



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

OLÍCIO FERNANDES DE SOUZA NETO

**ESTUDO PATOLÓGICO DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE
ESGOTO AMA, BREJO COMPRIDO E GRACIOSA 02 – ESTUDO DE
CASO EM PALMAS – TO**

**PALMAS – TO
2015**



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

OLÍCIO FERNANDES DE SOUZA NETO

**ESTUDO PATOLÓGICO DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE
ESGOTO AMA, BREJO COMPRIDO E GRACIOSA 02 – ESTUDO DE
CASO EM PALMAS – TO**

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Dênis Cardoso Parente.

**PALMAS – TO
2015**



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

OLÍCIO FERNANDES DE SOUZA NETO

**ESTUDO PATOLÓGICO DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE
ESGOTO AMA, BREJO COMPRIDO E GRACIOSA 02 – ESTUDO DE
CASO EM PALMAS – TO**

Monografia apresentada como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Dênis Cardoso Parente.

Aprovada em 06/11/2015.

BANCA EXAMINADORA

Professor Esp. Dênis Cardoso Parente
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

Prof.Esp. Fernando Moreno Suarte
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

Prof.MSc. Fábio Henrique de Melo Ribeiro
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

**PALMAS
2015**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo Geral.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.2 Justificativa e Importância do Trabalho	4
1.3 Estrutura do Trabalho.....	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.2 Estações Elevatórias.....	6
2.2 Esgoto.....	8
2.1.1 <i>Agressividade do Esgoto Sanitário</i>	9
2.3 Concreto	11
2.3.1 <i>Vida Útil de Estruturas de Concreto</i>	12
2.3.1.1 Modelo de TUUTTI	13
2.3.2 <i>Durabilidade das Estruturas em Concreto</i>	14
2.3.2.1 Agressividade Ambiental	14
2.3.2.2 Água	18
2.3.2.2.1 Água como componente do cimento	18
2.3.2.2.2 Água como mecanismo de transporte	20
2.3.2.3. Permeabilidade.....	20
2.4 Ferro Fundido Dúctil.....	21
2.4.1 <i>Durabilidade de Peças de Ferro Fundido</i>	22
2.5 Patologia	23
2.5.1 <i>Estudo patológico</i>	23
2.5.2.1 Ataque por sulfatos.....	24
2.5.2.1.1 Ataque por ácido sulfúrico	26
2.5.2.2 Corrosão por Cloretos	26
2.5.2.3 Reação álcali agregado	28
2.5.2.1 Erosão	29
2.5.3 <i>Deterioração do ferro fundido dúctil</i>	30
2.5.3.1 Corrosão.....	30
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 Caracterização da Área de Estudo	31

3.2 Pesquisa bibliográfica	33
3.3 Estudo de caso	33
3.4 Análise dos Dados	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 Classificação Ambiental	35
4.2 Identificação e Mapeamento das Manifestações Patológicas	37
4.2.1 Infiltrações	37
4.2.1 Deterioração do sistema de impermeabilização	39
4.2.3 Perda de massa do concreto	40
4.2.4 Corrosão	43
4.3 Ensaaios	46
4.3.1 Fenolftaleína	46
4.3.1.1 Equipamentos	47
4.3.1.2 Metodologia	47
4.3.1.3 Resultados	47
4.3.2 Teor de sulfatos	49
4.3.2.1 Materiais e equipamentos	49
4.3.2.2 Métodos	49
4.3.2.3 Resultados	52
4.4 Diagnóstico	52
5 CONCLUSÕES	53
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	56

RESUMO

A agressividade do meio no qual estão inseridas as estruturas pode gerar uma redução do período em que as mesmas apresentam desempenho satisfatório, ou seja, sua vida útil. As estações de tratamento e elevatórias de esgoto são exemplos clássicos de ambientes com agressividade elevada em razão da presença de águas residuárias ricas em sulfatos e outros subprodutos da decomposição do esgoto bruto. O presente estudo visa identificar as manifestações patológicas ocasionadas por essa agressividade em estações elevatórias de esgoto bruto. Como objeto de estudo tem-se as estações elevatórias de esgoto AMA, Brejo Comprido e Graciosa 02, todas em funcionamento na cidade de Palmas – TO, operadas pela concessionária de saneamento local Odebrecht/SANEATINS. Os resultados apontam a ocorrência de determinadas manifestações patológicas ligadas ao ambiente agressivo, execução da obra e problemas de projeto. Entretanto, medidas mitigadoras e a correta adoção de materiais contêm o avanço acelerado destas manifestações, que não comprometem de forma considerável a vida útil das estruturas.

PALAVRAS-CHAVE: Agressividade. Concreto. Esgoto. Patologia.

ABSTRACT

The aggressiveness of the environment in which the structures are inserted can create a reduction of the period that they have satisfactory performance, is its useful life. The treatment and sewage pumping stations are classic examples of environments with high aggressiveness due to the presence of residue waters rich in sulfates and other byproducts from the decomposition of raw sewage. This study aims to identify the pathological manifestations caused by this aggression in pumping stations of raw sewage. As an object of study has been the lifts AMA, Brejo Comprido e Graciosa 02, all in operation in Palmas - TO, operated by the local sanitation concessionaire Odebrecht / Saneatins. The results refer to a considerable reduction of the useful life of the structures, although some have been executed recently, which may require a high cost recoveries and reinforcements.

KEYWORDS: Aggressiveness. Concrete. Sewage. Pathology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Unidade de pré-tratamento manual.....	08
Figura 2 – Corte esquemático de uma Estação Elevatória de Esgoto	08
Figura 3 – Conjunto moto-bomba e acessórios	09
Figura 4 – Gráfico da Lei de Sitter.....	23
Figura 5 – Esquema de classificação da deterioração por agentes físicos.....	25
Figura 6 – Esquematização das reações químicas envolvidas na formação do ácido sulfúrico.....	27
Figura 7 – Esquema de classificação da deterioração por agentes químicos.....	28
Figura 8 – Sistema de Esgoto de Palmas, detalhe para a localização das EEE	30
Figura 9 – E.E.E Brejo Comprido é a maior elevatória de palmas e está integrada a rede de coleta até a ETE Vila União	33
Figura 10 – E.E.E Graciosa II	33
Figura 11 – E.E.E. AMA	34
Figura 12 – Corrosão da superfície do concreto de um bloco de ancoragem de tubulação.....	34
Figura 13 – Junta de Concretagem, E.E.E Brejo Comprido.....	38
Figura 14 – Infiltração na Junta de Concretagem.....	38
Figura 15 –Deterioração da camada de impermeabilização do concreto.....	39
Figura 16 – Deterioração da camada de impermeabilização do concreto.....	40
Figura 17 – Perda de massa da face interna do poço de sucção.....	41
Figura 18 – Perda de massa da face interna do poço de sucção.....	41
Figura 19 – Processo de erosão, ocasionado pelo deságue do esgoto	42
Figura 20 – Perda de massa, bloco de coroamento de tubulação de PVC	43
Figura 21 – Trecho de tubulação substituída, observa-se a deterioração do revestimento interno.....	43
Figura 22 – Trecho de tubulação corroída externamente.....	44

Figura 23 – Tampa metálica, exposta deteriorada pelo processo de corrosão	45
Figura 24 – Tampa do alçapão de acesso ao poço de sucção, deteriorada pelo processo de corrosão gráfica	46
Figura 25 – Ensaio de pH do concreto com a aplicação do reagente fenolftaleína...	48
Figura 26 – Ensaio de pH do concreto com a aplicação do reagente fenolftaleína...	48
Figura 27 – Amostras de concreto usadas no ensaio de teor de sulfatos	50
Figura 28 – Cloreto de Bário e amostras, ao fundo, após reação química.....	51
Figura 29 – Amostras após calcinação a 800°C na mufla.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Agressividade dos ambientes em relação a concretação de íons sulfatos.....	160
Tabela 2 - Classe de agressividade dos ambientes.	16
Tabela 3 – Fator água cimento e tipo de cimento, em função da agressividade ambiental.....	17
Tabela 4 – Cobrimento mínimo das armaduras.	18
Tabela 5 – Principais impurezas presente na água e suas respectivas concentrações máximas admissíveis.....	19
Tabela 6 – Classes e respectivas aplicações do ferro fundido dúctil.	21
Tabela 7 – Relção das Estações Elevatórias de Esgoto de Palmas	31
Tabela 8 – Classificação ambiental, cobrimento e relação água cimento das estações elevatórias.....	36
Tabela 9 – Resultados do ensaio de teor de sulfatos	49

LISTA DE ABREVIATURAS

A/C – Fator Água Cimento

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARI – Alta Resistência Inicial

BC – Baixa Calor de Hidratação

C – Carbono

C₃A – aluminato de tricalcico

Ca(OH)₂ – Hidróxido de Cálcio

CaO – Cal

Cl – Cloro

CP – Cimento Portland

CPB – Cimento Portland Branco

C-S-H - silicato de cálcio hidratado

EEE – Estações Elevatórias de Esgoto

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

Fe – Ferro

FoFo – Ferro Fundido

h – Hora

H₂S – Gás sulfídrico

H₂SO₄ – Gás Sulfúrico

Km – Quilômetro

m³ - Metro Cúbico

mm – Milímetro

Mpa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira Regulamentar

PlanSab – Plano Nacional de Saneamento Básico

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

RAA – Reação Álcali Agregado

RS – Resistente a Sulfatos

S – Sulfato

Si – Silício

1. INTRODUÇÃO

Na engenharia, o diagnóstico patológico concentra-se no estudo dos processos de deterioração, buscando conhecer seus principais mecanismos de desenvolvimento e como os mesmos afetarão a durabilidade das estruturas. No desenvolvimento deste estudo diferentes tópicos, como concepção estrutural, materiais, ambiente de exposição e controle de qualidade construtiva são abordados com o intuito de permitir a definição precisa das intervenções técnicas, sejam corretivas ou paliativas, que devem ser realizadas. Esse mesmo estudo, se integrado a fase inicial de projeto garantirá à estrutura maior durabilidade e desempenho em serviço. (LICHTENSTEIN, 1985)

Nas últimas décadas o mercado nacional da engenharia civil, influenciado diretamente pelo desenvolvimento econômico do país, teve um crescimento exponencial, absorvendo profissionais com pouca experiência e que indiretamente “sobrevivem” sob o paradoxo de aumentar a produtividade com o mínimo de tempo e recursos disponíveis. Este cenário foi prejudicial e atualmente reflete no número de construções, que com pouco tempo de uso, apresentam manifestações patológicas e como consequência têm sua vida útil reduzida à um período de tempo irrisório. (SOUZA E RIPPER, 1998)

Em perspectiva antônima, o desenvolvimento técnico e científico referente ao diagnóstico de manifestações patológicas não apresentou evolução condizente à necessidade, sendo por muito tempo caracterizado pela falta de legislação normativa, insuficiência de parâmetros técnicos e despadronização de procedimentos. Portanto é difícil realizar análises e principalmente conclusões que apontem os fatores preponderantes e responsáveis pela deterioração precoce das obras. (SOUZA E RIPPER, 1998)

Atualmente, novas tecnologias e procedimentos de análise que facilitam o diagnóstico e conhecimento detalhado dos processos de deterioração estão em desenvolvimento, porém o caminho mais viável e adotado tem sido o estudo de caso, constituído basicamente pela observação e aprendizagem em cima de erros já cometidos. Historicamente essa é uma metodologia que sempre foi aplicada, porém não de forma padronizada, o que inviabiliza o confronto de informações obtidas em diferentes locais e épocas, restringindo conseqüentemente a quantidade e qualidade dos referenciais técnicos. A padronização dos procedimentos e critérios de

observação das manifestações patológicas ocorreu há poucas décadas com a evolução do conceito de patologia como uma ciência aplicada também a engenharia civil. (DINIZ, 2008)

Exemplificando através de obras de saneamento, especificamente estações elevatórias de esgoto, este trabalho busca diagnosticar, por meio de inspeções, levantamento e análise de projetos as patologias recorrentes em estruturas de concreto que estão expostas ao esgoto sanitário e simultaneamente mostrar aspectos relevantes que devem ser exploradas em estudos futuros.

Como metodologia pretende-se adentrar nos novos conceitos de estudo e observação das patologias, que corretamente preconizados constituirão brevemente um acervo técnico confiável a respeito do tema.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Diagnosticar as manifestações patológicas nas estruturas de concreto e metálicas nas estações elevatórias de esgoto AMA, Brejo Comprido e Graciosa 02 localizadas na cidade de Palmas - Tocantins.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Apresentar as manifestações patológicas presentes nas estações elevatórias de esgoto da cidade de Palmas -Tocantins;
- ✓ Analisar parâmetros de projeto e sua influência no desenvolvimento dos processos de deterioração;
- ✓ Confrontar os dados obtidos em campo e laboratório com as informações bibliográficas;

1.2 Justificativa e Importância do Trabalho

O estudo das manifestações patológicas e do comportamento das estruturas que compõem o sistema de transporte de efluentes sanitários, (exemplo as estações elevatórias de esgoto) frente ao ambiente agressivo composto pelo esgoto e seus subprodutos, promove novos conhecimentos técnicos, que com toda certeza irão colaborar na concepção de construções, que alcancem a vida útil estabelecida em projeto com o desempenho esperado. Portanto, de acordo com o conceito apresentado pela Lei de Sitter, em que medidas mitigadoras adotadas na etapa de projeto são menos onerosas que posteriores intervenções de recuperação e reforço estrutural, o desenvolvimento deste trabalho promove potencialmente a austeridade do investimento público em obras de saneamento.

Por trata-se de uma área multidisciplinar que envolve o estudo de materiais de construção, análises de projetos, técnicas construtivas e conhecimento de instruções normativas, o estudo patológico é uma temática única no que se refere ao conhecimento técnico e apresenta paralelamente inúmeras possibilidades para desenvolvimento acadêmico e estudos futuros que podem vir a ser abordados pelo pesquisador.

Visto a escassez de estudos científicos referentes ao tema levantado, a presente pesquisa auxiliará a preencher lacunas referentes a parâmetros técnicos adotados em obras de saneamento e poderá também ser utilizada como fichamento dos principais conceitos técnicos apresentados sobre o tema.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho aborda uma revisão bibliográfica sobre o tema e posteriormente a metodologia e análise de resultados da pesquisa. O trabalho está dividido em seis capítulos seguintes:

Capítulo 1: Neste capítulo será realizada a apresentação do trabalho através da abordagem histórica do estudo patológico das estruturas, ressaltando as principais dificuldades e desafios a serem superados na área de engenharia civil, a fim de promover a construção de estruturas com durabilidade e desempenho em acordo a vida útil de projeto. Também é mencionado, brevemente, o objeto de estudo e a metodologia usada no desenvolvimento do trabalho.

Capítulo 2: Nesta etapa segue a revisão bibliográfica sobre os conceitos, importância e aplicação das estações elevatórias de esgoto, as características principais do esgoto sanitário e a grande parte das variáveis que devem ser levadas em consideração durante a etapa de projeto, execução e manutenção das estruturas que estarão suscetíveis ao ambiente agressivo do esgoto;

Capítulo 3: Apresentação detalhada da metodologia usada no desenvolvimento do trabalho e caracterização das estações elevatórias da cidade de Palmas – TO, usadas no estudo de caso;

Capítulo 4: Neste capítulo segue a apresentação e discussão dos dados obtidos no estudo de caso, com base nos conhecimentos apresentados durante o referencial teórico.

Capítulo 5: segue as considerações e conclusões do estudo de caso;

Capítulo 6: apresenta sugestões para novas pesquisas sobre o assunto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.2 Estações Elevatórias

Pode ser denominada como estação elevatória de esgoto, qualquer “instalação a que se destina o transporte do esgoto do nível do poço de sucção, das bombas, ao nível de descarga na saída do recalque”. (NBR 12208/1992)

Segundo o Ministério das Cidades (2008) o esgoto tratado nas estações de tratamento (ETE) é coletado e transportado até estações de tratamento em grande parte por gravidade, entretanto, quando as tubulações da rede coletora atingem cotas muito profundas, inviabilizando a implantação e manutenção do sistema devido aos elevados custos dos serviços de escavação, ou quando os efluentes são provenientes de áreas abaixo da cota da rede principal, opta-se então pelo bombeamento da água residual, para que a mesma, seja transportada a cotas elevadas e volte a ser transportada por gravidade. A unidade responsável por este bombeamento são as estações elevatórias (EEE), componentes do sistema de saneamento básico, especificamente da etapa de coleta e transporte.

Fazem parte das instalações das Estações Elevatórias:

- Unidade de Pré-Tratamento: Equipamentos que visam à remoção dos sólidos grosseiros através de grades de limpeza manual ou mecânica (figura 1), localizadas na montante do poço de sucção. Esse procedimento é muito importante para proteção do conjunto elevatório.

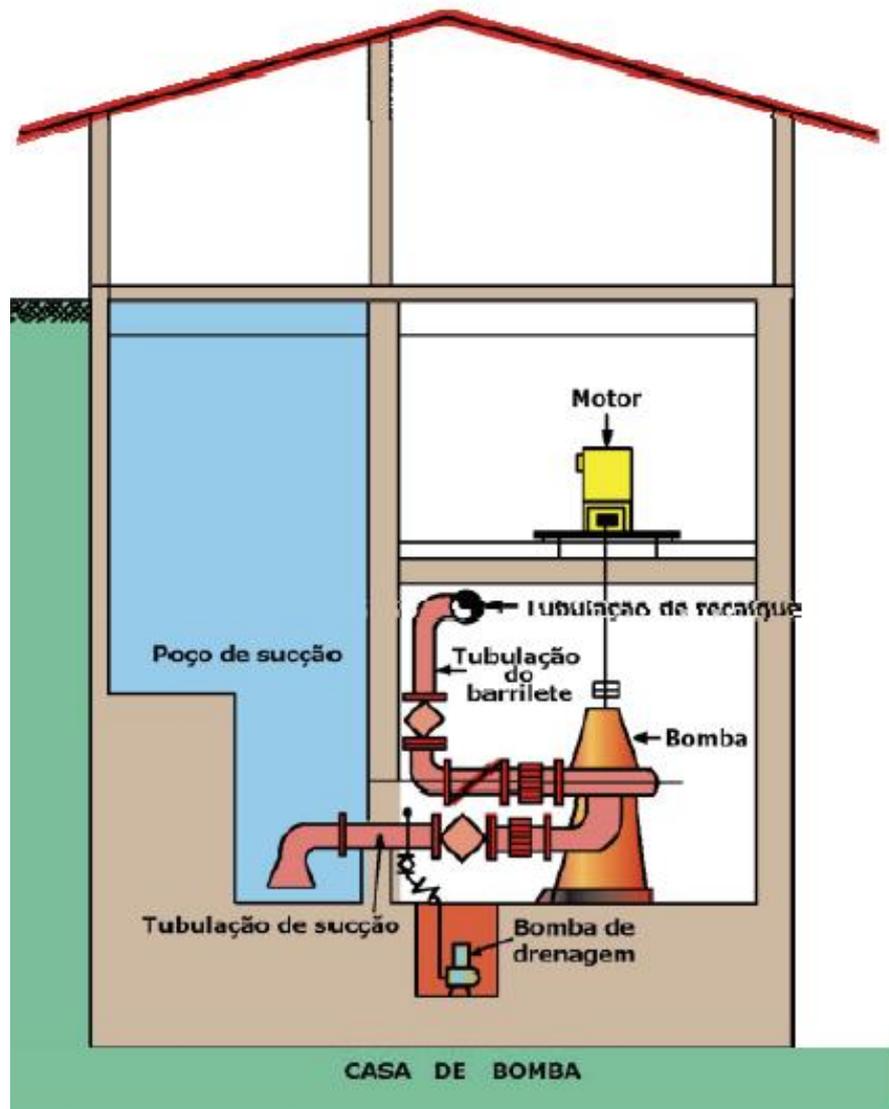
Figura 1 – Unidade de pré-tratamento manual



Fonte: Ministério das cidades, 2008

- Poço de sucção: Estrutura em concreto armado, que recebe o esgoto e o mantém armazenado até o bombeamento (figura 2).

Figura 2 – Corte esquemático de uma EEE.



Fonte: Ministério das cidades, 2008.

- Casa de bombas: Abrigo para os conjuntos de motor bomba, blocos de ancoragem e braço giratório com talha (figura 2).
- Tubulações e acessórios:(figura 3) são as canalizações de sucção, recalque, barrilete e as válvulas de gaveta e retenção, usadas em processos de manutenção e proteção contra o refluxo do esgoto, respectivamente.

Figura 3 – Conjunto moto-bomba, tubulações de ferro fundido dúctil e válvulas de gaveta.



Fonte – Próprio autor, 2015.

2.2 Esgoto

É considerado esgoto todo o efluente advindo das atividades, pessoais ou industriais, inerentes ao cotidiano do ser humano. A sua composição química varia de acordo com a sua origem, mas em comum, todo esgoto possui agentes patogênicos ao ser humano, portanto, devem ser coletados e devidamente tratados, sendo esta, uma área importante no desenvolvimento da saúde pública e infraestrutura urbana. (JORDÃO E PÊSSOA, 2005)

O esgoto pode ser classificado como sanitário e industrial. O primeiro é formado por despejos de residências, estabelecimentos comerciais, órgãos públicos e uma pequena parcela oriunda de águas pluviais, de infiltração ou de processos industriais. Já o esgotamento industrial é diversificado e composto em sua maioria por águas utilizadas nos processos industriais de produção. (CHAGAS, 2000)

Em Palmas, os dados apresentados pelo Plano de Saneamento Básico (2014), permite classificar o efluente municipal como sanitário, haja visto que a

parcial industrial é desprezível, apenas 0,0171% das ligações sanitárias do município.

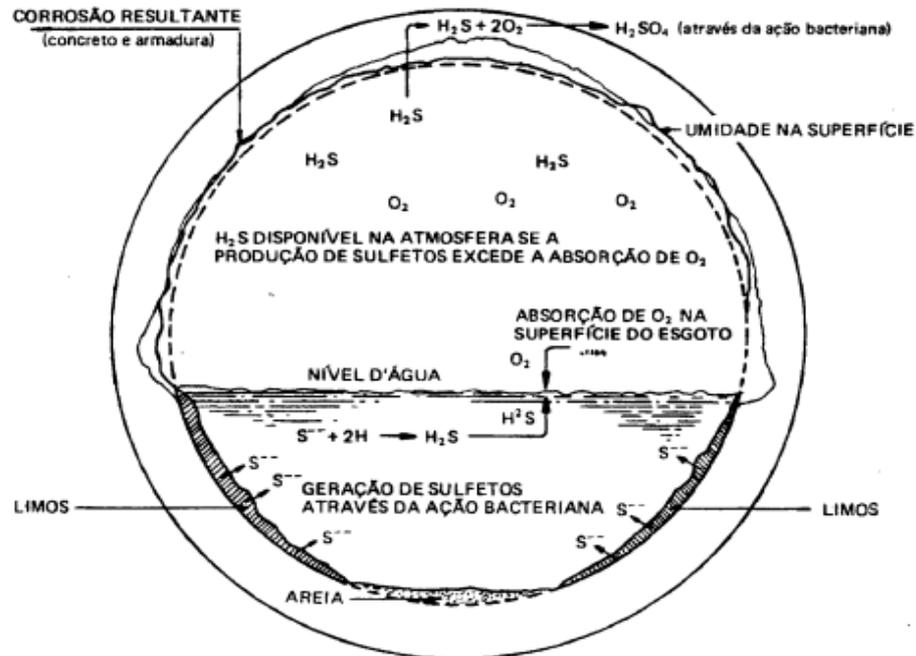
De acordo com informações do Ministério das Cidades (2008) cerca de 99,9% do esgoto é água e apenas 0,01% são de resíduos sólidos, de origem orgânica e inorgânica. A porção inorgânica é entendida como a areia carregada pelas águas pluviais e de infiltração. Já as matérias orgânicas mais presentes são as proteínas, carboidratos, óleos, fenóis, surfactantes e pesticidas. É válido ressaltar que a quantidade dessas substância varia conforme os hábitos populacionais da região.

2.1.1 Agressividade do Esgoto Sanitário

O sistema de coleta e transporte de esgoto preconizado atualmente é pormenorizado pelo confinamento dos efluentes, sejam nos condutores (em aço ou concreto), poços de sucção ou nos reatores de tratamento. O confinamento é importante visto que impede o contato direto da população aos agentes patogênicos presente no esgoto, entretanto, os ambientes confinados caracterizam-se pela pouca quantidade de oxigênio livre, íon este, essencial no processo de decomposição da matéria orgânica do esgoto pelas bactérias aeróbicas. Com a insuficiência de oxigênio no ambiente, as bactérias anaeróbicas reductoras de sulfato, que têm a propriedade de retirar o oxigênio dos íons SO_4 , tornam-se o principal agente de decomposição da matéria orgânica. Este tipo de bactéria caracteriza-se pela geração de sulfetos (S), que ao reagirem com a água resulta no gás sulfídrico (H_2S), conhecido pelo odor de ovo podre. O H_2S , ao alcançar a face superior do ambiente é novamente oxidado (devido a presença de umidade condensada) transformando-se em ácido sulfúrico (H_2SO_4). Este último elemento é altamente corrosivo ao concreto e ao ferro fundido dúctil das tubulações, sendo assim o principal responsável pela deterioração destes materiais. O ataque químico as estruturas de concreto por agentes de origem ligados ao íon sulfeto é denominado pela literatura técnica com ataque por sulfatos. (HELENE, 1986)

A figura 4 apresenta a esquematização do processo de reações formadoras do ácido sulfúrico.

Figura 4: Esquematização das reações químicas envolvidas na formação do ácido sulfúrico



Fonte: HELENE (1986).

Considerando a concentração de íons sulfatos, a tabela 1, apresentada por SOUZA (2006), mostra como o ambiente é classificado pelas normativas estrangeiras, em consideração a concentração dos íons sulfatos.

Tabela 1–Agressividade do ambiente em relação a concentração de sulfato

Norma Técnica	Nível de Exposição aos sulfatos	Sulfatos na água (ppm)
Norma ACI 318M-02 (Buildingcoderequirements for structural concrete)	Desprezível	$0 \leq SO_4 \leq 150$
	Moderado	$150 \leq SO_4 \leq 1500$
	Forte	$1500 \leq SO_4 \leq 10000$
	Muito Forte	$SO_4 > 10000$
Manual do Concreto do U.S. Bureau ofReclamation Concrete Manual, publicado em 1966	Desprezível	$0 \leq SO_4 \leq 150$
	Fraco	$150 \leq SO_4 \leq 1500$
	Regular	$1500 \leq SO_4 \leq 10000$
	Forte	$SO_4 > 10000$
Norma canadense A23.1.94	S-3 Moderado	$150 \leq SO_4 \leq 1500$
	S-2 forte	$1500 \leq SO_4 \leq 10000$
	S-1 muito forte	$SO_4 > 10000$
Norma européia EN206-1:2000	Ligeiramente agressivo	$200 \leq SO_4 \leq 600$
	Moderadamente agressivo	$600 \leq SO_4 \leq 3000$
	Altamente agressivo	$3000 \leq SO_4 \leq 6000$

Fonte: SOUZA, (2006)

Para Metha e Monteiro (1994) as estruturas do sistema de esgotamento sanitário ainda estão sujeitas, ao longo de sua vida útil de operação, ao desgaste físico superficial provocado pelo deslocamento constante dos efluentes sanitários, seja nas tubulações de transporte ou nos canais de chegada aos poços das estações elevatórias. O movimento do fluido, independente da velocidade, gera o atrito entre as partículas sólidas em suspensão no esgoto e a superfície da estrutura, ocasionando ao longo do tempo no desgaste da estrutura por erosão.

2.3 Concreto

Concreto é a mistura formada, por quantidades pré-estabelecidas, de aglomerante (cimento), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita/seixo) e água, sendo em casos específicos utilizados aditivos químicos ou adições minerais. (METHA E MONTEIRO,1994)

Explicando a formação do concreto Araujo, Rodrigues e Freitas (2000) afirmam que:

“A água e o cimento, quando misturados, desenvolvem um processo denominado hidratação e formam uma pasta que adere às partículas dos agregados. Nas primeiras horas após o preparo é possível dar a essa mistura o formato desejado. Algumas horas depois ela endurece e, com o passar dos dias, adquire grande resistência mecânica, convertendo-se num material monolítico dotado das mesmas características de uma rocha. [...] A produção do concreto consta de uma série de operações executadas e controladas de forma a obter-se, a partir dos materiais componentes, um concreto que depois de endurecido resista aos esforços derivados das mais diversas condições de carregamento a que possa ser submetido, bem como apresente características de durabilidade.”

Historicamente considerado o material mais empregado em construções, o concreto tem sua origem vinculada a civilização romana, que fazia uso de argamassa pozolânica conjuntamente a fragmentos de pedra, em construções como o Panteon e Coliseu na cidade de Roma. A partir de 1758 grandes estudos e descobertas acerca dos aglomerantes cimentícios, culminaram no ano de 1854 com a criação, por Joseph Aspdin, do reconhecido cimento hidráulico Portland, que

definitivamente disseminou, a utilização do concreto como material estrutural em obras de engenharia. (CARVALHO, 2008)

Desde sua criação o concreto apresentou grande evolução tecnológica, principalmente nas últimas décadas, com o uso de novos agregados e principalmente de aditivos químicos e adições minerais, que permitiram literalmente, a edificação de marcos históricos. Portanto, teoricamente, é tangível pressupor que as obras atuais apresentem resistência, desempenho e vida útil superiores a obras antigas.

Porém na prática, a diagnose é definida pelo excesso de obras de engenharia, que com pouco tempo de utilização, já apresentam manifestações patológicas, que potencialmente, comprometerão sua vida útil. A explicação é o fato do progresso tecnológico não ter sido acompanhado pelo desenvolvimento normativo, responsável por padronizar critérios técnicos de projeto, execução e análises de estruturas. Somado a tal, tem-se o crescimento exponencial do mercado de engenharia civil, que nos últimos anos acabou por sobrecarregar alguns profissionais e em outrora inserir no processo de produção, técnicos e profissionais de mão de obra com pouca experiência. (SOUZA e RIPPER, 1998)

Para METHA e MONTEIRO (1994), o concreto foi amplamente disseminado e alvo de pesquisas científicas, em virtude de suas destacadas propriedades quanto material. Porém, por inúmeras razões, atualmente deve ser explorada uma nova área de estudo, a durabilidade do material.

2.3.1 Vida Útil de Estruturas de Concreto

O conceito de vida útil é corriqueiramente confundido com a definição de durabilidade, mas SANTOS E SAVAGE (2003) esclarecem afirmando que “A durabilidade é uma qualidade da estrutura e a vida útil é a quantificação desta qualidade”.

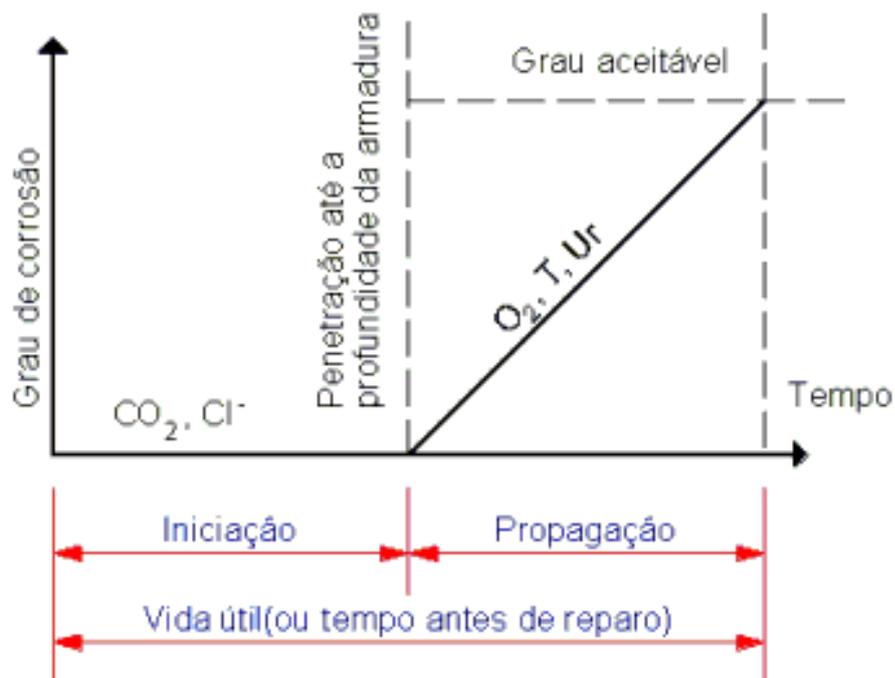
A NBR 6118 (2014), responsável pela regulamentação de estruturas de concreto, define vida útil como o período de tempo em que uma estrutura de concreto conserva suas características, sem a necessidade de intervenções significativas de reparo e reforço, devendo ser considerado apenas as condições de uso e manutenção preventivas da estrutura.

Para SOUZA e RIPPER (1998) a vida útil de qualquer construção será maior conforme o nível da cooperação dos envolvidos nas etapas de projeto, construção e uso da edificação. Ao projetista, ressalta-se a importância de conhecer os agentes de deterioração que irão agir frente a estrutura e adotar medidas mitigadoras e preventivas. Ao construtor, cabe o conhecimento acerca dos projetos e processos tecnológicos de construção, assim como segui-los de forma integral. Por fim, ao usuário, incube-se o dever de fiscalizar e executar as condições de uso, inspeção e manutenção.

2.3.1.1 Modelo de TUUTTI

O modelo qualitativo de Tuutti (figura 5) é considerado por técnicos como um dos principais moldes representativos da vida útil de obras de concreto armado.

Figura 5 – Modelo de vida útil de estruturas de concreto armado (TUUTTI)



Fonte: SOUZA, 2006.

Tuutti apresenta graficamente no seu modelo, a relação entre a vida útil das estruturas de concreto armado e as etapas do processo de corrosão das armaduras, sendo essas:

a) Iniciação: Período decorrido desde a construção da estrutura, até o instante em que ocorre a despassivação da armadura, seja em decorrência do ataque por cloreto, sulfato ou carbonatação. Esta etapa é correspondente ao período de vida útil de projeto.

b) Propagação: Período que compreende o desenvolvimento do processo corrosão da armadura. Inseridas nesta etapa temos: vida útil de utilização, até o surgimento de manchas e fissuras, e vida útil última, considerada até o colapso parcial ou total da construção

Na prática da engenharia, a vida útil de qualquer construção é uma função direta da durabilidade da mesma. (METHA e MONTEIRO, 1994)

2.3.2 Durabilidade das Estruturas em Concreto

Conforme o comitê 201 do ACI (Instituto Americano de Concreto) a durabilidade de estruturas de concreto, deve ser entendida como a sua capacidade em resistir às influências ambientais previstas e manter-se em totais condições de utilização, sem comprometer nenhuma parte do funcionamento da construção.

O estudo da durabilidade de estruturas já construídas, é uma questão complexa e multidisciplinar, onde é importante a análise da arquitetura, execução e materiais empregados na obra, entretanto, devem ser destacadas as considerações de projeto realizadas sobre a agressividade ambiental e a água, esta última, como componente do concreto e como meio de degradação. (SOUZA E RIPPER, 1998)

Neville (1997) amplia o campo de estudo da durabilidade do concreto, afirmando que, com exceção de alguns agentes mecânicos, como erosão e impactos acidentais, todos os outros meios de ataque ao concreto, atuam em decorrência da permeabilidade da matriz cimentícia aos fluidos.

2.3.2.1 Agressividade Ambiental

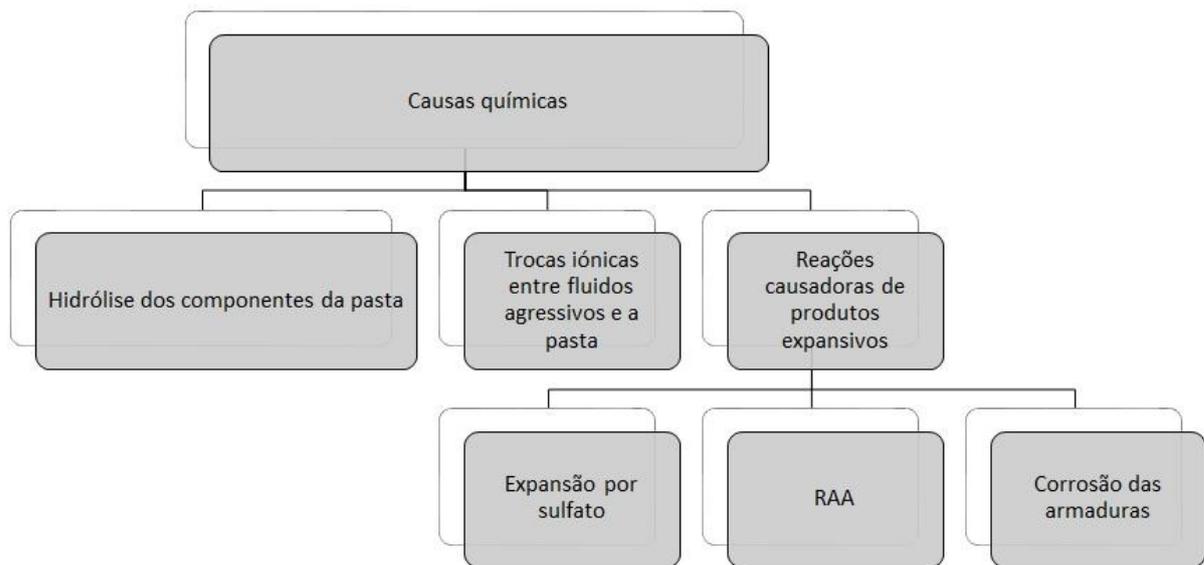
Segundo Araujo, Rodrigues e Freitas (2000) a concepção de estruturas duráveis, deve ser realizada em função das propriedades que o concreto deverá apresentar, quando endurecido, para suportar os mecanismos de deterioração.

Logo, é importante a determinação e mensuração dos agentes de deterioração presentes no ambiente, sendo eles:

a) Agentes químicos: Compreende as reações químicas provocadas por agentes externos ou internos. Os primeiros consistem na presença, em concentrações elevadas, de elementos químicos como o cloreto, sulfato e dióxido de carbono, que interagem quimicamente com os componentes hidratados do cimento; o segundo grupo inclui basicamente as reações álcali-sílica e álcali-carbonato, conhecidas como reações álcali agregado. (NEVILLE, 1997)

A figura 6 resume os agentes químicos e suas sintomatologias. (METHA E MONTERIO, 1994)

Figura 6 – Esquema de classificação da deterioração por agentes químicos



Fonte: METHA E MONTEIRO, 1994

b) Agentes físicos: Referem-se, as variações de temperaturas e de umidade e aos processos de abrasão e erosão. A sua recorrência acarreta em fissuração e perda de massa. Todos os agentes físicos e seus sintomas estão expressos na figura 7. (METHA E MONTEIRO, 1994)

Figura 7 – Esquema de divisão dos agentes de deterioração físicos



Fonte: METHA E MONTEIRO, 1994.

c) Agentes Mecânicos: Em geral são eventos cuja previsão de ocorrência não é factível e certa, por exemplo: tornados, incêndio, abalos sísmicos e choque com veículos. A degradação por este meio caracteriza-se pela destruição parcial ou completa da estrutura. (SOUZA E RIPPER, 1998)

d) Agentes Biológicos: A ocorrência mais comum de degradação por agentes biológicos é o crescimento de vegetação de pequeno porte nas estruturas e a proliferação de microrganismos como bolor e limo. Esses fenômenos ocorrem devido ao acúmulo de umidade em falhas de concretagem, juntas de dilatação ou fissuras. De modo geral a presença de bolor e limo ocasiona apenas a deterioração do revestimento, sem prejudicar estruturalmente a construção, entretanto, a sua presença alerta para a presença de umidade constante. Já o crescimento de vegetação, mesmo que de pequeno porte, gera tensões internas de tração o que provavelmente irá gerar a fissuração do concreto. (SOUZA E RIPPER, 1998)

Para a classificação da agressividade ambiental, a NBR 6118 (2003) de concreto, apresenta a tabela 2, que correlaciona os mecanismos supracitados e sua ocorrência em ambientes rurais, urbanos, industriais e marinhos.

Tabela 2 - Classe de agressividade dos ambientes

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1 2}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹	Grande
		Industrial ^{1 2}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{1 3}	Elevado
		Respingos de maré	
1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).			
2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.			
3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Fonte: NBR 6118 (2003)

Ainda pela NBR 6118 (2003), a relação água/cimento e espessura mínima de cobrimento das armaduras, devem ser definidas a partir das considerações apresentadas na tabela 3 e tabela 4, respectivamente.

Tabela 3 – Fator água cimento e tipo de cimento, em função da agressividade ambiental

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT 8953)	AC	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
NOTAS					
1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655					
2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.					
3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido					

Fonte: NBR 6118 (2003)

Tabela 4 – Cobrimento mínimo das armaduras.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje ²	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹	Todos	30	35	45	55

1) Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão

2) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4 7.5, respeitando um cobrimento nominal ≥ 15 mm

3) Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: NBR 6118 (2003).

Portanto, conclui-se pelas diretrizes apresentadas na NBR 6118, que o projetista e construtor, devem adotar artifícios técnicos, de acordo com o ambiente, que promovam a vida útil da construção. Dentre as alternativas, estão: uso de cimentos especiais, adoção de cobrimentos mais espessos, controle tecnológico rigoroso, uso de aditivos químicos, sistemas de proteção superficial e gestão operacional com programas de monitoramento e manutenção rotineiros. (BATTAGIN, 2010)

2.3.2.2. Água

A água apresenta-se com relevante importância diante do estudo de durabilidade do concreto, por ser um de seus principais componentes e também, por poder agir como meio de transporte dos agentes de deterioração. (NEVILLE, 1997)

2.3.2.2.1 Água como componente do concreto

Como material, a água quando em contato com o cimento, inicia o processo de hidratação, fazendo com que o concreto, desenvolva em um primeiro momento, características como trabalhabilidade e consistência. Posteriormente, com o avanço do processo de hidratação, o concreto passa a aumentar, gradativamente, propriedades como resistência mecânica e compacidade. O processo evolutivo da

hidratação, ocorre em função das reações químicas que a água desenvolve com os compostos hidratados do cimento, C_3A (aluminato tricálcico), $Ca(OH)_2$ (hidróxido de cálcio), C-S-H (silicato hidratado de cálcio) e outros. (BAUER, 2000). Mas para tanto, deve ser empregado uma quantidade precisa de água, definida no cálculo de dosagem, suficiente para promover a hidratação e cristalização completa do cimento, mas que simultaneamente, seja a menor grandeza possível, a fim de evitar o processo de exsudação do líquido e conseqüentemente a formação de capilares. (TARTUCE E GIOVANNETTI, 1990)

Alguns autores demonstram preocupação quanto à origem e quantidade de impureza presentes na água de amassamento, indicando para águas de fontes desconhecidas, a realização de ensaios para caracterização da mesma. A ressalva é válida, visto que dependendo da natureza e concentração dos elementos indesejáveis, podem ocorrer reações expansivas e corrosão da armadura. Na tabela 5 é apresentado um resumo com as principais impurezas encontradas na água e suas concentrações máximas toleráveis. (PETRUCCI, 1998)

Tabela 5 – Principais impurezas presentes na água e suas respectivas concentrações máximas admissíveis

Impurezas	Concentração Máxima Tolerável na Água de Amassamento
Carbonatos e Bicarbonatos de sódio e potássio	1.000 ppm (0,1%)
Cloreto de sódio	20.000 ppm (2%)
Sulfato de sódio	10.000 ppm (1%)
Bicarbonato de cálcio e magnésio	400 ppm (0,04%)
Cloreto de cálcio	40.000 ppm (4%)
Sais de ferro	40.000 ppm (4%)
Iodato de sódio, fosfato de sódio, arseniato de sódio e borato de sódio	500 ppm (0,05%)
Sulfito de sódio	100 ppm(0,01%)
Ácidos inorgânicos, tais como clorídrico, sulfúrico	10.000 ppm (1%)
Hidrato de sódio	10.000 ppm (1%)
Partículas em suspensão	2.000 ppm (0,02%)
Água do mar (sais)	30.000 ppm (3%)
Águas industriais (sódios)	4.000 ppm (0,4%)
Águas de esgoto (matéria orgânica)	20 ppm (0,002%)
Açúcar	500 ppm (0,05%)

Fonte: PETRUCCI (1998).

2.3.2.2.2 Água como mecanismo de transporte

“Sendo pequenas, as moléculas de água são capazes de penetrar em cavidades ou poros extremamente finos. Como solvente, a água é notável por sua habilidade de dissolver mais substância do que qualquer outro líquido conhecido. Esta propriedade responde pela presença de muitos íons e gases em algumas águas, as quais, por sua vez, tornam-se capazes de causar decomposição química de materiais sólidos.” (METHA E MONTEIRO, 1994)

Ao concreto, a água, torna-se muito agressiva quando apresenta elevadas concentrações dos íons sulfato, cloreto e dióxido de carbono. Quando este tipo de solução aquosa penetra na rede de poros do concreto, preliminarmente, reage com alguns dos componentes hidratos do cimento, como o hidróxido de cálcio (o mais solúvel dos componentes), dando origem a novos elementos químicos, que podem ser solúveis e carreados do concreto, ou então, insolúveis, provocando tensões internas de tração, devido à expansão destes elementos. A sintomatologia da deterioração promovida pelo transporte da água, na microestrutura do concreto, pode se apresentar de diferentes formas, mas em singularidade, sempre afetará a durabilidade da estrutura. (NEVILLE, 1997)

A presença da água, ainda pode ocorrer na forma de umidade, que em porcentagens elevadas, se apresentam como suficiente para proporcionar as reações com íons agressivos, presentes na atmosfera. (BAUER, 2000)

A maior eficiência na proteção das estruturas de concreto, a ação das águas agressivas são os sistemas de impermeabilização, com resistência química compatível e o controle da taxa de permeabilidade do concreto. (GRANATO, 2010)

2.3.2.3. Permeabilidade

Mehta e Monteiro (1994) descrevem a permeabilidade, como a taxa de escoamento do fluido através de um sólido. No concreto endurecido, o tamanho e a continuidade dos poros controlam o coeficiente de permeabilidade de uma estrutura, entretanto, a mesma será alta, apenas se os seus poros forem contínuos (interligados), formando uma rede de capilares. (NEVILLE, 1997)

Araújo, Rodrigues e Freitas (2000) citam os dois fatores principais dos quais a porosidade depende: relação a/c e grau de hidratação da pasta. A estrutura da pasta é definida pela relação água/cimento: quanto menor esta relação, mais próximo estarão os grãos de cimento e menor será a porosidade da pasta. Outro fator também considerado é a expansibilidade das reações de hidratação, visto que os produtos formados ocupam um volume maior do que o cimento ocupava inicialmente, de modo que a porosidade diminui à medida que a hidratação evolui. Assim, pode-se dizer que a porosidade do concreto diminui com a redução da relação a/c e com a evolução da hidratação, ou seja, com a idade do concreto.

2.4 Ferro Fundido Dúctil

O ferro fundido dúctil é um tipo de liga ferrosa formado essencialmente pelos elementos químicos: Fe, C e Si. O teor de carbono varia entre 3,2% a 4,1% e a quantidade de sílica é compreendida entre o intervalo 1,8% a 3%. (MOREIRA E SUSANA, 2013)

As tubulações de ferro fundido dúctil são normalmente produzidas a partir da rotação centrífuga da liga metálica em moldes de aço. Já as conexões e registros são fabricados despejando o ferro fundido dúctil em estado líquido, em moldes também de aço. (TAKAHASHI, 1983)

As características da liga ferrosa, são determinadas em função da quantidade de carbono e da forma que o mesmo se apresenta, grafita ou cementita, na microestrutura. No ferro fundido dúctil, o carbono é encontrado no formato de grafita esferoidal, o que lhe confere características como elevada resistência mecânica, limite de escoamento alto, excelente usinabilidade e grande resistência a corrosão.

Tubulações de ferro fundido dúctil são amplamente empregadas em linhas de recalque e emissários de recalque. No escoamento livre destacam-se as travessias sob rios e tubulações rasas sob leitos trafegáveis, que requerem elevada resistência mecânica. (SARZEDAS, 2009)

As classes e aplicações respectivas do ferro fundido dúctil, de acordo com a ASTM (American Society for Testing and Materials), são resumidas na tabela 6. Os valores na nomenclatura de classe fazem alusão à resistência mecânica do material. (MOREIRA E SUSANA, 2013)

Tabela 6 – Classes e respectivas aplicações do ferro fundido dúctil

7	Classe	Aplicações
ASTM A 395	60-40-18	Componentes para bombas hidráulicas; carcaças, válvulas; Componentes de caldeiras e reatores da indústria química.
ASME AS 395		
ASTM A 474	80-60-03	Equipamentos para processamento de papel que operem em temperaturas de até 230°C tais como cilindro de secagem
SAE MAS 5313		
ASTM A 536	60-40-18	Componentes submetidos a choques; válvulas e carcaças de bombas
	65-45-12	Componentes de máquinas submetidos a impactos e fadiga
	80-55-06	Virabrequins, engrenagens e buchas de rolamento
	100-70-03	Engrenagens e componentes submetidos a tensões elevadas
	120-90-02	Pinhões, engrenagens e rolamentos

Fonte: MOREIRA E SUSANA (2013)

2.4.1 Durabilidade de Peças de Ferro Fundido

SARZEDAS (2009), concluiu através de estudos, que a vida útil das tubulações de ferro fundido dúctil é em média de 78 anos. Esta longevidade é em parte, garantida pela elevada resistência a corrosão que o material possui, porém complementarmente, no processo de fabricação das tubulações, são executados revestimentos argamassados, de cimento de alto forno (AF 32) e pinturas de tinta betuminosa, que garantem as tubulações essa maior durabilidade.

A eficiência do revestimento de argamassa para tubulações FoFo, é explicada, devido a estrutura porosa da argamassa permitir a penetração da água, até completa saturação do revestimento, que em seguida, passa a aprisionar a água absorvida, mantendo a tubulação em ambiente estático, sem contato direto com água que escoar pela tubulação. Na presença de água a argamassa tende a se dissolver, lentamente, formando um ambiente constantemente alcalino, devido à dissolução do hidróxido de cálcio do cimento, impedindo quimicamente a oxidação do ferro. (MATHENY E BILLETER, 1974)

O revestimento argamassado das tubulações de ferro reproduz o mesmo conceito de alcalinidade, que protege as armaduras das peças de concreto armado e mesmo sendo consideravelmente durável, as argamassas podem lentamente, serem atacadas por águas com baixa quantidade total de sólidos dissolvidos (<40 mg/l), ricas em sulfato ou em carbonato de cálcio, sendo nestes casos indicado o uso de revestimentos complementares. (MATHENY E BILLETER, 1974)

Externamente os tubos de FoFo recebem uma camada de zinco metálico puro e posteriormente pintura betuminosa, o que lhe confere uma proteção com efeito

catódico, onde o zinco age como um material de anodo de sacrifício, e químico, com a pintura betuminosa impedindo a reação direta da tubulação com os agentes químicos agressivos. (TAKAHASHI, 1983)

2.5 Patologia

Assim como na medicina, o termo patologia é empregado na engenharia, para referir-se à parte da ciência responsável pelo estudo dos sintomas e natureza das doenças, que neste caso específico, afetam as construções.

O principal foco de estudo desta ciência, é o diagnóstico e entendimento, das múltiplas relações de causa e efeito, que normalmente, caracterizam um problema patológico. (GRANATO, 2010)

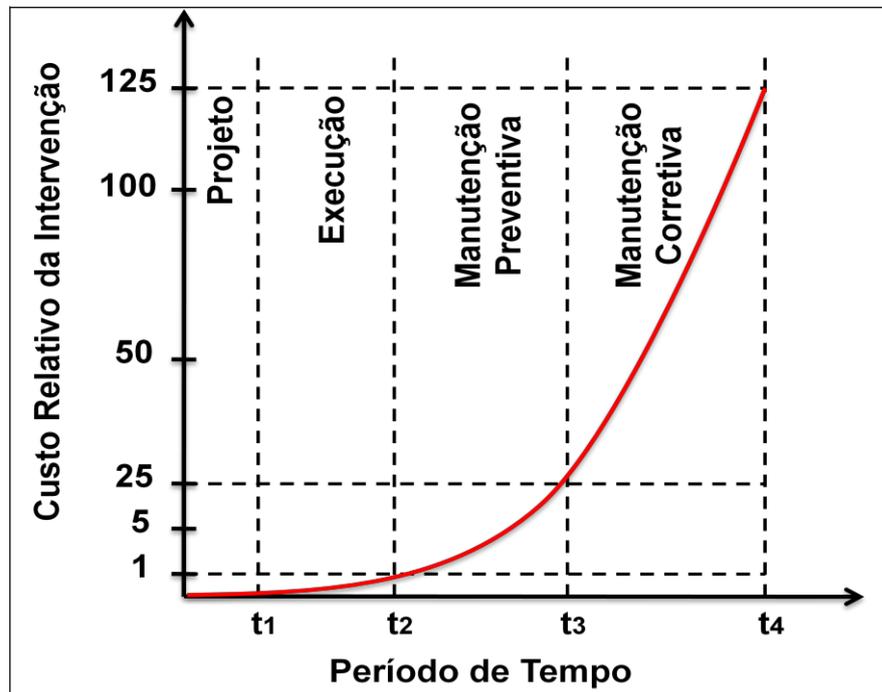
2.5.1 Estudo patológico

Para Souza e Ripper (1998), salvo os casos em que ocorrem catástrofes naturais, caracterizados por solicitações violentas de caráter imprevisível, as manifestações patológicas têm como fator preponderante, falhas durante a realização de uma ou mais atividades referentes aos processos de concepção (projeto), execução (construção) e utilização (manutenção) das construções. Na prática, são poucas as situações que evidenciam de fato, os reais problemas, portanto, o diagnóstico, irá ser definido na contínua redução da incerteza inicial, pelo progressivo levantamento de dados obtidos em campo. (LICHTENSTEIN, 1985)

Segundo Bauer (2000) a importância do diagnóstico se dá pelo fato de grande parte das patologias serem de caráter progressivo, ou seja, quando suscetível aos mecanismos de deterioração, a estrutura, inevitavelmente, apresentará danos que comprometerão a segurança e funcionamento da construção, sendo então necessária a realização de intervenções técnicas.

Do ponto de vista econômico, o mais importante é o diagnóstico prematuro das manifestações, haja visto que, pela lei de SITTER (figura 8), a intervenção tardia da construção é a principal justificativa para o elevado custo dos serviços de reparo. (HELENE apud CAVALLI; DOTAF, 2008)

Figura 8 – Gráfico da Lei de Sitter



Fonte: HELENE apud CAVALLI; DOTAF, 2008

Pela interpretação matemática do gráfico, é conclusivo que, quanto mais precoce for realizado o diagnóstico de um problema, menos oneroso será o seu reparo, sendo a relação do preço com a etapa de diagnóstico, expressa por uma progressão geométrica de grandeza cinco.

Para, Granato (2010) o diagnóstico correto, necessariamente, deve envolver o estudo e conhecimento das diferentes manifestações patológicas, sendo destacadas: o ataque por cloretos e sulfatos, carbonatação, reação álcali agregado, erosão e corrosão.

2.5.2.1 Ataque por sulfatos

De forma natural, o sulfato encontra-se presente em lençóis freáticos, rios, chuvas ácidas e no processo decomposição da matéria orgânica. No cimento a maior parte do sulfato é proveniente dos componentes anidrita (CaSO_4) e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Já do ponto de vista antropológico, o sulfato é encontrado nos efluentes sanitários. (SOUZA E RIPPER)

De acordo com Neville (1997), o sulfato apresenta-se como um agente agressivo ao concreto, apenas quando dissolvido em concentrações elevadas, na água, sendo na forma de sal, inofensivos ao concreto.

Segundo Souza (2006), dentre todas as formas de ataque por sulfatos, a mais comum é a que resulta de ataques por fontes externas onde há a infiltração de íons sulfato, pelas aberturas dos poros da pasta de cimento, para o interior da estrutura. A agressão ocorre pelo fato de o sulfato agir com o cálcio e o alumínio, componentes da pasta de cimento, para formar estruturas como a gipsita e a etringita que possuem ação destrutiva à estrutura cimentícia.

Os danos que sofre a estrutura de concreto pelo ataque por sulfatos, podem ser resumidos em: fissuração das camadas superficiais da estrutura (a) e perda de massa (b). (METHA E MONTEIRO, 1994)

- a) A Fissuração muitas vezes, está associada à reação química do íon sulfato com o componente hidratado do cimento, aluminato tricálcico (C_3A). Desta reação resulta-se a formação de etringita, que caracterizada pela extensa cadeia molecular, provoca a fissuração do concreto, devido às tensões internas de tração.

A fissuração pode ainda, estar associada, a cristalização de sais no interior da estrutura, com a evaporação da água onde se encontravam dissolvidos.

- b) A interação química entre o sulfato e o hidróxido de cálcio hidratado ($Ca(OH)_2$), resulta na formação da gipsita, que conseqüentemente, diminui a alcalinidade do concreto.

A ocorrência simultânea ou isolada das situações apresentadas é complexa e de difícil mensuração, pois depende da concentração de sulfatos no ambiente, tipo de cimento utilizado no concreto e temperatura ambiente.

2.5.2.1.1 Ataque por ácido sulfúrico

A fonte mais comum de ácido sulfúrico, que podem atacar estruturas de concreto, é oxidação de sulfetos, em centros industriais, pela ação bacteriana ou ainda pela chuva ácida. (SKALNY et al., 2002).

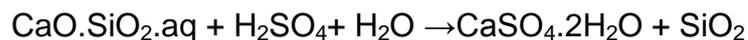
Em um primeiro momento, o ácido sulfúrico, tende a atacar o concreto, reagindo com o hidróxido de cálcio, conforme equação (1), formando a gipsita.

equação (1)



Posteriormente, o ácido reage com a fase C-S-H hidratada do concreto, conforme equação (2), formando sílica hidratada e sulfato de cálcio.

equação (2)



De forma sucinta, a sequência de reações químicas desencadeadas pelo H_2SO_4 , promove desagregação do sulfato de cálcio da pasta de cimento, desagregação de produtos da hidratação previamente formados e a formação de gipsita, etringita e sílica.

Segundo Neville (1997), em decorrência do ataque por ácido sulfúrico, o concreto apresenta:

- Aparência esbranquiçada;
- Degradação acentuada nos cantos e arestas;
- Perda de resistência, perda de massa, perda de alcalinidade e fissuração.

2.5.2.2 Corrosão por Cloretos

A presença do íon cloreto é preocupante para estruturas de concreto armado, mas não pela sua capacidade de degradação a matriz cimentícia e sim pelo alto potencial que o íon Cl^- têm de romper a camada passivadora do aço e iniciar o processo corrosão das armaduras.

Os cloretos podem estar presentes no concreto de duas formas diferentes. A primeira, através da percolação pela rede de poros da estrutura, e a segunda, involuntária, ocorre devido ao uso de aditivos aceleradores de pega a base de cloro, uso de agregados e água contaminados, ou ainda em decorrência de processos de limpeza, a base de ácido muriático. (SOUZA E RIPPER, 1998)

Segundo Neville (1997), a percolação do cloro pela porosidade do concreto, ocorre com o auxílio da água, que dissolve o íon cloreto e ainda se dispõem como o mecanismo de transporte.

Devido o perigo de corrosão das armaduras, Bauer (2000) explica que usualmente, o teor máximo de cloreto admissível é de 0,4% em relação à massa de cimento usada, para quantidades superiores, o risco de despassivação e posterior deterioração do aço, são consideráveis.

Carmona e Helene (1992) definem corrosão como o processo de degradação de um material, provocado pela sua interação química ou eletroquímica com o ambiente.

Para o início e desenvolvimento do processo de corrosão da armadura, Carmona e Helene (1992) definem como pré-requisitos:

- Diferença de potencial elétrico entre dois pontos da armadura;
- Presença de oxigênio para promover a oxidação de elétrons;
- Presença de eletrólito, em geral a água, para a passagem da corrente elétrica;
- Presença facultativa do agente agressivo.

O processo de corrosão das armaduras implica para as estruturas de concreto armado, perda de secção de aço, perda de resistência mecânica, manchas superficiais, fissuração e deslocamento do concreto. (HELENE, 1986)

Intervenções técnicas de reparo para processos corrosivos são delicadas e onerosas, portanto, a melhor opção é prevenir a iniciação do processo de corrosão, construindo estruturas com revestimento adequado, concreto de baixa permeabilidade e quando necessário, utilizar aditivos e revestimentos inibidores de corrosão. (CARMONA E HELENE, 1992)

2.5.2.3 Reação álcali agregado

As reações álcali agregado (RAA) são processos químicos expansivos de deterioração do concreto endurecido, desenvolvidos a partir da interação entre álcalis presentes no cimento (Na_2O e K_2O) e alguns compostos minerais constituintes do agregado. A ocorrência deste fenômeno é sujeita a existência de umidade, álcalis livres na matriz cimentícia e agregados reativos. (METHA E MONTEIRO, 1994)

As reações álcali-agregado dividem-se em: álcali-sílica (a), álcali-silicato (b) e álcali-carbonato (b), sendo a diferença entre elas basicamente o produto gerado pelas reações.

- a) **Álcali-Sílica:** Reação química entre álcalis presentes no cimento e a sílica presente em agregados como: Opala, calcedônia, tridimita e vidros vulcânicos. O produto desta reação é um gel alcalino higroscópico e expansivo, que na presença de quantidade suficiente de água, pode gerar a fissuração destrutiva de estrutura. (GRANATO, 2010)
- b) **Álcali-Silicato:** Este tipo de reação envolve os álcalis do cimento e o silicato presentes em agregados do tipo quartzito, granito e gnaisses. O produto final da reação também é o gel alcalino expansivo, entretanto, sua formação, é muito morosa. Valduga (2002)
- c) **Álcali-Carbonato:** É o único tipo de RAA que não produz o gel expansivo. Segundo Valduga (2002), este processo de deterioração ocorre pela combinação dos álcalis do cimento e o hidróxido de magnésio, formando hidróxidos alcalinos que desintegram os agregados carbonáticos por ataque químico. Este tipo de RAA, no enfraquecimento da zona de transição entre os agregados e pasta de cimento.

As reações álcali agregado, de maneira geral, manifestam-se, e pela fissuração desordenada da estrutura, deslocamento do concreto e exsudação do

gel expansivo. Este tipo manifestação patológica, é decorrente após o primeiro de construção. (SOUZA E RIPPER, 1998)

Para evitar o desenvolvimento de reações álcalis agregado, é sugerido a realização de ensaios laboratórios para quantificação do teor de álcalis presentes no cimento, de acordo com a NBR 7211/ 2005 o valor máximo para álcalis é de 3 kg/m³ de concreto.

Quando diagnosticado a potencialidade de ocorrência da RAA, é aconselhável a adoção de cimentos especiais, com adições de escoria de alto forno e pozolana, como o CP III AF e CP IV, respectivamente. (VALDUNGA, 2002)

2.5.2.1 Erosão

A erosão é um mecanismo físico de degradação, conceituado como o desgaste superficial e progressivo da estrutura, ocasionado pelo choque entre as partículas sólidas em suspensão nos fluídos e a estrutura. Os fluidos normalmente envolvidos no processo são a água e o vento.

A intensidade do desgaste é variável e diretamente proporcional a:

- Velocidade e regime de escoamento dos fluidos;
- Tamanho e dureza das partículas suspensas;
- Qualidade superficial do concreto, como dureza e rugosidade.

Facilmente detectado através de inspeções visuais e conhecimento operacional da construção, a erosão é frequente em obras como: canais de irrigação, canais de drenagem, escadarias de peixe em usinas hidroelétricas e em pontos de desejo de fluidos. (SOUZA E RIPPER, 1998)

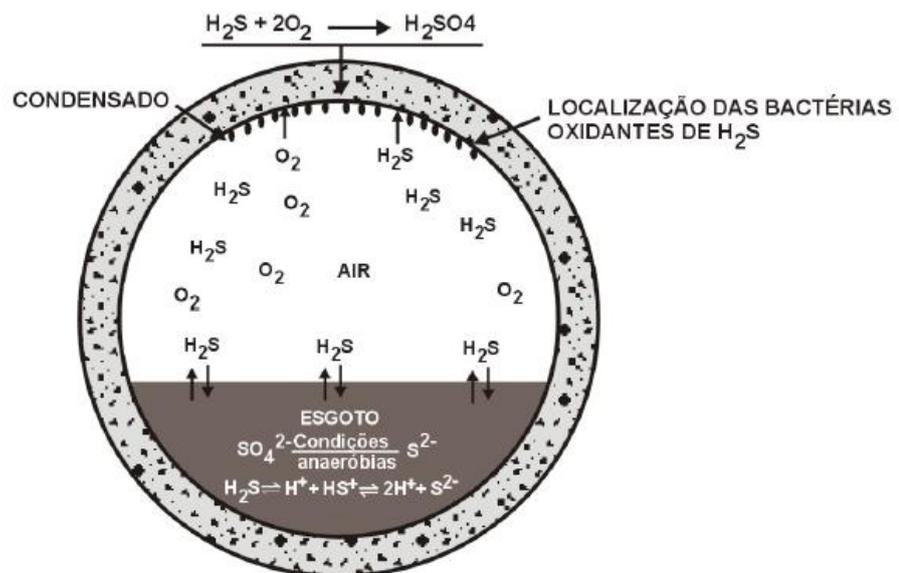
De acordo com Metha e Monteiro (1994) em obras susceptíveis a erosão, deve ser executada, concreto com boa compacidade, resistência mecânica, baixa permeabilidade e com superfície lisa. Quando julgado necessário, pode-se ainda adotar sistemas de proteção superficial, como revestimentos com membrana.

2.5.3 Deterioração do ferro fundido dúctil

2.5.3.1 Corrosão

Quando o esgoto flui no interior das tubulações com baixa velocidade e baixa tensão de arraste, inevitavelmente, tem-se o acúmulo de matéria orgânica, no fundo das tubulações, propiciando assim o desenvolvimento de colônias de bactérias anaeróbicas, que na decomposição da matéria orgânica, citada anteriormente, irá liberar como subproduto, o ácido sulfídrico (H_2S). O sistema pelo qual ocorre a concentração de H_2S nas tubulações de ferro fundido (foto 10), é idêntico, ao processo decorrente nos poços de sucção.

Foto 10: Processo de produção e concentração de ácido sulfídrico



Fonte: Takahashi (1983)

Conforme Takahashi (1983), as peças de ferro fundido expostas ao ataque direto do ácido sulfídrico e ácido sulfúrico estão sujeitas ao processo de corrosão eletroquímico, por grafitação. Caracterizado pela dissolução dos cristais de ferro puro pelos ácidos, este método dá origem ao sulfeto de ferro e carbonetos de ferro, elementos com aparência de grafite.

Para evitar a degradação precoce das tubulações e peças de ferro pela ação do ácido sulfídrico e sulfúrico, devem ser realizados tratamentos superficiais de galvanização ou com pinturas inibidoras de corrosão. Na etapa de projeto, o sistema de transporte de esgoto deve ser dimensionado para alcançar tensões tratativas de no

mínimo 1,5 Pa, a fim de evitar o acúmulo de matéria orgânica nas tubulações e conseqüente concentração de ácido sulfídrico. (TAKAHASHI, 1983)

3 METODOLOGIA

Este trabalho apresenta uma pesquisa de estudo de caso, com o objetivo principal de diagnosticar as manifestações patológicas presentes nas estações elevatórias de esgoto AMA, Brejo Comprido e Graciosa 02, construídas nos anos de 2005, 2009 e 2010 respectivamente, na cidade de Palmas, Tocantins.

Durante o desenvolvimento do trabalho, foram realizadas pesquisas bibliográficas, levantamento de dados de projeto, ensaios e análises qualitativas.

A análise qualitativa é um método indutivo para o entendimento de como o objeto em estudo se comporta e desenvolve-se, proporcionando assim a compreensão profunda do tema abordado. Dentro de uma perspectiva exploratória a abordagem qualitativa ainda permite ao pesquisador levantar hipóteses e identificar variáveis importantes no contexto estudado. (NEVES, 1996)

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A rede de coleta e transporte de esgoto municipal, administrada pela concessionária Odebrecht Ambiental, é formada por dez estações elevatórias, vide tabela 7, distribuídas no plano diretor da cidade (figura 9), sendo o bombeamento é direcionado as estações de tratamento (ETE): Vila União.

Tabela 7–Relação das estações elevatórias de esgoto de Palmas – TO.

Estação Elevatória	Localização	Tempo de Operação
E.E.E. 001	Praia do Prata	-
E.E.E. 002	Praia das Arnos	2011 - Atual
E.E.E. 003	AMA	2008 - Atual
E.E.E. 004	Vila Militar	2008 - Atual
E.E.E. 005	Atacadão	2009 - Atual
E.E.E. 006	Parque do Povo	2009 - Atual
E.E.E. 007	Brejo Comprido	2010 - Atual
E.E.E. 008	Praia da Graciosa	2010 - Atual
E.E.E. 009	Praia da Graciosa	2010 - Atual
E.E.E 010	Praia da Graciosa	-

Fonte: Próprio autor, 2015

Figura 9 – Sistema de Esgoto de Palmas, detalhe para a localização das EEE.



Fonte: Plano de Saneamento Ambiental de Palmas Tocantins, 2013

As elevatórias seguem um projeto padrão que engloba:

- Sistema de bombeamento em paralelo, com duas bombas de 10 cv (52m³/h);
- Sistema de pré-tratamento manual;
- Poço de sucção em concreto armado, cimento CP IV RS, cobertura nominal 30 mm;
- Tubulações e acessório em ferro fundido dúctil;
- Sistema de Impermeabilização por membrana de poliuretano vegetal;

Apenas a estação elevatória Brejo Comprido, por receber uma maior contribuição de efluentes domésticos, possui três bombas de 10 cv e um sistema de pré-tratamento mecanizado. (ODEBRECHT AMBIENTAL, 2015).

Considerando o curto período para realização do trabalho, foram selecionadas as três principais estações elevatórias, considerando o volume diário de efluente bombeado, para comporem o objeto de estudo do trabalho.

Nas elevatórias foram estudadas, especificamente, as estruturas de concreto armado dos poços de sucção e os acessórios de ferro fundido dúctil que desenvolveram, ao longo do período de operação, manifestações patológicas.

3.2 Pesquisa bibliográfica

Para promover o conhecimento científico referente ao tema, foi seguida a metodologia de revisão bibliográfica, caracterizada pela consulta a livros, periódicos e artigos científicos, obtidos através de buscas em bibliotecas de instituições de ensino superior e pela internet.

Este tipo de pesquisa permite ao investigador, através da experiência de pesquisadores, um estudo abrangente de todas as variáveis possíveis, que seria de maneira análoga, impossível de ser pesquisado diretamente. Entretanto, é importante escolher obras confiáveis cientificamente e que apresente a temática com realidade.

A revisão literária, como primeiro passo, é importante para definir, a linha de pesquisa que será seguida e os tópicos principais a serem estudados.

3.3 Estudo de caso

As informações pertinentes ao estudo de caso, foram obtidas através de visitas as estações elevatórias que contemplaram: inspeção visual das estruturas, levantamento histórico de problemas e realização de ensaios.

A fim de padronizar o estudo e levantamento de dados, foi adotado os procedimentos de diagnóstico patológico, preconizados por Souza e Ripper (1998), que são:

- Classificação ambiental em que a estrutura está inserida: Definir o grau de agressividade química, física e biológica que atuam sobre a construção;
- Observação e documentação das informações sobre os principais elementos da estrutura;
- Estimativa dos principais danos gerados pelo mecanismo de deterioração: Verificar o grau de desenvolvimento que a deterioração alcançou, atentando-se para a necessidade de medidas paliativas que possam ser adotadas;

- Levantamento dos principais sintomas patológicos: Documentar através de fotografias e medições as fissuras, trincas, perda de secção de aço e outros elementos;
- Identificação de erros referentes à concepção: Verificar a existência de possíveis erros construtivos, operacionais ou ainda de manutenção das estruturas. Para tanto deve ser analisado os projetos e memoriais referentes à construção, reforma e manutenção da concessionária.

Durante as visitas, ainda foram realizados, os ensaios de fenolftaleína in loco e a coleta de amostras de concreto, para posterior análise em laboratório, do teor de sulfato, pela adaptação do método “4500-SO₄ – Sulfate” da Standard Methods Committee. (CARMONA E HELENE, 1992)

3.4 Análise dos Dados

A análise dos dados obtidos durante o estudo de caso foi realizada de maneira comparativa, com os conceitos e parâmetros definidos na literatura técnica consultada. Dentre estas, destacam-se: SOUZA E RIPPER (1998), METHA E MONTEIRO (1994), HELENE (1986) e TAKAHASHI (1983), GRANATO (2010) e LICHTENSTEIN (1985).

O confronto entre as informações técnicas literárias, com as informações obtidas nas vistas as elevatórias, permitiu compreender e apresentar instrumentos suficientes, para indicar e descreveras manifestações patológicas, que foram comprovadas pelos resultados dos ensaios realizados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Classificação Ambiental

As estações elevatórias de esgoto Brejo Comprido (figura 10), AMA (figura 11) e Graciosa 02 (figura 12), estão localizadas na zona urbana de Palmas – TO, cidade a qual, não há centro industrial desenvolvido e é localizada distante de regiões marítimas.

Figura 10: E.E.E Brejo Comprido é a maior elevatória de palmas e está integrada a rede de coleta até a ETE Vila União



Fonte: Próprio autor, 2015

Figura 11: E.E.E Graciosa II



Fonte: Próprio autor, 2015

Figura 12: E.E.E AMA



Fonte: Próprio autor

Logo, avaliando o ambiente global, pode-se dizer que todas as estações elevatórias estão inseridas em uma zona de agressividade moderada com risco de deterioração pequena.

Entretanto, as diretrizes, da NBR 6118:2003, preconiza a classificação do micro clima, que é pautada nos agentes de deterioração inerentes a atividade da estrutura.

Portanto, considerando mecanismos de degradação como erosão e o ataque por agentes químicos, é plausível julgar, para as estações elevatórias de esgoto Brejo Comprido, AMA e Graciosa 02, uma agressividade ambiental forte e alto risco de deterioração.

Em referência ao cobrimento mínimo das armaduras, de acordo com a ODEBRECHT AMBIENTAL (2015), nos projetos das estações elevatórias foram adotados cobrimento mínimo de 30 mm, entretanto, para a NBR 6118/2003, o valor mínimo seria 40 mm para as paredes e 45 mm para as lajes.

A tabela 8 resume os principais parâmetros de projeto, de acordo com a NBR 6118/2003, que devem ser adotados de acordo com a agressividade ambiental das estações elevatórias.

Tabela 8: Classificação ambiental, relação água cimento e cobrimento mínimo das E.E.E. com base na NBR 6118/2003.

E.E.E.	Agress. Ambiental Global		Agress. Ambiental Microclima		Cobrimento (mm)		Relação A/C
	Classe	Risco	Classe	Risco	De Projeto	Norma	Norma
Brejo Comprido	II	Pequeno	III	Alto	30	40 - 45	$\leq 0,55$
AMA	II	Pequeno	III	Alto	30	40 - 45	$\leq 0,55$
Graciosa 02	II	Pequeno	III	Alto	30	40 - 45	$\leq 0,55$

Fonte: Próprio autor, 2015.

4.2 Identificação e Mapeamento das Manifestações Patológicas

Durante a inspeção visual das estações elevatórias, foram catalogadas as manifestações patológicas, que serão apresentadas a seguir conforme suas sintomatologias. Antes, porém, é importante ressaltar, que a comprovação das hipóteses sugeridas, serão validadas através de ensaios in loco e laboratorial.

4.2.1 Infiltrações

Na E.E.E. Brejo Comprido foi identificada uma infiltração de esgoto na junta de concretagem, localizadas no transpasse da tubulação para a parte externa do poço de sucção, de acordo com a sequência de fotos que segue.

A ocorrência desta manifestação patológica está vinculada a degradação ou ineficiência da impermeabilização. Dentre as principais consequências da infiltração estão: perda de alcalinidade do concreto, devido a lixiviação de compostos hidratados do cimento e maior propensão para ocorrência do processo de corrosão das armaduras. (SOUZA E RIPPER, 1998).

Foto 13: Junta de concretagem com infiltração, E.E.E. Brejo Comprido.



Fonte: Próprio autor, 2015.

Foto 14: Junta de concretagem com infiltração, E.E.E. Brejo Comprido.



Fonte: Próprio autor, 2015.

4.2.1 Deterioração do sistema de impermeabilização

Figura 15: Deterioração completa da camada de impermeabilização e proteção superficial de poliuretano vegetal, indícios de ataque por sulfatos. E.E.E. AMA.



Fonte: Próprio auto, 2015.

A degradação da camada de impermeabilização do concreto pode ocorrer por processos mecânicos, como a erosão ou por ataque de agentes químicos. A degradação deste tipo sistema é natural, devido o período de vida útil pequeno, que varia de 05 a 15 anos, entretanto, sua condição foi agravada pela falta de manutenção preventiva, visto que em 10 anos de operação, a estação AMA não passou por nenhum procedimento de manutenção ou restauração da impermeabilização.

Figura 16: Deterioração parcial da camada de impermeabilização e proteção superficial, indícios de ataque por sulfatos. E.E.E. Brejo Comprido.



Fonte: Próprio autor, 2015.

A E.E.E. Brejo Comprido é uma obra recente, com 6 anos de operação, entretanto o sistema de impermeabilização já está consideravelmente deteriorado, sendo necessário o seu reparo.

A estação elevatória de esgoto graciosa 02, não possui impermeabilização no poço de sucção, estando o concreto, em contato direto com agentes químicos e mecânicos de deterioração.

4.2.3 Perda de massa do concreto

A Perda de massa do concreto, com conseqüente exposição dos agregados, é característica do ataque químico por sulfatos, especificamente o ácido sulfúrico, que diminui a coesão entre os componentes do concreto. (METHA E MONTEIRO, 1994) De acordo com Pinto e Takagi (2007) o ataque por sulfatos, ocorre com maior

intensidade no teto e cantos superiores dos poços de sucção, devido o maior teor de oxigênio presente nestes locais.

De acordo com SOUZA E RIPPER (1998), a perda de massa, também pode ser provocada pelo processo mecânico de erosão, que pela sua recorrência, desgasta lentamente a superfície da estrutura. Porém, este diagnóstico, apresenta-se com plausível, apenas próximo as cotas de alagamento e nos pontos de despejo do esgoto sobre o concreto.

Figura 17: Perda de massa e conseqüente exposição dos agregados, face lateral do poço de sucção E.E.E Brejo Comprido.



Fonte: Próprio autor, 2015.

Figura 18: Perda de massa, exposição dos agregados, e aparência esbranquiçada, indícios de ataque por sulfato. Poço de sucção E.E.E Brejo Comprido.



Fonte: Próprio autor, 2015.

Figura 19: Despejo direto do efluente sanitário, sobre a parede lateral do poço de sucção AMA, ocasionando o processo de deterioração por erosão



Fonte: Próprio autor, 2015.

Figura 20 : Corrosão da superfície do concreto de um bloco de ancoragem de tubulação, Graciosa 02.



Fonte: Próprio autor, 2015.

4.2.4 Corrosão

Figura 21: trecho de tubulação substituída. Observa-se crostas de material semelhante ao grafite e ausência do revestimento de argamassa, já deteriorado.



Fonte: Próprio autor, 2015.

A corrosão das faces interna da tubulações e acessórios, são do tipo corrosão gráfitica, caracterizada pela formação de crostas de grafite nas faces da tubulação. Este tipo de corrosão ocorre após a deterioração da camada de proteção química e implica na substituição das peças, apenas se as mesmas estiverem submetidas a solicitações de alta pressão. (TAKAHASHI, 1983)

Figura 22: Trecho de tubulação ferro fundido dúctil deteriorada pelo processo de corrosão, E.E.E AMA.



Fonte: Próprio autor, 2015.

A corrosão das faces externas das tubulações é pormenorizada pela uniformidade e mecanismo eletroquímico. Nestes moldes de corrosão, a oxidação e consequente perda de secção transversal da peça, ocorrem praticamente de maneira constante. Os sistemas de proteção, seja ele a galvanização ou pinturas especiais, na prevalência das situações é eficiente para impedir o processo de corrosão, entretanto, comumente, a barreira química de proteção pode ser danificada durante o transporte ou instalação das peças, sendo necessário o reparo de imediato, que provavelmente, não foi realizado nesta situação. Em caso de degradação avançada é implicada a substituição da peça, já quando diagnosticada

precocemente a corrosão, apresenta-se viável, a limpeza da peça por jatos abrasivos e realização de nova camada inibidora de corrosão. (TAKAHASHI, 1983)

Figura 23: Tampa do equipamento de acionamento da bomba. Localizando sobre uma tubulação ligada direta ao poço de sucção, sofre ataque direto por ácido sulfídrico e sulfúrico.



Fonte : Próprio autor, 2015.

Os tampões, que fecham o acesso aos poços de sucção, foram de início, instalados sem qualquer tipo de proteção química ou física. Quando verificado o início do processo de corrosão, os técnicos optaram por envolver os tampões em fibra de vidro. (ODEBRECHT AMBIENTAL, 2015). Entretanto, trincas na camada de fibra de vidro indiciam a continuidade do processo de corrosão. A recorrência da degradação do material ocorreu devido a falhas no processo de limpeza e restauração dos tampões.

Figura 24: Tampas do alçapão de acesso ao poço de sucção. Mesmo com o revestimento de fibra de vidro, as tampas sofrem com processo de corrosão. E.E.E Graciosa 02



Fonte : Próprio autor, 2015.

4.3 Ensaaios

Para realizar o diagnóstico patológico de uma estrutura, é necessário primeiramente, o levantamento de hipóteses satisfatórias que justifiquem, o surgimento e desenvolvimento do problema estudado. Em um segundo momento, deve-se buscar a comprovação das hipóteses, por métodos cientificamente aceitos.

Foram realizados neste trabalho, os ensaios de fenolftaleína e teor de sulfato, com o intuito de comprovar o ataque por sulfatos, principal manifestação patológica apontada no estudo.

4.3.1 Ensaio indicativo de pH

A solução, 1% de fenolftaleína, é um reagente caracterizado pela capacidade de manter-se incolor em ambientes ácidos e torna-se rosa carmin em soluções

básicas. A alteração em sua coloração ocorre para valores de pH compreendidos entre 8,2 e pH 9,8.

Por essa propriedade, o ensaio com fenolftaleína, é muito usual por pesquisadores que visam se informar, sobre a ação de algum mecanismo de deterioração, como carbonatação e ataque por sulfatos.

4.3.1.1 Equipamentos

- Martelo;
- Haste metálica;
- Pincel de pelo grande;
- Solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1 por cento;
- Régua graduada.

4.3.1.2 Procedimentos

Para a realização deste ensaio, foram executados os seguintes procedimentos, em ordem cronológica:

- Abertura, em cada estação elevatória, de uma cavidade com 1,5 cm de profundidade;
- Limpeza da cavidade com pincel de pelo, para a remoção de resíduos e jatos de ar;
- Borrifar a solução alcoólica de fenolftaleína;
- Analisar a coloração a coloração da fenolftaleína;
- Medir, com régua graduada em mm, a profundidade do concreto com pH alcalino.

4.3.1.3 Resultados

O concreto analisado, apresentou redução da alcalinidade do pH, área sem coloração rosa-carmin, até a profundidade de 11 mm (foto 22).

Figura 25: Realização do ensaio de fenolftaleína, indicador mostra redução da alcalinidade na camada superficial, E.E.E Brejo Comprido.



Fonte: Próprio autor, 2015.

Figura 26: Realização do ensaio de fenolftaleína, indicador mostra redução da alcalinidade na camada superficial, E.E.E AMA.



Fonte: Próprio autor, 2015.

4.3.2 Teor de sulfatos

O ensaio de teor de sulfato é um procedimento qualitativo, que permite ao pesquisador o conhecimento da quantidade do íon, no concreto. Concentrações elevadas de sulfato, geralmente ocasiona no desenvolvimento de fissuras, perda de massa e corrosão das armaduras de concreto armado, prejudicando, logicamente, a durabilidade das estruturas.

A adaptação do método “4500-SO₄-Sulfate” da Standard Methods Committee, apresentada por Carmona e Helene (1992), permite através do ensaio de várias amostras, coletadas de profundidades diferentes, classificar a origem do sulfato presente no concreto, como oriundo da contaminação, durante a execução, ou de origem externa, através do ataque de sulfatos.

4.3.2.1 Materiais e equipamentos

- Amostras de concreto moído, 5 g cada. As amostras foram coletadas em profundidades de 0,5 cm; 1,0 cm e 1,5 cm, respectivamente;
- Balança de precisão igual ou superior a 0,001 mg;
- Estufa com capacidade de aquecimento de no mínimo 105° C;
- Água destilada em temperatura ambiente e aquecida;
- Papel filtro de porosidade média;
- 10 ml de ácido clorídrico, para cada amostra;
- 10 ml de cloreto de bário, para cada amostra;
- Mufla, com capacidade de aquecimento mínimo de 800°C.

4.3.2.2 Procedimentos

O ensaio foi realizado no laboratório de química, do CEULP/ULBRA, sob supervisão do técnico de laboratório, responsável pelo local. De acordo com Carmona e Helene (1992) as atividades executadas para a determinação do teor de sulfato, foram:

- Manter a amostra de concreto moído em estufa por 2 horas, para remover a umidade;

- Adicionar a uma proveta, a amostra de concreto, 25ml de água destilada e posteriormente 10ml de ácido clorídrico e aguarde a reação completa da solução;
- Adicionar 50 ml de água destilada quente e deixe descansar em banho-maria por 15 minutos;
- Filtrar o material utilizando papel filtro de porosidade média, acrescentando água destilada até completar o volume total de 250 ml;
- Aquecer o material até a ebulição, adicionando gota a gota uma solução quente de 10 ml de cloreto de bário;
- Deixar o recipiente tampado em descanso por um intervalo entre 12 horas a 24 horas;
- Filtrar a amostra com papel filtro de baixa porosidade;
- Lavar o papel filtro com água quente até o desaparecimento dos cloretos;
- Transferir o papel filtro, contendo o precipitado para um cadinho de porcelana previamente tarado e deixá-lo na mufla, a 800°C por 2 horas;
- Pesar a amostra de modo a obter o teor máximo de sulfato.

Figura 27: Amostras de 5g após secagem em estufa.



Fonte: Próprio autor, 2015

Figura 28: Cloreto de Bário usado no ensaio e amostras, ao fundo, após a reação.



Fonte: Próprio autor, 2015

Figura 29: Amostras após calcinação a 800°C na mufla.



Fonte: Próprio autor, 2015

4.3.2.3 Resultados

Para transformar o Sulfato de Bário para Sulfato deve-se levar em consideração as massas atômicas de sulfato no sulfato de bário. Para tanto, aplica-se a equação (1).

$$SO_4(\%) = \frac{M_{calcinada} \times 0,4116}{M_{amostra}} \times 100$$

equação (1)

Os resultados do ensaio, em todas as amostras, estão expressos na tabela 9.

Tabela 9: Resultados do ensaio de teor de sulfato.

Profundidade da Amostra (cm)	Amostra - Brejo Comprido (gr)	Teor de Sulfato (%)	Amostra AMA	Teor de Sulfato (%)	Amostra Graciosa 02	Teor de Sulfato (%)
0,5	0,120	0,98	0,145	1,19	0,095	0,78
1	0,06	0,49	0,0725	0,60	0,05	0,42
1,5	0,047	0,38	0,0377	0,31	0,046	0,378

Fonte: Próprio autor, 2015.

4.4 Diagnóstico

Confrontando as informações técnicas, obtidas no estudo bibliográfico com os dados obtidos no estudo de caso é possível pressupor que os mecanismos de deterioração das estações elevatórias de esgoto estão associados à presença do íon sulfato (SO_4) e mais especificamente o ácido sulfúrico, portanto, caracterizado o ataque por sulfatos.

A hipótese estabelecida, foi confirmada através da realização de ensaios, como o de fenolftaleína, que indicou a queda de alcalinidade do concreto (uma das sintomatologias do ataque por sulfatos) e em um segundo momento, o ensaio de determinação do teor de sulfatos, que mais uma vez indicou para a presença do íon SO_4 , haja visto que, a grandeza da substância, encontrada para todas as amostras até 0,5 cm de profundidade, foram maior do que a quantidade limite de sulfato permitida (0,046%). Os furos de profundidades correspondentes a 1,0 cm e 1,5 cm apresentaram uma queda significativa no quantitativo de sulfatos, permitindo concluir, que a deterioração ainda não avançou de modo significativo.

5 CONCLUSÕES

A análise das estações elevatórias de esgoto representa na prática a correlação abordada por Souza e Ripper (1998), entre a durabilidade das estruturas e os fatores pertinentes a sua concepção e operação, tais como: agressividade ambiental, práticas construtivas, escolha de materiais empregados e programas de manutenção periódica.

No desenvolvimento do trabalho, foi possível identificar manifestações como corrosão das tubulações e peças metálicas, degradação dos sistemas de impermeabilização, infiltrações e em casos mais avançados de degradação, a corrosão da superfície do concreto nos poços de sucção. A ocorrência destas manifestações está associada à agressividade ambiental propiciada pelo esgoto sanitário, que indiretamente, ocasiona na formação e concentração de ácido sulfídrico (H_2S) e sulfúrico (H_2SO_4), agressivos ao concreto e ao ferro. Simultaneamente a agressividade ambiental própria da estrutura, pode-se ter vícios construtivos, como, juntas de concretagem mal executadas e ainda falhas operacionais, que colaboram para novos processos de deterioração.

A estação elevatória AMA, em operação desde 2008, foi à elevatória que apresentou as condições mais severas de degradação, incluindo: deterioração uniforme da resina de impermeabilização, perda de massa, exposição dos agregados, ocorrência de processos de erosão, elevado teor de sulfato no concreto, perda de alcalinidade, corrosão das tubulações e tampas de ferro fundido.

A elevatória Brejo Comprido possui a maior estrutura e demanda de bombeamento dentre as estruturas estudadas, em operação desde 2010, foram identificadas manifestações patológicas como deterioração pontual do sistema de impermeabilização, perda de massa, exposição dos agregados em pontos específicos, infiltração nas juntas em concretagem, elevado teor de sulfato, perda de alcalinidade e corrosão das tubulações e tampas de ferro.

Na elevatória Graciosa II, a de menor porte físico e operacional dentre as estudadas, foi identificado: perda de alcalinidade, elevado teor de sulfato na camada superficial da estrutura, processos de erosão e corrosão das tubulações e tampas de ferro. Entretanto, no concreto não foram visíveis manifestações patológicas como a perda de massa significativa e exposição de agregados.

Pelo fato das estações elevatórias seguirem o mesmo projeto de construção e descrições de materiais empregados, pode-se concluir que a ocorrência e amplitude das manifestações patológicas estão associadas diretamente ao tempo de operação da construção e a quantidade de efluente sanitário que a mesma recebe. Esse último ponto irá influenciar diretamente na concentração dos principais agentes agressivos, o ácido sulfídrico e ácido sulfúrico.

Neste tipo de trabalho, o conhecimento dos conceitos e abordagens teóricas mostra-se como ferramenta eficaz para identificação de irregularidades e elaboração de hipóteses, todavia, no processo de diagnóstico e comprovação científica a análise qualitativa (ensaios) da conjuntura real, sugere maior eficiência e segurança. Ressalva-se ainda, que a nível nacional, é importante a criação de normas que padronize e defina métodos de ensaios voltados para o diagnóstico, como o de teor de sulfatos.

Para evitar gastos e maiores problemas com serviços de recuperação, pode-se concluir que, compete ao engenheiro, no nível de projeto, prever as solicitações que serão atuantes na estrutura e em conformidade a tal, determinar medidas mitigadoras e propriedades das construções, como compacidade, relação água cimento, cobrimento das armaduras e sistemas complementares proteção.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento do estudo e elaboração do trabalho a visão sistêmica a respeito do estudo patológico e de suas variáveis são aprofundadas sendo natural o surgimento de ideias para estudos futuros que irão complementar as conclusões e ideias apresentadas neste trabalho. Simultaneamente é evidenciado ao pesquisador falhas e áreas que ainda foram pouco abordadas cientificamente.

Um estudo experimental sugerido seria a análise comparativa, em laboratório ou nas próprias estações elevatórias, do comportamento de corpos de provas confeccionados com diferentes tipos de cimento, incluindo o RS. Neste estudo poderia ser estudada a eficiência dos diferentes tipos de cimento ao ataque por sulfatos.

O mesmo estudo poderia ser desenvolvido, mas levando-se em consideração revestimentos betuminosos para concretos ou os diferentes tipos de aço e ferro ofertados no mercado da construção civil.

Mais uma sugestão para futuros trabalhos é a retirada de testemunhos de concreto das E.E.E. para análise laboratorial: microscopia eletrônica de varredura – MEV, reconstituição de traço, análise de resistência, entre outros ensaios.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. das G. A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: Seropédica, Editora Universidade Rural, 2000, p. 49-50.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 201**: Manual of Concrete Practice. Detroit-USA, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. São Paulo, 2009, p. 7-8. Disponível em: <www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/press_kit.pdf>. Acessado em 23 abril 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12208**: Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para Concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

BATTAGIN, A. F. **Cuidados ao construir em áreas litorâneas**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/cuidados-ao-construir-em-areas-litoraneas>>. Acesso em: 06/04/11.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**: Novos Materiais Para Construção Civil. 5º Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BOIÇA, S. M. R. **Desempenho de estruturas em concreto**: proposta de modelo de análise comparativa entre sistemas construtivos: estudo de caso. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CARMONA, A. HELENE, P. **MANUAL PARA DIAGNÓSTICO DE OBRAS DETERIORADAS POR CORROSÃO DE ARMADURAS**. 2º Edição. São Paulo. Editora PINI, 1992.

CARVALHO, J. D. N. **Sobre as Origens e Desenvolvimento do Concreto**. Maringá, 2008, p. 20 – 22.

CAVALLI, A. F.; DOTAF, T. S. **Avaliação da degradação do concreto devido à contaminação das águas por esgoto doméstico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Patologias nas Obras Civas) – Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2008

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da ilha do governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. 2000. 89 p. Mestrado - Fundação Oswaldo Cruz / Escola Nacional De Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2000.

COMPANHIA ESTADUAL DE HABITAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS. **Tubos e Conexões de Ferro Fundido Dúctil**. Aracaju. Disponível em <<http://187.17.2.135/orse/esp/ES00102.pdf>> Acessado em 08 de out de 2015.

FERNANDES, C. **Esgotos Sanitários**, 1º edição. João Pessoa. Ed. Univ./UFPB, 1997.

FOZ/SANEATINS. Disponível em < <http://www.fozsaneatins.com.br>> Acesso em 01 de maio de 2015.

GRANATO, J. E. **Patologia das Construções**. Disponível em:<<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf>> Acesso em: 08 mar. 2015.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. 3º reimpressão (fev. 96). São Paulo, PINI, IPT, 1986.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª Edição – Rio de Janeiro, 2005.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções**: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações: São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 1985

LIMA, M. G. **Concreto**: Ensino, Pesquisa e Realizações.1. Ed. São Paulo: IBRACON, 2005. V1. Cap 1, p.1.

MATHENY, F. M.; BILLETER, J. J. **Revestimento de Tubulações no Local com Argamassa de Cimento**: Sua história, desenvolvimento e técnica atual. Revista D.A.E. São Paulo, ed. 87, 1974.

METHA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **CONCRETO**: Estruturas, propriedades e materiais. 1º Edição. São Paulo. Editora PINI, 1994.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Esgotamento sanitário**: Operação e Manutenção de Estações Elevatórias de Esgotos guia do profissional em treinamento: nível. Brasília, DF, 2008, p. 13-21.

MOREIRA, M. F.; SUSANA, G. M. **Ferros fundidos**. Grande Enciclopédia Portuguesa e Brasileira, vol. XI, Lisboa- Rio de Janeiro, 2013.

NEVES, J. L. **Pesquisa Qualitativa** - Características, uso e possibilidades. Caderno de Pesquisas em Administração, São Paulo, v.1, n°3, 2° SEM./1996

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. Traduzido por Salvador Eugênio Giammusso. 2° ed. São Paulo. Editora PINI, 1997.

PINTO, J.; TAKAGI, E. M. **Sistemas de impermeabilização e proteção para obras de saneamento**. Revista Concreto e Construções (IBRACON), São Paulo, n. 47, p. 73-79, jul./set. 2007.

PEDROSO, F. L. **Concreto**: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. *Concreto e Construções*, São Paulo, ed. n° 53, p. 14, 2009.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13. Ed. São Paulo: Globo, 1998, p. 1 – 81.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMAS. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas – TO**: Volume II: Água e Esgoto. Palmas, TO, 2013.

SANTOS, S.; SAGAVE, A. M. **A Deterioração das Estruturas**. Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí: Editora Universitária, 2003.

SARZEDAS, G. L. **Planejamento Para Substituição de Tubulações em Sistemas de Abastecimento de Água**. Aplicação na rede de distribuição de água da região metropolitana de São Paulo. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SOUZA, R. B. de. **Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque por sulfatos – Método de ensaio acelerado**. São Paulo, 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1° Edição. São Paulo. Editora PINI, 1998.

SKALNY, J.; MARCAND, J.; ODLER. **Sulfate attack on concrete**. 1. Ed. London: Son Press, 2002.

TAKAHASHI, A. **Sulfetos em Interceptores de Esgotos:** Ocorrência, Medidas Preventivas e Corretivas. São Paulo, 1983, 108p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica – USP.

TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. **Princípios Básicos Sobre Concreto de Cimento Portland.** 1°. Ed. São Paulo: PINI: IBRACON, 1990.

VALDUGA, L. **Reação Álcali-agregado:** Mapeamento de agregados reativo do estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Escola de Engenharia Civil, Campinas- SP, 2002.