seja, se faz necessária a construção de uma nova EPC para complemento desta unidade. Segundo Agudo *et al.* (1986), a Estação de Pré-Condicionamento é constituída pelos seguintes itens e ilustrada pela Figura 3.

Figura 3 Estação de Pré-Condicionamento da cidade de Santos



Fonte: Revista DAE, Vol. 46, N° 146, pág. 285

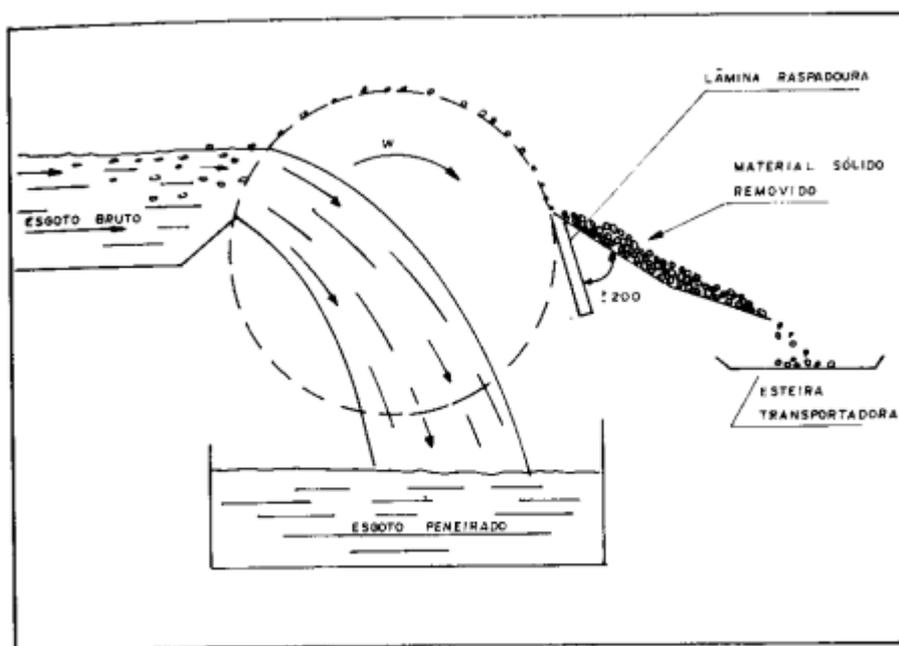
- Uma estação elevatória principal com capacidade máxima para uma vazão de 7.000 l/s, com um sistema de gradeamento grosseiro, com espaçamento de 10,00 cm cada e barras eletromecânicas, com espaçamento de 4,000 cm entre si;
- Uma estação elevatória terminal;
- Uma unidade de aplicação de produtos químicos (Cloração e Oxigênio);
- Uma unidade com dez peneiras rotativas em duas linhas com cinco peneiras cada;
- Uma unidade de caixa de areia (Air Lift);
- Uma unidade de transporte de sólidos, com esteiras transportadoras, caçambas basculantes e veículos apropriados.

Segundo Agudo *et al.* (1986), a unidade de peneiras rotativas é composta por uma caixa de chegada, onde chega o efluente e possui um dispositivo que evita o retorno em

caso de parada, e o canal das peneiras, que distribui o efluente através de duas comportas para cada linha de peneiras.

As peneiras rotativas têm a capacidade de processar 350 l/s de efluente por peneira. As peneiras são construídas em aço inoxidável 304, com abertura de 1,5 mm, seu diâmetro é de 914,4 mm, seu comprimento é de 2.984,5 mm e seu funcionamento é ilustrado através da Figura 4.

Figura 4 Peneiras Rotativas



Fonte: Revista DAE, Vol. 46, N° 146, pág. 285

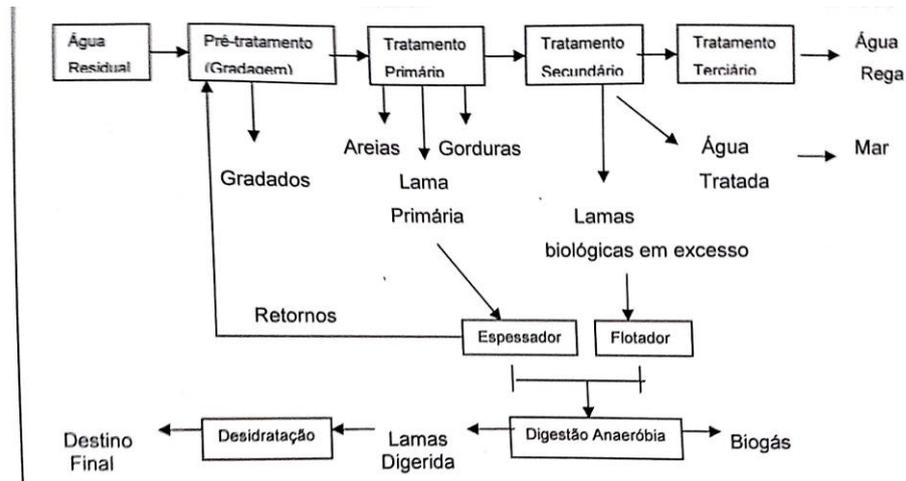
A unidade de caixa de areia tem como objetivo a sedimentação de material com granulometria entre 0,2 e 1,5 mm. Por se tratar de um tanque com grandes dimensões, é mantida uma velocidade de escoamento igual 0,3 m/s, suficiente para que haja o depósito desse tipo de material e não ocorra sedimentação de matéria orgânica. Possui uma soleira arredondada com objetivo de que a água faça um movimento helicoidal e também possui o sistema Air Lift, onde a areia depositada é succionada, segundo Agudo *et al.* (1986).

Como a declividade das tubulações da rede da cidade é baixa, o tempo de permanência do efluente no sistema é elevado, causando a formação de teores elevados de H₂S. Segundo Agudo *et al.* (1986), o objetivo da aplicação de produtos químicos, sendo o oxigênio no poço de sucção das bombas e a cloração nas entradas das peneiras, é de eliminar os odores, em especial o H₂S.

Por fim, o material sólido que é recolhido do gradeamento e das peneiras rotativas é despejado nas caçambas basculantes e depois é direcionado a um aterro sanitário.

Mas também podem existir outros sistemas para tratamento de efluentes, como por exemplo ocorre em Vila Nova de Gaia, Portugal. Nesta cidade, o emissário submarino também foi executado em tubos tipo “BONNA” (Aço revestido de concreto armado no interior e exterior) e PEAD. (Figura 5)

Figura 5 Processo de tratamento de efluentes na ETAR de V. N. de Gaia



No caso deste emissário submarino, a Estação de Tratamento de Águas Residuais é composta por tratamentos preliminares, primários, secundários e terciários, sendo que a capacidade máxima de tratamento de efluentes é de 66.718 m³/dia e uma carga de 16.352 kg/dia de CBO₅ (carência bioquímica de oxigênio). O tratamento preliminar é composto apenas por um gradeamento do efluente com o objetivo de evitar que os sólidos de maiores granulometrias interfiram nos outros tratamentos.

O tratamento primário é composto por um elemento chamado Sedipac 3D, onde são feitas as remoções de areias, gorduras e sólidos sedimentáveis através da decantação primária sem utilização de reagentes. O tratamento secundário se dá pelo processo de lamas ativadas, com o objetivo da remoção de sólidos dissolvidos, que é composto por:

- Reator de depuração (Desenvolvimento da biomassa em condições aeróbias e adição de oxigênio e/ou promoção de uma agitação eficiente);
- Clarificação (Separar a biomassa (flóculos) da água intersticial depurada e concentrar a biomassa);
- Recirculação das lamas (Manutenção da quantidade de biomassa no reator).

Esse tipo de tratamento secundário depende do estabelecimento de uma comunidade estável de microrganismos que possa remover a matéria orgânica, degradando-a, gerando o processo de floculação e por fim, esses flóculos gerados irão se sedimentar de forma a originar lamas concentradas que serão separadas do efluente tratado e clarificado e depois recirculadas e depois este efluente tratado é descarregado no oceano pelo emissário submarino.

O tratamento terciário se dá pela filtração e desinfecção por raios ultravioleta com o objetivo de remover os microrganismos patológicos. Apenas parte dos efluentes vão para este tipo de tratamento para serem destinados ao reaproveitamento na própria ETAR, no caso para rega e lavagens.

Ainda há dois equipamentos que fazem o tratamento das lamas, o espessador, que tem como objetivo reduzir o volume das lamas por supressão de água intersticial, e o flotador, onde as lamas biológicas em excesso passam por um processo de espessamento por flotação por ar dissolvido. Depois desses processos de espessamento, as lamas passam por um processo de homogeneização e são tratadas através do processo da digestão anaeróbica.

O resultado dessa digestão anaeróbica gera metano e gás carbônico que serão armazenados em um gasômetro e as lamas tratadas são centrifugadas com o objetivo de obter lamas desidratadas para serem utilizadas na agricultura.

3.2.2 Aspectos projetuais dos emissários submarinos e dimensionamento da tubulação principal

Para o dimensionamento da tubulação do emissário submarino em si e a infraestrutura da ETE são considerados parâmetros padrões para o dimensionamento de uma estação de tratamento comum e uma tubulação de efluentes domésticos comum, com algumas ressalvas com relação às pressões exercidas pelas águas, correntes marítimas e dependendo do material e do método construtivo.

Deve-se estudar o perfil de consumo de água da população durante o ano, atentando-se que há diferenças consideráveis em dependentes épocas do ano e, portanto, alteração na quantidade de efluente doméstico. Também deve-se estudar o perfil de crescimento populacional com o passar dos anos e por se tratar de cidades litorâneas, há épocas de baixa e alta temporada por conta de férias e clima, que podem gerar uma população flutuante até cinco vezes maior a população local, por vezes até maior.

Dependendo do sistema de coleta de efluentes, há a coleta das águas pluviais unificada com a coleta dos efluentes domésticos, tendo a necessidade de se fazer um estudo

das chuvas passadas. De forma simplificada, uma vez tendo esses perfis traçados, é possível criar uma curva para estimar informações futuras para estimar as vazões de final de projeto.

Uma vez obtendo os valores das vazões médias iniciais e finais de projeto, é possível determinar as velocidades do escoamento inicial e final. Para determinação dos diâmetros da tubulação deve-se considerar que para tratamento preliminar, a velocidade mínima é de 0,60 m/s, para tratamentos superiores a velocidade deve ser de no mínimo 0,30 m/s, respeitando a velocidade máxima prevista em norma técnica de 3,00 m/s, segundo Gonçalves e Souza (1997).

Esse método de cálculo das contribuições de efluentes domésticos utiliza-se da população contribuinte, a contribuição per capita, o coeficiente de retorno da água distribuída aos esgotos, o coeficiente do dia de maior consumo, o coeficiente da hora de maior consumo e a taxa de infiltração da rede, segundo Gonçalves e Souza (1997).

Porém esses cálculos para determinação do perfil de efluentes pode variar muito dependendo das situações, podendo causar um dimensionamento inadequado gerando patologias de pequeno grau de gravidade até medidas corretivas muito dispendiosas.

Gonçalves e Souza (1997) levantam importantes aspectos que devem considerados para a previsão das vazões iniciais e finais de projeto:

- As vazões iniciais de projeto muitas vezes não correspondem as vazões atuais;
- A área de projeto deve ser dividida em regiões homogêneas, onde se espera que a contribuição delas para a bacia no futuro seja uniforme;
- É interessante realizar medições nas sub-bacias próximas por conta de eventuais infiltrações no sistema que possam ocorrer;
- Devem ser realizadas medidas suficientes para se obter os hidrogramas dos dias de semana, dos finais de semana, da temporada mais seca, da temporada mais chuvosa e das temporadas de turismo;
- O parâmetro de infiltração na rede de esgotos deve levar em consideração o diâmetro da tubulação, profundidade e imersão no lençol freático.

Gonçalves e Souza (1997) afirmam que emissários submarinos bem projetados e construído tem vida útil elevada de cerca de trinta a cinquenta anos em condições operacionais válidas. Porém não é o que aconteceu com o emissário submarino de Ipanema/RJ, que será comentado no item, por conta de danos as suas estruturas de sustentação

e com a tubulação difusora do emissário de Santos/SP, alvo de colisões com âncoras de navios e redes de pesca.

Dependendo do caso, deve ser estudada a possibilidade da construção de um emissário submarino com uma vida útil mais curta, porém com menores dimensões e por consequência menores custos e depois uma construção de um novo emissário para a nova demanda, do que a construção de um emissário único.

A execução de um projeto de um emissário submarino é uma tarefa extremamente interdisciplinar, que deve levar em consideração aspectos geotécnicos, de engenharia hidráulica, de engenharia ambiental, de engenharia sanitária e de estudos oceanográficos e segundo Gonçalves e Souza (1997), normalmente envolve a participação de uma ampla equipe.

Como bem descrito em seu artigo, Almeida (1986) cita os principais aspectos que devem ser observados em um estudo oceanográfico:

- Ventos: necessários para determinação da sua influência nas correntes superficiais e contribui também para ajudar a prever a direção do percurso dos sólidos flutuantes;
- Correntes: é o principal parâmetro para o projeto de dispersão dos efluentes;
- Ondas: além do fato de contribuir com mais informações para a previsão da dispersão dos efluentes no mar, os parâmetros levantados com relação as ondas contribuem para o dimensionamento estrutural do emissário submarino;
- Marés: também contribui para a dispersão dos efluentes e fornece dados para o dimensionamento hidráulico e da câmara de carga do emissário;
- Estrutura de densidade: os dados obtidos servirão para determinar quais as possíveis profundidades em que o efluente chegará a partir da tubulação difusora;
- Topografia submarina: tem como objetivo fornecer dados que contribuam para o traço do perfil do emissário submarino;
- Decaimento bacteriano: este é o fator determinante para o comprimento do emissário;
- Plâncton e Bentos: tem como objetivo providenciar informações sobre a poluição ou não da região estudada;

- Qualidade da água: estudos e ensaios realizados para determinação da qualidade da água anterior a implantação do emissário submarino;
- Levantamento geológico: análise sobre os materiais que compõe o solo marítimo, para se compreender a capacidade de suporte do solo.

3.2.3 Considerações de cálculo de zonas de mistura e dimensionamento da tubulação difusora

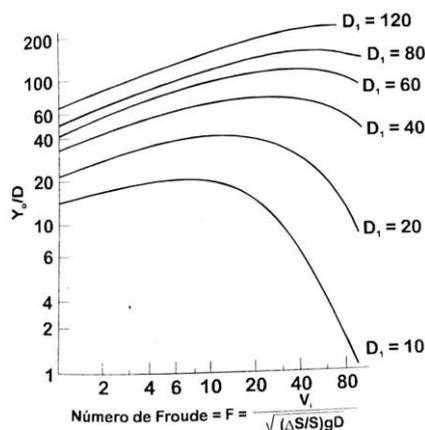
As principais preocupações para o dimensionamento de um emissário submarino se concentram no âmbito da diluição inicial do efluente, dispersão horizontal, decaimento bacteriano, as tubulações difusoras, zonas de mistura e pluma, pois são nesses quesitos, principalmente, que se pode concluir a eficiência e a eficácia do sistema de esgotamento oceânico.

Segundo Gonçalves e Souza (1997), no campo da diluição inicial, são apresentadas aproximações feitas por dois grandes pesquisadores na área de disposição oceânica: Norman Brooks e Phillip Roberts.

A aproximação de Brooks leva em consideração que os efluentes são lançados no oceano através de uma única ou várias tubulações difusoras e que seu lançamento causa uma mistura turbulenta e que a densidade do efluente é menor do que a água do mar, portanto levando o efluente ao encontro da superfície do mar, que pode ou não ocorrer, segundo Gonçalves e Souza (1997).

Abraham (1963) completa o sistema de curvas desenvolvido por Brooks para determinação da diluição inicial (D_1) mostrando que esta está em função da profundidade (Y_0), do diâmetro da tubulação difusora (d) e do número de Froude (F), segundo Figura 6.

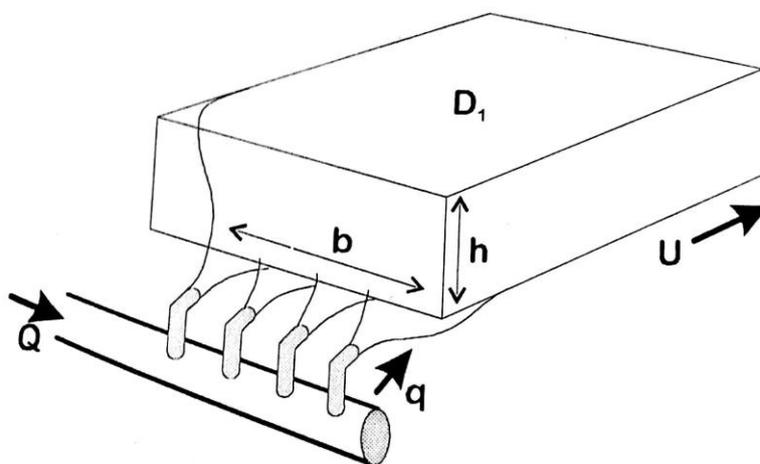
Figura 6 Diluição Inicial (Abraham)



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

Através dos estudos práticos, Brooks também pode chegar a uma equação para o deslocamento da massa de efluentes por conta da corrente marinha (U), segundo a Figura 7, sendo a vazão da tubulação difusora (q), vazão total do emissário (Q), profundidade local (h) e comprimento da zona difusora (b).

Figura 7 Diluição Inicial (Brooks)



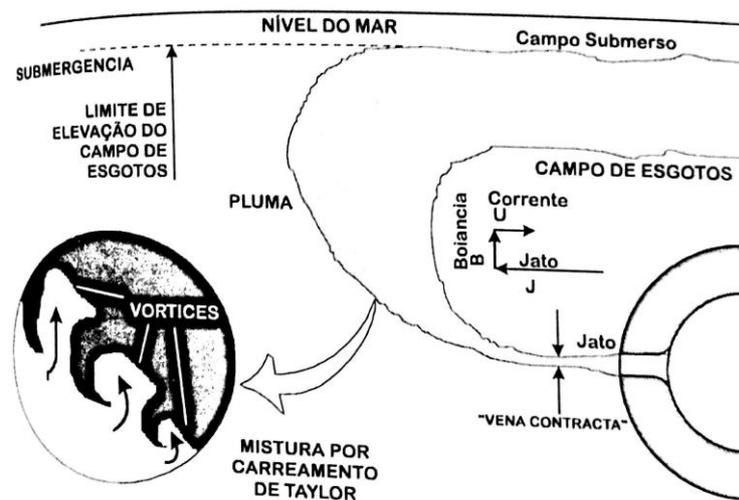
Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

E com este modelo, tendo algumas das informações disponíveis, como a corrente marinha, vazão do emissário, profundidade local estimada e assumindo a diluição inicial como 100, valor mínimo a se obter para diluição inicial, equivalente ao tratamento de 99% do efluente em uma ETE, segundo Gonçalves e Souza (1997), é possível determinar o comprimento da zona difusora.

Brooks também desenvolve modelos determinísticos para a previsão da dispersão horizontal e o decaimento bacteriano do efluente nas águas marinhas. Porém, esses modelos assim como o modelo de diluição inicial serão aperfeiçoados nos próximos estudos. Roberts aproveita as noções das aproximações feitas por Brooks e adiciona alguns fatores às equações.

Segundo Gonçalves e Souza (1997), Roberts lembra que ao efluente sai pelo orifício da tubulação difusora e entra em contato com o corpo receptor, ocorre um efeito de força de flutuação no efluente e sofrem a ação das correntes marítimas gerando o fenômeno de “carreamento”, segundo Figura 8.

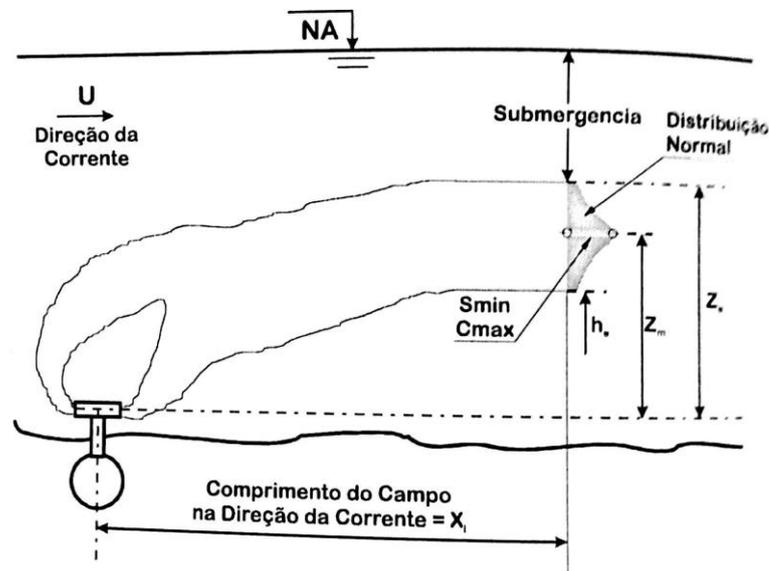
Figura 8 Fenômeno de Carreamento



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

Assim, Roberts pode concluir através de seus estudos que o fator de diluição, que é a soma do volume do efluente com o volume do corpo receptor numa zona definida dividida pelo volume do efluente, é menor no centro dos jatos e maior na sua periferia, ver Figura 9.

Figura 9 Difusão Inicial - Zona de Mistura (Roberts)



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

Segundo Gonçalves e Souza (1997), a zona de mistura tem sua extensão definida através da força de flutuação do efluente da intensidade das correntes marinhas.

Através desses estudos realizados por Roberts, foi estabelecida uma relação entre a área de escoamento da tubulação principal e a área total dos orifícios, que seria na ordem de no máximo 80%, ou seja, o valor ideal para a área total dos orifícios da tubulação

difusora deve ser entre $1/3$ e $2/3$ da área da tubulação principal, segundo Gonçalves e Souza (1997).

Os diâmetros para a tubulação difusora vêm reduzindo com o passar do tempo chegando até a 75mm de diâmetro, isso se dá porque no início dos dimensionamentos destas tubulações havia muito receio quanto a sua obstrução. Com a redução dos diâmetros, há o aumento do comprimento da zona difusora e, por consequência, uma melhor diluição inicial, (Gonçalves e Souza, 1997).

Ainda sobre tubulação difusora, Roberts chegou à conclusão de que as velocidades mínimas de escoamento na tubulação difusora deve ser de 0,30m/s para vazão mínima inicial, sendo que não há limite para o máximo de velocidade, atentando-se que se as velocidades forem muito elevadas, o caso deve ser estudado, segundo Gonçalves e Souza (1997).

Gonçalves e Souza (1997), *apud* Roberts *et al.* (1989) construíram um modelo para o cálculo do carreamento que ocorre na interação do jato de efluente e a força de flutuação do efluente com o corpo receptor e as correntes marinhas, este modelo se chama JETLAG, com o objetivo de se obter a trajetória do escoamento de efluentes pela área de estudo e suas dimensões.

Segundo Gonçalves e Souza (1997): “O modelo UM é o último modelo de uma série de modelos desenvolvidos para aplicações atmosféricas e para água doce por Winiarski e Frick (1976) e para aplicações marítimas por Teeter e Baumgartner (1979).”.

Este modelo tem como objetivo apenas estudar a pluma e o fenômeno de carreamento forçado, ou seja, quando parte do corpo receptor adentra a região da pluma por ação das correntes, e obter os mesmos tipos de resultados que o modelo JETLAG, porém com mais precisão.

Depois do desenvolvimento desses métodos para dimensionamento de diluição inicial, dispersão horizontal, decaimento bacteriano, tubulação difusora, zona de mistura e plumas, surgiram inúmeros *softwares* que englobam esses métodos e entre outros para facilitar estes dimensionamentos, um dos softwares para dimensionamento de plumas e zonas de misturas é o CORMIX.

Segundo Doneker (2007), o CORMIX utiliza uma interface inteligente chamada *Graphical User Interface* (GUI), disponível para *Windows*. Esta interface está munida de uma coleção de modelos de simulação hidrodinâmica, rotinas de visualizações interativas, documentações de simulações e *design* de ferramentas utilizadas em obras marítimas.

3.2.4 Materiais Empregados

Existem diversos materiais que podem ser utilizados para a construção de um emissário submarino e para cada situação, há algumas formas de implantação visando o melhor aproveitamento de canteiro de obra, de custos e menor risco de poluição das zonas de balneabilidade da localidade em questão.

Os primeiros emissários submarinos no mundo foram executados em ferro fundido ou em concreto simples ou armado. Já no Brasil, o primeiro emissário submarino foi o emissário de Ipanema (1975), construído em concreto protendido. Devido àquela época não ser possível produzir tubulações com 3,00m de diâmetro em concreto armado, conforme projetado, porém mesmo utilizando concreto protendido, foi mantido o diâmetro de 2,40m que seria o máximo valor de diâmetro que poderia ser construído utilizando concreto armado (Souza e Gonçalves, 1997).

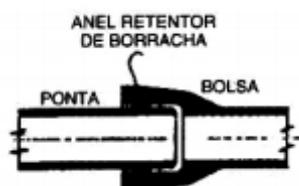
Conforme explicitado acima, existem emissários construídos em ferro fundido, em concreto armado, em concreto protendido, mas existem também outras tecnologias como tubulações executadas em aço revestido de concreto ou com a utilização de termoplásticos, como PEAD (Polietileno de Alta Densidade).

3.2.4.1 Concreto Armado

Segundo Souza e Gonçalves (1997), tubulações de concreto armado são fabricadas em diâmetros entre 0,60 e 4,00m, pesando entre 11 e 506 kg/m dependendo das dimensões. Podendo ser divididos em trechos de 5,0 a 10,0 m, sendo que suas juntas são do tipo ponta e bolsa, com um ou dois anéis de vedação.

A Figura 10 tem o intuito de mostrar como funciona esse tipo de junta, atentando que a ponta da tubulação de concreto armado deve ser rugosa, com reforço de aço para servir como batente ao anel de vedação e os vazios devem ser preenchidos por argamassa de cimento, segundo Ferraz (2009).

Figura 10 Junta Ponta e Bolsa



Fonte: Apostila "Meios De Ligação De Tubos Conexões De Tubulação Válvulas Industriais" - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009

Souza e Gonçalves (1997) acrescenta “Embora os tubos em concreto armado apresentem preços relativamente baixos, os métodos para seu assentamento são bem mais dispendiosos”.

3.2.4.2 Aço revestido de concreto

As tubulações constituídas de aço com uma capa de concreto o envolvendo podem ser fabricadas com até 2,35m de diâmetro, em seções de até 12,0m de comprimento e as juntas entre as seções geralmente são soldadas, o que oferece uma boa vedação da tubulação e por vezes são utilizados flanges, como em casos em que há a junção de dois tramos já submersos, segundo Souza e Gonçalves (1997).

Apesar de se tratar de uma solução de baixo custo, esse tipo de solução oferece diversas vantagens como: facilidade na construção, no transporte dos tramos e em seu assentamento. Entretanto, tubulações submersas em aço revestido de concreto necessitam de uma proteção catódica, o que faz com que o custo encareça, segundo Souza e Gonçalves (1997).

3.2.4.3 Materiais Plásticos

O mais recente resultado dos avanços tecnológicos com relação aos materiais empregados na construção de emissários submarinos é a utilização de materiais plásticos, também chamados de termoplásticos, como o PEAD – Polietileno de Alta Densidade, Polipropileno, entre outros.

Segundo Souza e Gonçalves (1997), tubulações termoplásticas podem ser produzidas de até 0,40m de diâmetro ou até maiores, porém há a necessidade de se fazer estudos prévios específicos para cada caso. Com um peso específico baixo por volta de $0,955\text{g/cm}^3$, essas tubulações flutuam no mar, o que facilita o transporte e a implantação, necessitando de uma ancoragem envolvendo a tubulação, seja em concreto ou em ferro, mas não se recomenda a utilização dessas ancoragens em ambientes desfavoráveis, como na ocorrência de fortes correntes marítimas ou lugares com grande movimentação de solo marinho.

Também segundo Souza e Gonçalves (1997), é importante salientar que as aplicações de tubulações termoplásticas devem ser devidamente estudadas para cada caso com o intuito de evitar problemas estruturais relativos a correntes marinhas, pressões internas e esforços relacionados à movimentação da estrutura pelas águas marinhas no geral.

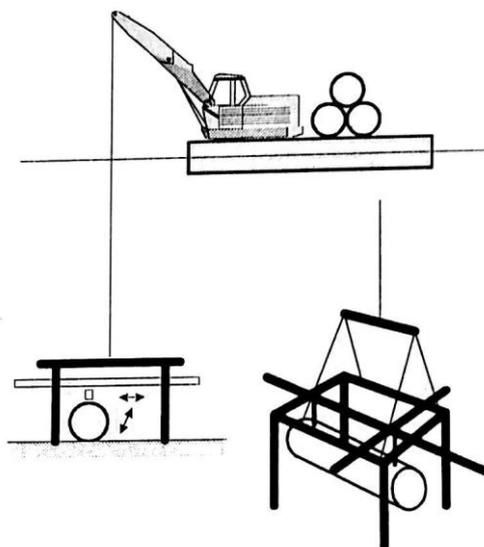
3.2.5 Métodos Construtivos

Os métodos construtivos para a execução de um emissário submarino devem levar em consideração, principalmente, as condições locais da implantação deste projeto, como dito por Souza e Gonçalves (1997): “Os principais fatores a serem considerados para a seleção do método construtivo são (i) material e diâmetro da tubulação, (ii) comprimento do emissário, (iii) topografia e geologia do local em terra, de início do emissário, (iv) batimetria e geologia do alinhamento previsto para o emissário submarino, (v) características do tempo, ventos, marés, ondas, correntes marinhas e transporte litorâneo de sedimentos e (vi) disponibilidade de equipamentos e pessoal especializado em construção marítima.”.

Os métodos construtivos podem ser divididos em quatro tipos, sendo eles: montagem de tramos junto ao solo marinho, montagem na superfície com o emprego de barça de lançamento, puxamento pelo solo marinho, a partir do canteiro de obras em terra (pulling) e o puxamento por flutuação pela superfície do mar e imersão controlada.

Segundo Souza e Gonçalves (1997), no caso da montagem de tramos junto ao solo marinho, geralmente são utilizadas tubulações em concreto armado ou protendido. Esse método consiste em uma barça que transporta as seções da tubulação que serão implantadas e possui um dispositivo chamado cavalo (*horse*), conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 Método de tramos (horse)



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

O cavalo é operado por um técnico que fica na cabine da barça recebendo instruções de um mergulhador que está acompanhando o procedimento de descida do cavalo

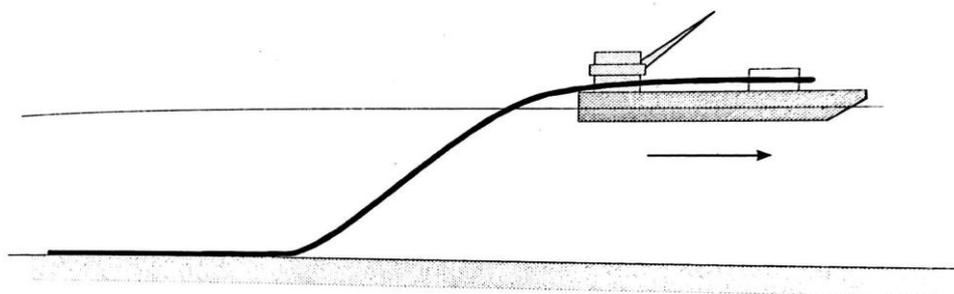
com a seção da tubulação, a fim de manter a estrutura alinhada por conta das oscilações causadas pela movimentação das águas marinhas.

Souza e Gonçalves (1997) descreve que a seção da tubulação transportada pelo cavalo é fixada numa ponte rolante transversal e que por sua vez é fixada numa ponte rolante longitudinal, permitindo com que o mergulhador possa fazer o posicionamento da seção de forma adequada, ou seja, encaixando a ponta da seção nova à bolsa da seção já implantada anteriormente.

O método por montagem na superfície com emprego de barcaça de lançamento é mais utilizado para tubulações plásticas ou em aço, segundo Souza e Gonçalves (1997). Neste caso, as tubulações devem ser de pequenos diâmetros e em regiões com águas rasas.

Esse método consiste na montagem da tubulação a partir das seções dentro da barcaça e depois o seu lançamento através do deslocamento da barcaça ao longo do alinhamento do emissário (Figura 12).

Figura 12 Método Barcaça

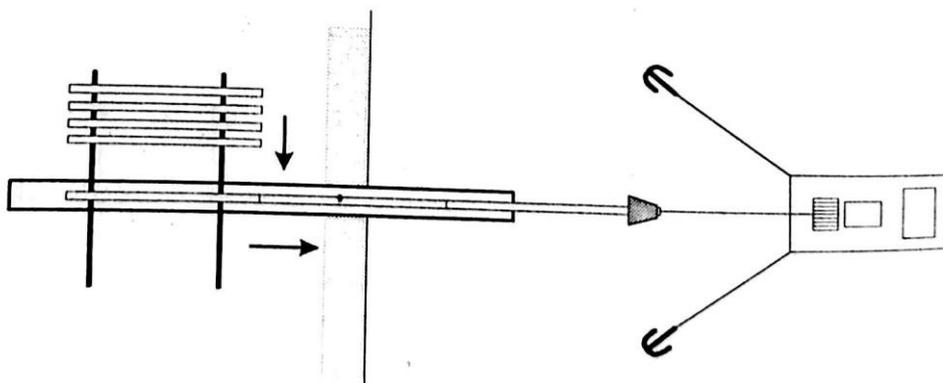


Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

O puxamento da tubulação, pelo solo marinho, a partir do canteiro de obras localizado na costa ou “pulling” é um método que consiste em uma parte na costa e uma parte nas águas. Na costa, fica situado o começo do trilho montado no alinhamento do emissário submarino, nesse local são ligados os tramos da tubulação a serem puxados. No mar, está localizada a barcaça e guinchos para o puxamento da tubulação, sendo que a barcaça deve estar ancorada em terra.

Souza e Gonçalves (1997) comenta que é importante considerar a potência dos equipamentos neste processo para garantir a eficiência do método e manter o alinhamento pré-determinado. Souza e Gonçalves (1997) também ressalta que o trilho onde a tubulação está apoiada deve ser devidamente implantado, visando o alinhamento também (Figura 13).

Figura 13 Método Puxamento



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

O método de puxamento por flutuação pela superfície do mar e imersão controlada é semelhante ao método de puxamento citado anteriormente, porém com a alteração de que a tubulação é flutuante, ou por inserção de ar ou com auxílio de flutuadores, caso necessário, segundo Souza e Gonçalves (1997).

É importante ressaltar que os métodos têm o objetivo de implantar o emissário submarino de forma que melhor atender os materiais empregados, o diâmetro dimensionado e as condições locais de correntes e solo marinho e cada método possui algumas opções para garantir o alinhamento do emissário quanto a sua implantação.

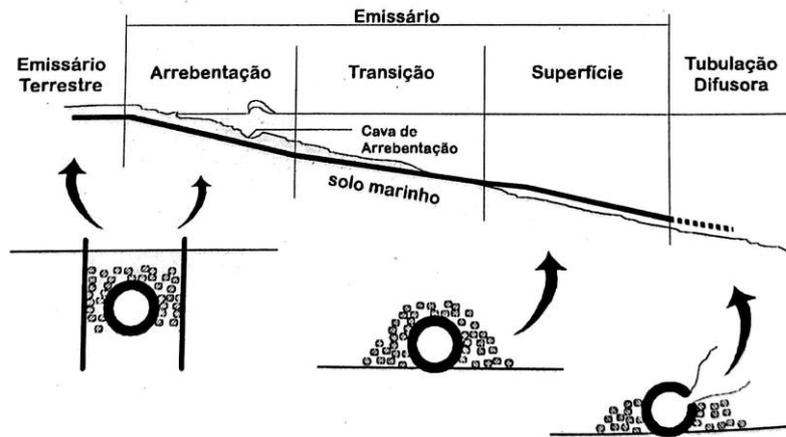
3.2.6 Estabilidade e Proteções

A estabilidade e proteções dos emissários submarinos são importantes aspectos que devem ser considerados para garantir sua vida útil. Tanto o meio externo e o meio interno apresentam formas de deterioração da tubulação e devem ser previstas e juntamente com suas respectivas soluções conforme será comentado a seguir.

Quanto a estes quesitos, é bastante comum ver emissários submarinos enterrados em solo marinho, segundo Souza e Gonçalves (1997), mas existem outras formas de proporcionar estabilidade e proteção às tubulações.

As tubulações podem ser implantadas sobre o solo marinho e ser protegido por um enrocamento devidamente dimensionado. Também existe a possibilidade de fazer uma implantação mista, ou seja, na zona de arrebentação o emissário é enterrado e após esse intervalo, a tubulação fica “exposta” sobre o solo marinho, conforme Figura 14.

Figura 14 Perfil de implantação de um emissário submarino



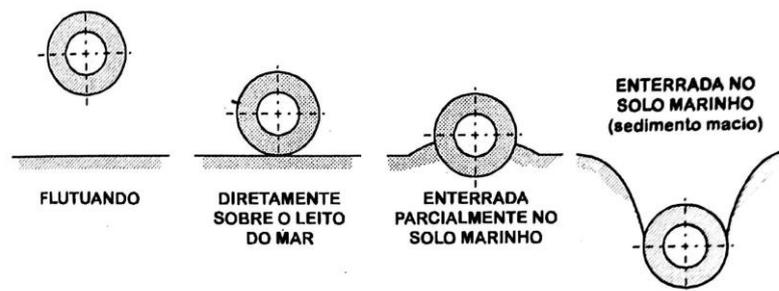
Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

Os pontos críticos para a segurança da estrutura da tubulação se dão através das forças provenientes dos procedimentos de implantação, das condições geológicas do solo marinho e das condições oceanográficas locais, ou seja, das forças geradas pela maré, pelas correntes marinhas, ondas e pelo transporte de sedimentos, segundo Souza e Gonçalves (1997).

Uma vez utilizando o solo marinho a favor da proteção da tubulação, o coeficiente de atrito está relacionado com a capacidade de suporte do solo (Souza e Gonçalves, 1997). Há diferentes casos para o posicionamento do emissário submarino com relação ao solo marinho e ao tipo de material utilizado na construção da tubulação (Figura 15).

Souza e Gonçalves (1997) afirmam ainda que “Existe hoje uma tendência de se construir emissários submarinos, de grandes diâmetros, em túneis [...], a tubulação difusora sendo dotada de tubos verticais (risers) que levam os efluentes até a profundidade de lançamento, acima do solo marinho”.

Figura 15 Interação Tubulação e Solo Marinho



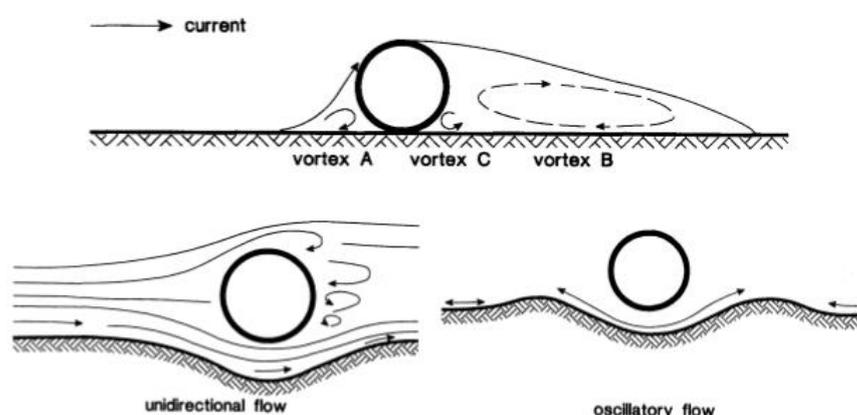
Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

Há tubulações que tendem a flutuar ou a permanecer sobre o solo marinho e há solos marinhos que promovem uma condição parcialmente enterrada às tubulações por conta de sua capacidade de suporte e há solos marinhos que cedem e acabam por enterrar essas tubulações por conta da falta dessa capacidade.

Segundo Souza e Gonçalves (1997), as tubulações sobre o solo marinho sofrem influência de seis variáveis, sendo elas: peso submerso da estrutura, o empuxo, força de içamento, força de arrasto, resistência por atrito e inércia. O peso da estrutura da tubulação e o empuxo podem ser controlados, uma vez que é possível alterar os materiais utilizados, a espessura da tubulação, o acréscimo de peso para garantir estabilidade e o posicionamento da tubulação.

Como comentado por Van Rijn (2013), as correntes marinhas que passam por cima da tubulação, criam uma zona de baixa pressão ao passar pelo tubo e assim causando um transporte de sedimentos, fazendo com que a tubulação fique destacada do solo marinho. (Figura 16).

Figura 16 Zona de Baixa Pressão



Fonte: Local Scour Near Structures, Van Rijn, Leo C. (2013)

Complementando essa afirmação, Souza e Gonçalves (1997) diz que a força de arrasto atuante em uma tubulação é a combinação entre os efeitos das correntes marinhas e a força gerada pela onda ocorrente, agindo perpendicularmente ao eixo da tubulação.

A resistência por atrito, como comentando anteriormente, é a capacidade de suporte do solo marinho, que combinada com o peso próprio da tubulação, age contrariamente à força de arrasto.

E por fim, segundo Souza e Gonçalves (1997), as forças de inércia são causadas pelos movimentos oscilatórios das águas, ou seja, através da ação das ondas. Conforme a profundidade aumenta, menor é o efeito gerado pela ação das ondas, por conta do

movimento elíptico ressonante que órbitas das ondas causam dentro das águas ao se propagarem. Há um caso em que as forças de inércia são mais fortes que as forças de arrasto que seria na ocorrência de ressacas ou grandes amplitudes de maré.

4 PATOLOGIAS EM EMISSÁRIOS SUBMARINOS EM AÇO COM REVESTIMENTO EM CONCRETO

4.1 A IMPORTÂNCIA DAS VISTORIAS TÉCNICAS

Foi comentando no item 3.1.2 sobre os programas de monitoramento ambiental que são necessários e importantes para a manutenção das condições ambientais da região onde está localizado o emissário submarino e também se faz necessário programas de monitoramento estrutural da tubulação oceânica, como comentado no caso de Vila Nova de Gaia no item 3.2.1. Lapa (2008) logo conclui que: “[...], é de grande importância a realização de inspeções periódicas através de profissional habilitado, para que os sintomas de enfermidades possam ser detectados precocemente.”.

Lapa (2008) também comenta que não um padrão de vistorias para todos os casos de estruturas, então Lapa (2008) sugere alguns pontos importantes para serem levantados e levados em conta de forma geral em vistorias técnicas:

- Determinação da patologia através da observação de seus sintomas;
- Avaliação da gravidade da patologia com relação a integridade física da estrutura;
- Definição da extensão do quadro patológico, portanto, a extensão da vistoria;
- Definição da ordem da vistoria, ou seja, a ordem de verificação dos elementos estruturais;
- Levantamento e registro dos dados utilizando os cinco sentidos: características da anomalia, posição em relação a estrutura, extensão, forma de evolução;
- Levantamento e registro de dados utilizando testes e instrumentos no local;
- Registro meticoloso dos dados colhidos através de descrição, croquis, fotografias e filmagens.

Muitos dos pontos levantados por Lapa (2008) são importantes e devem ser aderidos a qualquer tipo de vistoria para se obter relatórios de qualidade. No caso dos emissários submarinos são utilizadas equipes de mergulhadores que fazem a parte de observação, verificação e registro das ocorrências no local para que possam ser analisadas

mais profundamente por outros profissionais afim de se determinar o grau de gravidade da situação e as medidas corretivas necessárias.

Por exemplo no emissário submarino de Vila Nova de Gaia, segundo Bastos (2016) as vistorias são feitas através de inspeções visuais periódicas, que são realizadas por um mergulhador, e que englobam a inspeção de todos os elementos constituintes do emissário, nomeadamente tubulações, ancoragens, pesos de estabilização, ânodos de proteção catódica, bóias de sinalização e respectivas amarras e remoção de elementos estranhos ao emissário. Dessas inspeções saem relatórios de inspeção, com filmagens dos tramos inspecionados, e recomendações de necessidade de correção imediata de anomalias verificadas tendo por objetivo o correto funcionamento da infraestrutura.

4.2 CAUSAS E MODOS DE FALHA

De modo geral, a maior parte dos acidentes relacionados aos emissários submarinos têm causas conhecidas, porém de difícil previsão, ou seja, há bastante *expertise* com relação à utilização de emissários submarinos, mas cada caso é um caso diferente com condições geofísicas e hidrostáticas diferentes que devem ser analisados e julgados na etapa de projeto.

4.2.1 Solo Marinho

Com relação ao solo marinho, podem ocorrer aberturas de fissuras e quebras de juntas com a movimentação da tubulação por conta da erosão causada pelo transporte de sedimentos do solo, entupimento das tubulações difusoras por conta da disposição de sedimentos, exposição e elevação de tubulação enterrada por conta do fenômeno de liquefação do solo, ou seja, o processo de transição entre estado sólido e estado líquido do solo por conta de sua saturação, remoção do lastro por ação das ondas e abatimento do solo marinho devido a insuficiente capacidade de suporte, segundo Gonçalves e Souza (1997).

4.2.2 Movimentação das águas

Por conta das forças provenientes da movimentação das águas, como citado no item 3.2.6, pode ocorrer a remoção dos lastros e ancoragens da tubulação, também podendo ocorrer a remoção do recobrimento da tubulação, como por exemplo, a camada de concreto armado sob a tubulação de aço, chegando até em casos extremos na ruptura da tubulação.

4.2.3 Tráfego Marítimo

O tráfego marítimo pode causar danos à tubulação difusora dos emissários submarinos no caso de manobras com redes de pesca e também podem causar danos a integridade estrutural do emissário com o lançamento de ancoras.

4.2.4 Proteções e materiais empregados

Os materiais metálicos necessitam de um sistema de proteção catódica, que será comentada no item 4.3.1.3, como paredes das tubulações, pilares de sustentação, tubulações difusoras ascendentes, juntas e parafusos. A falta desse tipo de proteção pode causar uma corrosão nesses elementos e futuras fraturas.

Gonçalves e Souza (1997) acrescentam que pode ocorrer a abrasão das paredes das tubulações por conta de sedimentos suspensos em água, perfurações nas tubulações por materiais usados, como lastro, e quebras por curvatura excessiva, resultado da movimentação do solo marinho.

4.2.5 Transporte de efluentes

Com relação aos transportes de efluentes, as principais causas de acidentes derivam de objetos estranhos que possam chegar na tubulação e baixas velocidades, que geralmente ocorrem no início da sua implantação em vazões de início de projeto, causando entupimento da tubulação difusora e a retenção de gases na tubulação principal, podendo gerar problemas de recalque, segundo Gonçalves e Souza (1997).

4.2.6 Implantação da tubulação

Durante a implantação, podem ocorrer rupturas nas tubulações por conta de colisões entre os elementos a serem implantados, como pilares de sustentação e seções de tubos. Isso pode acontecer devido a erros de mergulhadores, durante o processo de lançamento e podem ocorrer entupimentos nos difusores por conta de um posicionamento errôneo do lastro sob a tubulação (Gonçalves e Souza, 1997).

4.2.7 Meio Ambiente

Dependendo da localização do emissário submarino, podem ocorrer colisões entre os elementos da tubulação, por conta de movimentação de blocos e troncos submersos. A tubulação difusora pode sofrer uma inclinação excessiva devido a deslizamentos do solo

marinho e eventualmente podem acontecer ataques às paredes externas e internas das tubulações devido aos organismos marinhos da região.

4.2.8 Ações humanas

As ações humanas podem causar diversos danos ao revestimento e a integridade estrutural dos tubos. Gonçalves e Souza (1997) apontam que as principais causas de patologias em emissários submarinos por ação humana são explosões submarinas, usadas para pescas, ou por causa de vandalismo, podendo causar danos nas camadas de revestimento dos tubos ou proteções, como por exemplo, o sistema de proteção catódica.

A Tabela 5 Causas e Modos de Falhas expõe os principais pontos comentados anteriormente, com relação as patologias em emissários submarinos de modo geral, relacionados por Gonçalves e Souza (1997) *apud* Grace (1985).

Tabela 5 Causas e Modos de Falhas

Causas		Modo de Falha
1. Dinâmica Solo	Erosão p/ Sedimentos	Abertura Junta
	Deposição Sedimentos	Entupimento
	Liquefação Sedimentos	Deslocamento Tubo
	Quebra Ondas	Remoção Lastro
	Cap. Suporte Insuficiente	Abatimento Solo
2. Movimentos Marinhos	Ação Correntes	Remoção de Lastro / Ancoragem
	Ação Ondas	Ruptura Tubulação / Revestimento
	Formação Vortex	Ruptura Tubulação
3. Tráfego Marinho	Içamento Ancoras	Ruptura Tubulação
	Arrasto Redes	Ruptura de Risers
	Ruptura Cabos	Ruptura Tubulação
4. Materiais	Falta Proteção Catódica	Corrosão / Ruptura / Diversas
	Ação Quím. / Termal Interna	Corrosão / Perfuração Tubulação
	Abrasão por Solo Marinho	Desgaste Parede Tubulação
	Perfuração Mat. Lastro	Ruptura Tubulação
	Movimento Solo	Quebra Tubulação por Curvatura
5. Transporte de Efluentes	Objetos Estranhos	Entupimento Difusores
	Retenção de Gás	Problemas de Recalque
	Baixa Velocidade	Entupimento Difusores
6. Obras Construção	Resíduos Construção	Ruptura Tubulação por Colisão

	Erro Mergulhador	Vazamento / Entup. Difusores / Lastro
7. Ambiente	Movimento Blocos Submersos	Ruptura Tubulação por Colisão
	Movimento Troncos Submersos	Ruptura Tubulação por Colisão
	Escorregamento do Solo	Desalinhamento Tubulação Difusora
	Vida Marinha	Ataque ao Revestimento Int./Ext.
8. Ação Humana	Explosão Submarina	Ruptura Tubulação
	Vandalismo	Remoção Proteção Catódica

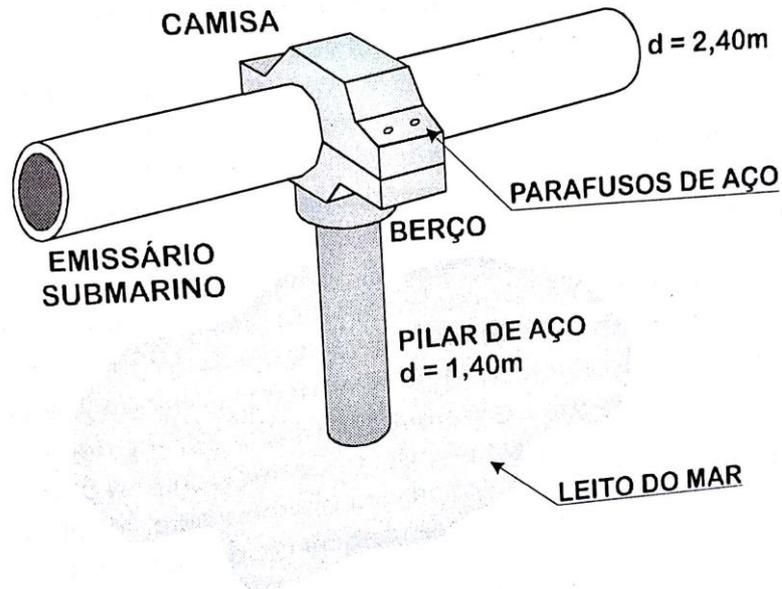
Fonte: Adaptado de Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

4.3 RISCOS DE ACIDENTES E MEDIDAS CORRETIVAS

Gonçalves e Souza (1997) fizeram um estudo de caso com relação ao primeiro acidente que ocorreu no sistema de disposição oceânica de Ipanema, Rio de Janeiro. Esse emissário submarino foi executado em concreto protendido com diâmetro de 2,40 m, previsto para uma vazão média de 8,0 m³/s e para uma vazão máxima de 12,0 m³/s, estendendo-se por 4.325,38 m, até uma profundidade de 27,0 m.

Cada seção da tubulação teve em cada extremidade duas juntas de neoprene com o objetivo de vedação, mas principalmente causar o acompanhamento da tubulação em caso de eventual movimentação entre as seções. Cada extremidade conta com mangas em concreto armado, fixadas com utilização de parafusos com revestimento Corten, que será comentado no item **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, sendo apoiadas em um berço também em concreto e por sua vez apoiado em um pilar em aço inoxidável de 1,40 m de diâmetro, conforme Figura 17.

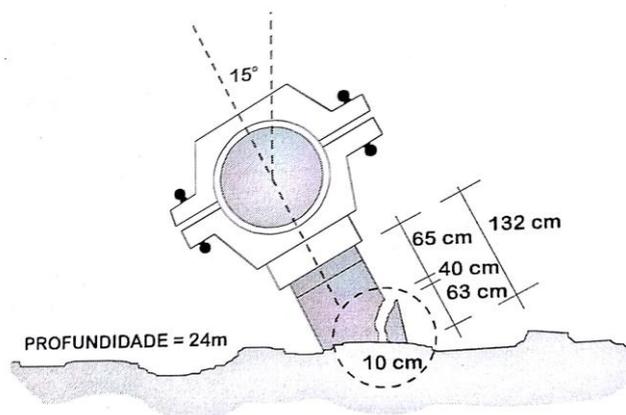
Figura 17 Sustentação do emissário submarino de Ipanema/RJ



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

No estudo desenvolvido por Gonçalves e Souza (1997) foi apontado que numa inspeção de rotina do emissário submarino de Ipanema, o mergulhador detectou que havia uma falha em um pilar de sustentação do emissário. Um segundo observador pode concluir que a estrutura base da tubulação estava inclinada em 15° devido à fratura e colapso parcial do pilar, conforme Figura 18.

Figura 18 Colapso parcial do pilar

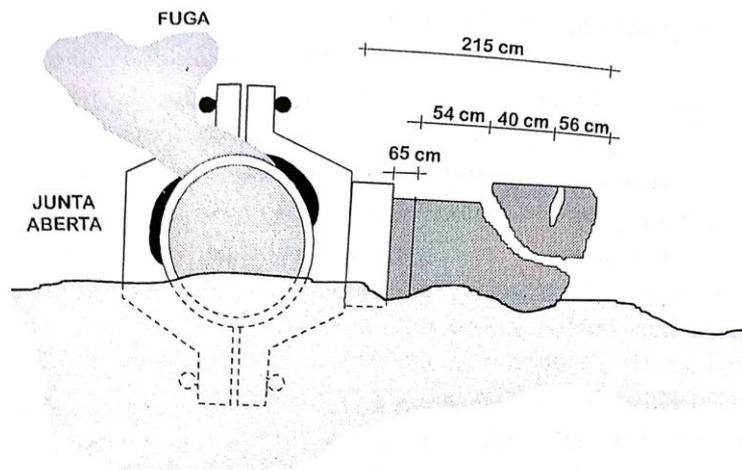


Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

Para efetuar o conserto dessa patologia, foi sugerido que fosse construído um novo suporte para o pilar, a fim de evitar uma maior inclinação da tubulação. Porém como os dias seguintes foram de condições meteorológicas adversas e apenas quatro dias após a primeira detecção dessa patologia pode-se fazer uma nova inspeção e foi detectado que nesse

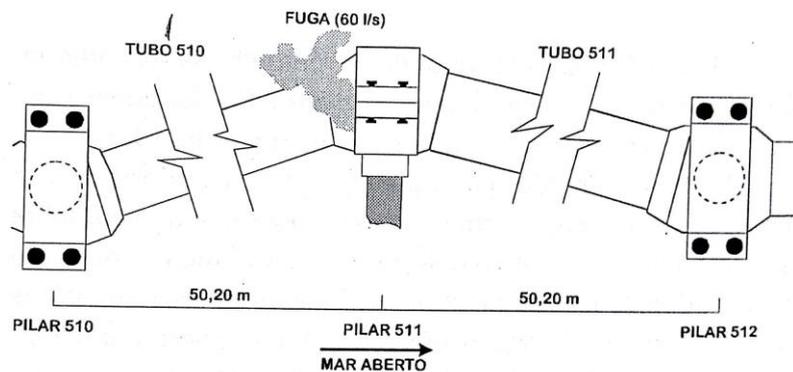
momento, havia uma fuga parcial do efluente e o pilar havia sofrido um colapso total e as mangas e a tubulação estavam diretamente dispostas sob o solo marinho. (Figura 19 e Figura 20)

Figura 19 Colapso total do pilar



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

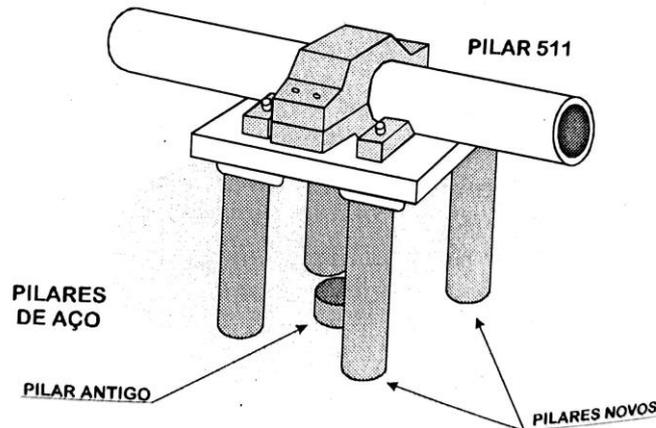
Figura 20 Posicionamento do pilar em planta



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

As medidas corretivas adotadas para este caso foi a remoção do pilar existente e a implantação de quatro novos pilares de aço, com uma viga apoiada sobre esses pilares com o objetivo de apoiar o berço e a estrutura existente da tubulação, conforme a Figura. E foi sugerida também a adoção de um sistema de proteção catódica, pois o emissário não possuía esse tipo de proteção contra corrosão, esse tipo de proteção será comentado no item 4.3.1.3.

Figura 21 Recuperação da sustentação do emissário submarino



Fonte: Livro Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática

Gonçalves e Souza (1997) apontam que a COPPETEC, a área de desenvolvimento tecnológico da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) fez uma análise das causas das falhas e dos acidentes ocorridos neste emissário submarino de Ipanema.

Após executar novas inspeções e outros métodos de pesquisa sobre os emissários submarinos, a COPPETEC pode chegar a algumas conclusões interessantes:

- O projeto estrutural do emissário submarino foi projetado para uma condição estrutural estática, ou seja, não levando em consideração qualquer forma de ressonância que pudesse ser causada pela ação das ondas;
- O solo marinho, em alguns trechos não possuía condições suficientes de capacidade de suporte. No caso, haviam trechos em que o solo marinho em camadas superficiais era composto por lodo orgânico e em seguida por argila mole e muito mole. A construtora tomou a decisão de implantar pilares mais robustos nessas áreas, com maiores diâmetros e profundidades, com o objetivo de obter maior aderência a esse solo.
- Os efeitos dinâmicos causados pela ação das ondas e a concentração de tensões devido a existência de placas de reforço nos pilares foram fatores determinantes no acidente estudado.

Na apresentação do relatório final, a COPPETEC também comentou:

- Através dos estudos geotécnicos da região de implantação do emissário submarino de Ipanema, pode-se chegar a conclusão de que a utilização

de pilares de aço para sustentação da tubulação era necessária, por conta das más condições de suporte do solo;

- O reforço (alargamento) dos pilares utilizados em áreas com presença de argila mole e muito mole pareciam ter sido adotadas como ações emergenciais diante da situação do solo, portanto, representando uma ação arriscada de efeitos duvidosos;
- A filosofia de apoiar a junção dos tubos em um único pilar seria a melhor opção e mais simples em questão de execução de fundações, se não fossem as péssimas condições do solo marinho em determinadas regiões;
- A falha fundamental do projeto estrutural foi na adoção da condição de deslocamento lateral nulo, em relação as estruturas de suporte localizadas sobre os pilares;
- O fenômeno de fadiga ocasionando na eventual fratura da estrutura, sob ação dinâmica das ondas, foi uma das principais causas do colapso total do pilar em questão.

4.3.1 Materiais metálicos sob possível risco de corrosão por águas marinhas

A água do mar é caracterizada por uma elevada quantidade de sais dissolvidos e a presença desses sais faz com que a água do mar possua uma baixa resistividade elétrica, ou seja, esta água favorece os processos de corrosão em aços, segundo Bertolini (2013). A corrosão dos aços também depende do fator oxigênio, que nas camadas mais superficiais deriva da atmosfera e nas camadas mais profundas deriva de processos biológicos.

Bertolini (2013) separa o perfil do mar em quatro zonas para estruturas marítimas:

- Zona Atmosférica: é a parte emersa da estrutura, que não é borrifada pelas ondas, aço sujeita a corrosão atmosférica;
- Zona dos Borrifos e das Marés: zona que se estende do nível da maré mais baixa até a zona atmosférica, estruturas que estão sujeitas a uma elevada corrosão pela elevada quantidade de oxigênio e ação mecânica dos borrifos e marés;

- Zona Imersa: zona onde as estruturas possuem contato direto e contínuo com a água do mar, a velocidade média de corrosão do aço nessa condição está descrita na Tabela 6;

Tabela 6 Velocidade de corrosão média (mm/ano)

Tempo de Exposição (meses)	Aço-carbono	Cobre	Alumínio
1,00	0,33	-	-
2,00	0,25	-	-
3,00	0,19	-	-
5,00	0,15	-	-
12,00	0,13	0,03	0,00
24,00	0,11	0,02	0,00
48,00	0,11	0,02	0,00

Fonte: Adaptado do Livro Materiais de Construção: Patologia, Reabilitação e Prevenção (2013)

- Zona de lodo: faz parte do fundo do mar, onde há pequenas quantidades de oxigênio e a velocidade de corrosão é relativamente baixa, salvo situações onde há presença de bactérias sulfato-redutoras.

4.3.1.1 Aços patináveis

Os aços patináveis, também conhecidos por Corten, são aços de baixa liga, com resistência mecânica por volta de 500 Mpa e alta resistência a corrosão atmosférica. Esse tipo de aço é muito utilizado por sua boa tenacidade, soldabilidade e alta resistência mecânica e essas características são obtidas pela adição de elementos de liga, como cobre, cromo, silício, níquel, manganês, fósforo, entre outros, que desenvolvem uma pátina, uma camada de óxido altamente protetora, segundo Dutra (2013).

Quanto à utilização desse tipo de aço em obras marinhas, se faz necessária a execução de um revestimento para proteção contra a corrosão, podendo ser algum tratamento químico ou pintura anticorrosiva, pois esse tipo de revestimento no aço não tem a mesma eficácia quando submerso, segundo Ferraz (2003). Dutra (2013) ainda completa que em ambientes marinhos deve-se utilizar uma porcentagem de 0,1 a 0,2% de cobre na liga para aumentar a resistência à corrosão.

4.3.1.2 Aços Inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são formados por ligas de ferro, mas como diferencial de possuírem teores de Cr (cromo) maiores do que 12%. Da mesma forma que os aços patináveis, o

aço inoxidável também produz uma capa protetora formada através de uma reação entre o cromo e o oxigênio da atmosfera e toda vez que seja feito um risco ou haja um rompimento nesta capa protetora, ela pode-se auto recompor desde que haja contado com oxigênio, segundo Ferraz (2003).

As características de um aço inoxidável, com relação a sua resistência a tração ou a sua resistência a corrosão, podem ser alteradas dependendo de sua composição química e dos tratamentos a qual foi submetido, segundo Bertolini (2013). Também é importante lembrar que nenhum material é totalmente inoxidável, cabendo ao projetista identificar quais são as propriedades necessárias para o aço em cada caso, segundo Ferraz (2003).

Os aços inoxidáveis são divididos em três categorias de acordo com sua composição química, segundo Ferraz (2003):

- Austenísticos: contém 18% de cromo, 8~10% de nitrogênio e baixo teor de carbono. Possui uma excelente resistência a corrosão, alta resistência mecânica, soldabilidade e durabilidade;
- Ferríticos: contém 12~17% de cromo e baixo teor de carbono. Mostrando uma boa resistência a corrosão a meios menos agressivos, boa ductibilidade e soldabilidade;
- Martensíticos: possuem cerca de 13% de cromo e um elevado teor de carbono. São submetidos a têmpera e revenimento, possuindo resistências elevadas chegando a ser superiores a 1.000 Mpa, uma tenacidade baixa e resistência a corrosão moderada.

Os aços inoxidáveis estão sujeitos a corrosão por cloretos, que no item 4.3.2.5 está descrito seu funcionamento. Mesmo sujeitos a esse tipo de corrosão, dependendo da quantidade de cromo, molibdênio e nitrogênio em sua composição e do teor de cloretos no ambiente em que está sendo submetido ao aço, o aço pode desenvolver certa resistência à corrosão, segundo Bertolini (2013).

4.3.1.3 Proteção Catódica

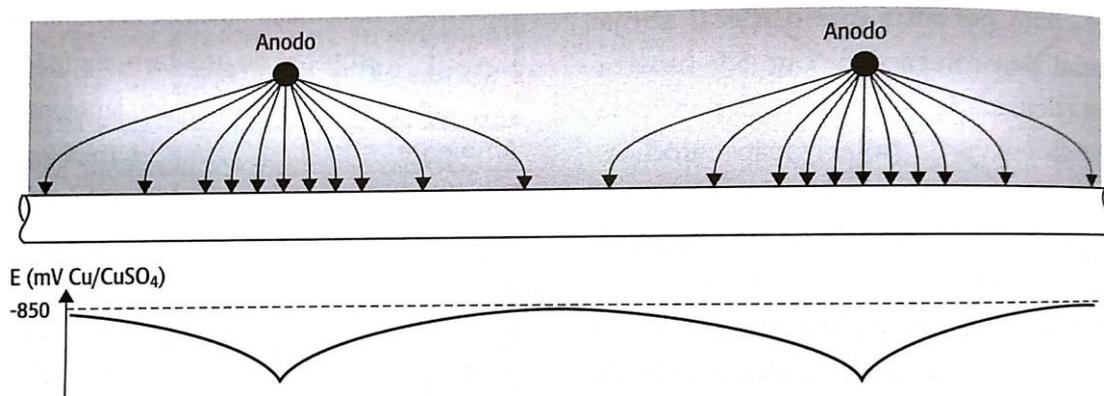
Os emissários submarinos estão localizados em sua grande parte na zona imersa, onde geralmente é utilizada a proteção catódica como meio de proteger as estruturas em aço contra a corrosão.

Esse tipo de solução pode ser tanto utilizada para estruturas imersas quanto para estruturas emersas e trata-se de um sistema que liga a superfície da estrutura a ser protegida a um eletrodo (anodo), empregando uma corrente contínua entre esses dois

elementos, fazendo com que o aço sofra uma polarização catódica, reduzindo a velocidade de corrosão chegando até em condições de quase-imunidade, correspondente a um potencial de proteção igual a -850mV com relação ao eletrodo de referência Cu/CuSO_4 , segundo Bertolini (2013).

Os anodos são posicionados no meio e conforme há um distanciamento do anodo ao longo da tubulação, há uma perda desse potencial de proteção, segundo Figura 22, portanto é importante dimensionar os anodos produzam uma corrente superior nas zonas mais próximas da tubulação, mas não tão elevada para não ocorrer o fenômeno de superproteção e causar danos aos revestimentos do tubo, para garantir a eficiência do sistema de proteção catódico, segundo Bertolini (2013).

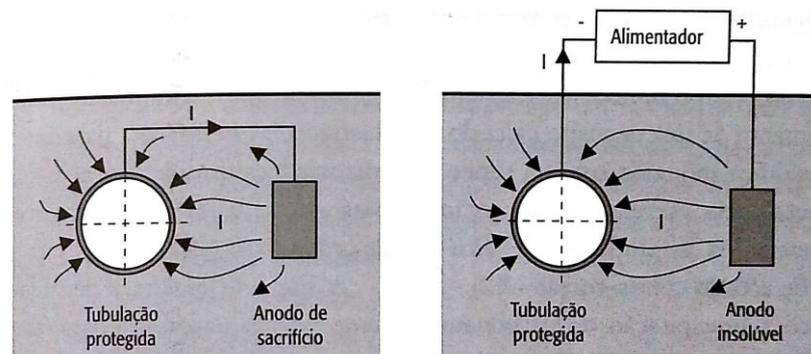
Figura 22 Distribuição da corrente e do potencial ao longo da tubulação



Fonte: Livro Materiais de Construção: Patologia, Reabilitação e Prevenção (2013)

Há dois tipos de operação para um sistema de proteção catódica, por meio de anodos de sacrifício ou por meio da utilização de um sistema de correntes induzidas ou impressas, como representado na Figura 23.

Figura 23 Representação dos sistemas de proteção catódica



Fonte: Adaptado do Livro Materiais de Construção: Patologia, Reabilitação e Prevenção (2013)

No caso da proteção catódica por anodos de sacrifício são utilizados metais menos nobres que o ferro, podendo ser constituídos de ligas de alumínio, zinco ou magnésio, e geralmente essa solução é utilizada em ambientes com alta condutibilidade, como a água do mar, ou quando são necessárias pequenas correntes em ambientes de baixa condutibilidade, como em tubulações enterradas, segundo Bertolini (2013).

O sistema de proteção catódica com correntes induzidas utiliza anodos insolúveis, ou seja, materiais que não sofrem a dissolução do aço quando ocorre uma reação anódica, geralmente esse sistema é utilizado em ambiente com alta resistividade, como os solos e o concreto, e quando devem proteger estruturas muito extensas, como metanodutos, segundo Bertolini (2013).

No caso do emissário submarino de Maceió, Alagoas, caracterizado por ser uma tubulação executada em aço com revestimento em concreto armado com cerca de 2.830 m de extensão, foi utilizado um sistema de proteção catódica com correntes induzidas, segundo relatório técnico (2012).

Esse sistema tem o objetivo de oferecer proteção contra a corrosão da superfície externa da tubulação com uma vida útil de 25 anos, levando em consideração um dos seguintes critérios para atender essa necessidade:

- A tubulação estará protegida se os potenciais medidos forem iguais a -0,80 V ou mais negativos na parte submarina, com relação a uma meia-célula de Ag/AgCl, e cerca de -0,85 V ou mais negativos na parte terrestre, com relação a uma meia-célula de Cu/CuSO₄;
- A tubulação estará protegida se houver uma variação de 0,25 V ou mais nos potenciais entre tubo e eletrólito, em relação aos potenciais naturais, após o retificador.

O sistema contava com um retificador (transformador, ponte retificadora, contatos, etc) do tipo imerso em óleo que fica localizado em um abrigo de alvenaria em terra, sendo que dessa forma o retificador ficaria protegido contra a agressividade do meio. Além do retificador, há quarenta e dois leitos de anodos que estão instalados submersos e perpendiculares ao emissário submarino, contendo anodos de Fe-Si-Cr, que foram instalados em dois ramos, um cada lado do emissário, sendo que esses anodos devem estar sempre envoltos pela água. E três pontos de teste, que foram instalados um próximo da caixa de areia, um próximo a praia e o último na extremidade do emissário.

De acordo com relatório técnico (2012), é importante ressaltar também que foram executados revestimentos tanto internos quanto externos a tubulação de aço com os seguintes produtos, Coal tar Epoxi (400 micra) e Coal tar Enamel (6mm), respectivamente.

Ambos produtos são semelhantes e se tratam de uma tinta baseada em resinas epóxi e de poliamida e alcatrão da hulha, com alto teor de sólidos, segundo ficha técnica do produto, essas propriedades fazem com que forme uma camada protetora anticorrosiva em superfícies metálicas, adequada para utilização no interior de tubulações submarinas, que estejam suscetíveis a soluções alcalinas e salinas, e também é adequado para utilização concomitante com sistema de proteção catódica por meio de circuito impresso.

4.3.2 Concreto armado sob possível risco de degradação e corrosão das armaduras por águas marinhas

A ação do meio ambiente aquático sobre o concreto armado pode causar um dano progressivo na estrutura, tanto no concreto em si como nas armaduras. Segundo Bertolini (2013), esse dano pode ser do tipo físico, como altas temperaturas, do tipo químico, como substâncias no meio marinho, do tipo biológico, como organismos perfurantes e do tipo mecânico, como abrasão ou cargas aplicadas a estrutura.

4.3.2.1 Degradação Precoce

O concreto pode desenvolver fissuras logo nos primeiros momentos por conta de erros nas considerações de projeto e/ou na sua execução no canteiro de obras. Segundo Bertolini (2013), geralmente os efeitos que podem causar essas fissuras são:

- Retração restringida, o concreto sempre passa pelo processo de retração no seu processo de cura, porém quando há elementos externos ou até mesmo as próprias armaduras, mal dimensionadas, podem causar esse efeito;
- Acomodação plástica, ocorre quando há a acomodação do concreto depois do adensamento, em geral nos pontos de contato com as armaduras;
- Calor da hidratação, em grandes lançamentos pode ocorrer um aquecimento superior no seu interior com relação a superfície do concreto;

- Congelamento precoce, o congelamento da estrutura logo após seu lançamento pode gerar fissuras e até sua completa degradação.

É muito importante salientar estas primeiras patologias que podem logo ocorrer nos elementos de concreto porque já podem ser o princípio de uma futura patologia mais grave, especialmente por se tratar de fissuras em um concreto submerso em águas marinhas.

4.3.2.2 Água do mar

A água do mar exerce diversos aspectos negativos sobre uma estrutura marítima em concreto armado, podendo afetar diretamente o concreto e as armaduras. Por conta da ação das correntes, das ondas e marés podem ocorrer efeitos de erosão superficial do concreto levando a perda de peso da estrutura, e também a exposição das armaduras que será comentado no item 4.3.2.5. Além das patologias causadas por ataques químicos, como sulfatos e cloretos que serão comentados nos itens 4.3.2.3 e 4.3.2.4, respectivamente.

Bertolini (2013) afirma que os principais motivos pelos quais ocorre o desgaste do concreto se dão por conta da presença de hidróxidos de cálcio e dos aluminados de cálcio hidratados e por consequência, os melhores cimentos a serem empregados em obras marítimas são os cimentos de escória de alto-forno e os pozolânicos, por conta da menor quantidade de hidróxido de cálcio presente nesses cimentos.

4.3.2.3 Ataque por sulfatos

Como no caso do emissário submarino de Vila Nova de Gaia, a tubulação é revestida por concreto tanto no exterior quanto no interior, pode ocorrer o fenômeno de ataque dos sulfatos.

Esse tipo de patologia acontece quando há contato direto de águas residuais com o concreto e quando se criam condições anaeróbicas no efluente, fazendo com que apareçam bactérias sulfato-redutoras, que reduzem os sulfatos presentes na solução a sulfeto de hidrogênio (H_2S). Uma vez que o sulfeto de hidrogênio está em forma gasosa e atinge as zonas aeradas, pode oxidar-se e se transformar em ácido sulfúrico, devido as bactérias presentes na superfície do concreto e então levando a formação de gesso e a perda do cobrimento do concreto, segundo Bertolini (2013).

O grau de gravidade do ataque por sulfatos pode variar de acordo com o teor de sulfatos nos efluentes e das características do concreto. Bertolini (2013) cita um estudo feito com dois corpos de prova imersos em uma solução com Na_2SO_4 , sendo um corpo de prova

feito com cimento Portland e outro corpo de prova feito com cimento misturado com 30% de cinzas volantes.

Bertolini (2013) ainda conclui que para reduzir os efeitos causados pela presença dos sulfatos é necessária a utilização de concretos com baixa permeabilidade, ou seja, um concreto com menor relação água e cimento ou a utilização de cimentos pozolânicos, que por sua vez os aditivos pozolânicos consomem o hidróxido de cálcio produzido pela hidratação do *clinker*, o que leva a formação de uma proteção na pasta do cimento, que pode reduzir os efeitos causados pelo ataque de sulfatos.

4.3.2.4 Ataque por sais a base de cloretos

A presença de sais a base de cloretos é muito perigosa do ponto de vista do concreto armado e pode ocorrer com obras submarinas. Segundo Bertolini (2013), o cloreto de sódio pode induzir uma reação álcali-agregado, ou seja, uma reação entre os agregados reativos do concreto (sílica amorfa e natureza dolomítica) e os íons Na^+ , K^+ e OH^- , causando um aumento do teor de sódio, por fim causando uma desagregação da pasta de cimento.

A reação álcali-agregado é extremamente danosa e deve ser prevenida ao máximo, pois uma vez que esta é iniciada, não há métodos confiáveis para interrompê-la. As principais formas de prevenção desta patologia se concentram na escolha adequada de materiais, que não envolvam agregados conhecidamente reativos e se não for possível a substituição de agregados conhecidamente reativos, deve-se adotar o emprego de cimentos pozolânicos ou de alto forno, adição de aditivos pozolânicos ou de escória de alto forno ou sílica ativa, segundo Bertolini (2013).

4.3.2.5 Corrosão de armaduras devido a água do mar

A corrosão das armaduras do concreto armado ocorre por conta dos cloretos que penetram pelas fissuras e pela degradação no revestimento do concreto, conforme comentado no item 4.3.2.4. Esse tipo de corrosão é muito perigoso pelo fato de ser extremamente localizada, fazendo com as consequências geradas possam ser graves, desde a perda do brilho de aços inoxidáveis até a perfuração do elemento em questão, segundo Bertolini (2013).

Bertolini (2013) diz que o período de ativação da corrosão vai depender principalmente da velocidade de penetração dos cloretos, do teor crítico da armadura e do revestimento do concreto. A ativação desse tipo de corrosão se dá quando a penetração dos

cloretos atingindo o teor crítico na superfície do concreto e então chegando a profundidade igual a espessura do revestimento.

A propagação desse tipo de corrosão ocorre quando a zona onde a corrosão está em ação começa a sofrer processos anódicos enquanto que nas zonas não afetadas, predomina os processos catódicos, e a interação entre essas duas zonas faz com que a corrosão tome a direção para as zonas não afetadas, segundo Bertolini (2013). Portanto, na medida que o teor de cloretos aumenta, a dificuldade em interromper esse ataque também aumenta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas patologias que ocorrem em emissários submarinos no geral, mas um pouco mais aprofundadamente em emissários em aço revestido por concreto. Com a apresentação de alguns casos como exemplo, como o estudo de caso do emissário submarino de Ipanema/RJ realizado por Gonçalves e Souza (1997) e a adição de algumas informações técnicas sobre a concepção dos emissários submarinos de Maceió/AL e de Vila Nova de Gaia/Portugal.

Há muitos estudos relacionados as patologias do aço e do concreto armado em meios subaquáticos marinhos, mesmo porque há uma preocupação muito grande com relação a agressividade desse meio sobre as estruturas, pois há casos em que ocorrem situações não previstas nos projetos e que devem ser estudados e documentados para que haja uma evolução na execução desse tipo de obras marinhas.

O objetivo principal deste trabalho foi cumprido, uma vez que foram apresentados casos e situações em que podem ocorrer certas patologias ligadas aos emissários submarinos, formando de certa forma um manual para previsões de certas ocasiões ou considerações de projeto a serem feitas, para que seja possível evitar a maior quantidade de possível de patologias nessas tubulações.

E além do que apenas as tubulações dos emissários submarinos, essas patologias podem ocorrer em qualquer tubulação que seja submarina, como metanodutos, oleodutos, entre outros. Salvo que cada caso há proteções específicas para as tubulações que devem ser adotadas, no caso de emissários submarinos, os efluentes domésticos e seu alto teor de acidez.

É importante levantar alguns questionamentos quanto as análises patológicas nesse tipo de tubulação, pois existem várias estruturas dessas espalhadas pelo mundo, mas há relativamente poucos trabalhos que focam em discutir especificamente suas patologias e estudá-las a fundo com o objetivo de prever novas situações. A vida útil de um emissário submarino é grande, porém uma vez que ocorrem diversas patologias, sua vida útil vai diminuindo gradativamente, podendo chegar até o ponto do encerramento das atividades, para a construção de um novo emissário.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A princípio este trabalho deve servir de *start* e possa contribuir para novos trabalhos que visam objetivos semelhantes e novas análises teóricas e/ou práticas sobre o assunto. E que possam englobar o que falta neste trabalho, que são os estudos de caso, estudos práticos e de campo sobre patologias que ocorrem em outros emissários submarinos e métodos de manutenção.

Os emissários submarinos estão sempre em processos de inspeção e de manutenção, seja essas manutenções com baixo ou elevado grau de gravidade. Então o mais indicado a se fazer seriam estudos detalhados sobre as ocorrências, de modo a se criar novas teorias sobre as causas e prováveis futuros impactos nas estruturas das tubulações submarinas, assim promovendo novas discussões sobre o assunto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUDO, Edmundo Garcia; AMARAL, Renato; BERZIN, Gilberto. Avaliação da Eficiência da Estação Pré-Condicionadora do sistema de disposição oceânica dos esgotos de Santos/São Vicente. **Revista Dae**, São Paulo, v. 46, n. 146, p.284-289, Jul./Set. 1986. Trimestral. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_146_n_186.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

ALEM SOBRINHO, Pedro. Processos de Tratamento de Esgoto no Litoral Paulista - Precondicionamento para a Disposição Oceanica. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 59-72.

ALFREDINI, Paolo. Avaliação de Processos Costeiros e Estuarinos: a Experiência da Área de Hidráulica Marítima do Laboratório de Hidráulica. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 103-118.

ALMEIDA, Sérgio A. S.. Roteiro para Estudos Oceanográficos necessários ao projeto de emissários submarinos. **Revista Dae**, São Paulo, v. 145, p.156-162, abr./jun. 1986. Trimestral.

ARASAKI, Emilia; ORTIZ, Jayme Pinto. Critérios de Decisão Aplicados aos Emissários Submarinos no Litoral Paulista. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 187-204.

AVANZINI, Carlo. Uma Abordagem Européia para o Monitoramento de Emissário: o Projeto "Life Aquarius". In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 171-186.

AVANZINI, Carlo. "As Built Report": Técnicas Construtivas, Supervisão, Manutenção e Plano de Monitoramento, como Chave para o Sucesso de Operação de Emissários. In:

BLENINGER, Tobias; JIRKA, Gerhard H.. Hidráulica Interna de Difusores. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 219-238.

CERON, Luciano Peske. **Efluentes: Resolução CONAMA 430/2011, o que mudou?** Revista Tae. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=3704>>. Acesso em: 06 jul. 2016.

DONEKER, Robert L.. Aplicação do Sistema Cormix na Análise da Zona de Mistura e no Projeto de Emissários Submarinos. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 73-82.

DUTRA, A. S. et al. Estudo analisa o uso de aços estruturais resistentes à corrosão atmosférica. **Corte & Conformação de Metais**, São Paulo, n. 86, p.86-93, Jan. 2013. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/ldtm/publicacoes/Estudo analisa o uso de aços estruturais resistentes a corrosão atmosférica.pdf](http://www.ufrgs.br/ldtm/publicacoes/Estudo%20analisa%20o%20uso%20de%20aços%20estruturais%20resistentes%20a%20corrosão%20atmosférica.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2016.

FERRAZ, Fábio. MEIOS DE LIGAÇÃO DE TUBOS CONEXÕES DE TUBULAÇÃO VÁLVULAS INDUSTRIAIS. Santo Amaro: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009. 46 p. CURSO: ELETROMECÂNICA DISCIPLINA: MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS. Disponível em: <http://docente.ifb.edu.br/paulobaltazar/lib/exe/fetch.php?media=apostila_tubulacao_ifba.pdf>. Acesso em: 05 out. 2016.

FERRAZ, Henrique. O Aço na Construção Civil. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, v. 22, n. 1, mar. 2003. Disponível em: <[http://www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST114/O AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.pdf](http://www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST114/O%20AÇO%20NA%20CONSTRUÇÃO%20CIVIL.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2016.

FREITAS, Sérgio de; BARBOSA FILHO, Olavo; GIORDANO, Gandhi. **DIRETRIZES PARA PROJETO DE SISTEMA DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DE ESGOTOS PARA**

COMUNIDADE DE PEQUENO PORTE. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011. 76 p....

FREITAS, Sergio de. **PROPOSTA DE METODOLOGIA DE PROJETO DE SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DE ESGOTOS SANITÁRIOS, EM LOCALIDADES DE PEQUENO PORTE.** 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

GONÇALVES, Fernando Botafogo; SOUZA, Amarilio Pereira de. **Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática.** Rio de Janeiro: Abes, 1997. 325 p.

GREGORIO, Helvio Prevelato. **Modelagem Numérica da Dispersão da Pluma do Emissário Submarino de Santos.**2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

HAUSER, Flávia Luisa; MANZOCHI, Luiz Benoni. Previsão de Durabilidade de Concretos Preparados com agregados graníticos e calcários em túneis emissários de esgotos. **Revista Dae**, São Paulo, v. 131, n. 8, p.41-49, out./dez. 1982. Trimestral.

INVERNO, João Cruz Cleriguinho Franco. **Modelagem numérica da interacção de ondas com emissários submarinos.**2013. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

LAMPARELLI, Claudia Condé. Desafios para o Licenciamento e Monitoramento Ambiental de Emissários: a Experiência de São Paulo. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento.** São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 11-24.

LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento.** São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 205-218.

LAPA, José Silva. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.** 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MARCELLINO, Edward Brambilla; MACEDO, Leonardo Silva. Emissários Submarinos: Critérios de Localização e Minimização de Impactos no Meio Marinho. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 43-58.

MENDONCA, Ana Cristina Santos. **Incorporating a risk assessment procedure into submarine outfall projects and application to Portuguese case studies**. 2014. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, University Of Granada, Granada, 2014.

MOURA, Carla de Almeida. **AValiaÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO COM DISPOSIÇÃO OCEÂNICA ESTUDO DE CASO: EMISSÁRIO DO CAMPECHE**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

OLIVEIRA, F. G. X. **CUSTOS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL: UM ESTUDO DE CASO**. 8 f

ORTIZ, Jayme Pinto; ARASAKI, Emilia; MARCELLINO, Edward Brambilla. Visão Geral dos Emissários Submarinos no Litoral Paulista. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 25-42.

ORTIZ, Jayme Pinto. Modelagem Aplicada à Simulação do Escoamento da Pluma de Efluentes de Emissários Submarinos no Litoral Paulista. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 83-102.

Relatório Técnico. **Emissário Submarino**. Maceió: Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis. Superintendência em Alagoas, 2012.

SCANES, Peter. Impacto Ambiental da Disposição Oceânica e Programas de Monitoramento. In: LAMPARELLI, Claudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto Ambiental e Monitoramento**. São Paulo: Centro de Editoração da Secretaria do Meio Ambiente, 2007. p. 119-132.

SOUZA, Amarilio Pereira de; GONÇALVES, Fernando Botafogo. **Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários: História, Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Abes, 1997. 325 p.

SOUZA, José. F. A.. **Emissários submarinos – uma alternativa para a disposição final de efluentes em cidades costeiras**. 2007. 12 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia Física, Química e Geológica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2007....

SILVA, André Luis Silva da. **Resolução Nº 357 do CONAMA para a qualidade da água**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/agua/resolucao-no-357-do-conama-para-a-qualidade-da-agua/>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Sistema de esgotamento sanitário de Maceió-AL em relação à sua quantidade populacional**. Foz do Iguaçu: Sbsr, 2013. 5 p....

BASTOS, Teresa Maria. **Tese para Conclusão de Curso**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <taa@isep.ipp.pt>. em: 27 maio 2016.

TREVISAN, Alexandre. **Emissários Submarinos para Lançamento de Efluentes Sanitários**: São Paulo: Casan;sabesp;caern, 2007. 44 slides, color....

VAN RIJN, Leo C.. **LOCAL SCOUR NEAR STRUCTURES**. Blokzijl: Leo C. van Rijn, 2013. 32 p.