



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Juliana Lisboa da Cruz Montel

**CONTRIBUIÇÃO PARA O DIAGNÓSTICO DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS  
METÁLICAS NO TRATAMENTO PRELIMINAR DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO  
DE ESGOTO**

Palmas  
2016



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Juliana Lisboa da Cruz Montel

## **CONTRIBUIÇÃO PARA O DIAGNÓSTICO DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS NO TRATAMENTO PRELIMINAR DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

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

Palmas  
2016



# CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Juliana Lisboa da Cruz Montei

## CONTRIBUIÇÃO PARA O DIAGNÓSTICO DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS NO TRATAMENTO PRELIMINAR DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Dênis Cardoso Parente.

Aprovada em 10 de Novembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

Prof. Esp. Rafael Alves Amorim

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

Prof. Esp. Daniel Iglesias de Carvalho

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA

Palmas  
2016

## DEDICATÓRIA

AOS MEUS ALICERCES,  
,  
PELO AMOR INCONDICIONAL.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu agradecimento primordial não poderia deixar de ser a Deus, pois foi aquele que me guiou até aqui, me mostrando sempre o caminho certo a seguir.

Agradeço ao meu pai Antônio, meu herói, guerreiro, por sempre me incentivar e me dizer as palavras certas que me encorajam e acalmam; a minha mãe Jakeline, pela preocupação diária, companheirismo e amor incondicional; meu irmão, João Victor, por todo o amor, carinho, colaborou para concretização desse sonho; ao meu namorado Murilo, pela paciência, companheirismo e dedicação, muito obrigada a vocês pelo esforço, para que juntos possamos concretizar esse sonho, essa vitória é de vocês.

Agradeço aos meus avós, tios e tias, aos primos, amigos. Enfim a toda minha família, por todos os exemplos de honestidade, luta e superação.

E as pessoas especiais que conheci durante essa jornada, que de forma direta ou indireta tenham cooperado para essa conquista.

Ao meu orientador, Prof. Denis Cardoso Parente, pela paciência e contribuição neste trabalho.

Aos mestres com seus ensinamentos, foram de extrema importância nesta jornada acadêmica.

A todos vocês serei grata eternamente!

## RESUMO

A agressividade do meio no qual estão inseridas as estruturas de aço pode gerar uma redução do período em que as mesmas apresentam desempenho satisfatório, ou seja, sua vida útil. As estações de tratamento 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 de esgoto bruto. Como objeto de estudo tem-se a estação de tratamento de esgoto Norte 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 e escolha do material adequado, observou-se a predominância da corrosão das estruturas em aço, apresentando-se em diferentes níveis. 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. Aço. Esgoto. Patologia.

## **ABSTRACT**

The aggressiveness of the environment in which the steel structures are inserted can create a reduction of the period that they have satisfactory performance, is its useful life. The sewage treatment plants are classic examples of environments with high aggressiveness due to the presence of wastewater, rich in sulphates and other byproducts of the decomposition of raw sewage. This study aims to identify the pathological manifestations caused by this aggression raw sewage stations. As the object of study has been the North sewage treatment plant in operation in the city of Palmas-TO, operated by the local sanitation concessionaire Odebrecht / Saneatins. The results indicate the occurrence of certain pathological manifestations linked to aggressive environment and select the appropriate material, noted the predominance of corrosion of steel structures, performing at different levels. However, mitigation measures and the adoption of correct materials contain the rapid advance of these events, which do not affect considerably the life of the structures.

**KEYWORDS:** Aggressiveness. Steel. Sewage. Pathology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de tratamento de Esgoto de Palmas, detalhe para a localização da ETE.....	30
Figura 2 – Planta Geral da ETE com localização do tratamento preliminar. ....	31
Figura 3 - Eletroduto em aço galvanizado .....	35
Figura 4 - Peças em aços inoxidáveis, no gradeamento do esgoto. ....	36
Figura 5 - Guarda-Corpo em fibra de vidro .....	37
Figura 6 - Impermeabilização de resina vegetal no concreto .....	38
Figura 7 – Parafuso com arruela corroída.....	39
Figura 8 - Equipamento em aço inox, onde há um parafuso em aço galvanizado corroído. ....	39
Figura 9 – Base da coluna do guarda corpo corroída. ....	41
Figura 10 – Guarda corpo com a camada de proteção química deterioração.....	42
Figura 11 – Tubulação de passagem de eletroduto totalmente corroído .....	43
Figura 12 - Equipamento que serve para rolagem do desarenador. ....	43
Figura 13 – Corrosão nas frestas da tubulação de eletroduto a caixa de passagem. ....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Manifestações patológicas em estruturas de aço.....	23
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/C – Fator Água Cimento

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – American Concrete Institute

AESBE – Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento

CB – Comitê Brasileiro

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

EBC – Empresa Brasil de Comunicação

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

G – Gramas

H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – ácido carbônico

H<sub>2</sub>S – Sulfeto de Hidrogênio

L – litros

M – Metros

MG/L – miligrama

NBR – Norma Brasileira Regulamentar

UASB – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de lodo

SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre

VU – Vida Útil

VUP – Vida Útil de Projeto

## Sumário

1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1Objetivos. ....	12
1.1.1Objetivo Geral.....	12
1.1.2Objetivos Específicos .....	12
1.2Justificativa.....	12
1.3Problema.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
2.1 Estações de Tratamento de Esgoto .....	14
2.2 Esgoto.....	14
2.2.1 Agressividade do Esgoto Sanitário.....	15
2.2.2 Durabilidade das Estruturas .....	16
2.2.3 Agressividade Ambiental .....	16
2.3 Patologia .....	18
2.3.1 Estudo patológico .....	18
2.3.2 Ataque por sulfatos.....	19
2.3.3 Ataque por ácido sulfúrico .....	19
2.3.4 Carbonatação .....	20
2.3.5 Corrosão por Cloretos .....	21
2.4 Estrutura metálicas.....	22
2.4.1 Manifestações patológicas em estruturas de aço.....	22
2.4.2 Tipos de aços estruturais .....	24
2.4.3 Meios corrosivos.....	26
2.4.3.1 Atmosfera .....	26
2.4.3.2 Água .....	27
2.4.3.3 Solo .....	27
3 METODOLOGIA.....	29
3.1Caracterização da Área de Estudo.....	29
3.2Pesquisa bibliográfica.....	31
3.3 Estudo de caso.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	33
4.1 Classificação Ambiental .....	33
4.2 Utilização de matérias inadequados.....	34
4.3 Identificação e Mapeamento das Manifestações Patológicas .....	38
4.2.1 Corrosão.....	39
4.2.1.1 Corrosão pontual .....	39
4.2.1.2 Corrosão por placas .....	40
4.2.1.3 Corrosão Uniforme .....	42
4.2.1.4 Corrosão por Frestas.....	44
5 CONCLUSÕES .....	46
Referências Bibliográficas .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

É primordial conhecer o meio ambiente em que será inserida a estrutura metálica, pois isso interfere na durabilidade, resistência e vida útil do mesmo, devido alguns ambientes agirem de maneira agressiva, assim a mais possibilidade de um surgimento precoce de patologias.

A NBR 15.575-1/2013, Norma de desempenho – Edificações habitacionais, estabelece padrões de durabilidade como, a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas.

A mesma NBR 15.575-1/2013, diferencia a Vida Útil (VU) e Vida Útil de Projeto (VUP) para evitar que seja confundida, a VUP é uma estimativa teórica de tempo que este compõe a vida útil. O período de VU pode ou não ser confirmado em função da eficiência e registro das manutenções, de alterações no entorno da obra, fatores climáticos, etc.

Segundo HELENE (2001), o período que consiste entre o término de uma construção e o aparecimento de sua primeira patologia e chamado de vida útil.

O setor de saneamento conta com grandes investimentos, na ordem de bilhões, do governo federal, nas construções de estações de tratamento de esgoto, e muitas vezes essas obras apresentam a deterioração ou o surgimento de patologias relativamente precoce de estruturas recentes remete aos porquês das patologias do concreto e estruturas metálicas, resultantes de uma somatória de fatores, dentre os quais, citam se: erros de projeto e de execução, inadequação dos materiais, má utilização da obra, agressividade do meio ambiente, falta de manutenção e ineficiência ou ausência de controle da qualidade na Construção Civil (BRANDÃO & PINHEIRO, 1999).

Conforme dados da empresa Brasil de comunicação EBC (2015) o governo tem investido pouco “comparado ao desafio” que tem pela frente, os investimentos em saneamento no país, em 2013, foram da ordem de R\$ 10,47 bilhões. Houve um investimento de R\$1.69 bilhão a mais em 2014 comparado a 2013. Esse foi o maior investimento desde 2007. 82,5% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada, mais ainda são mais de 35 milhões de brasileiros sem o acesso a este serviço básico. Para universalização da água e dos esgotos esse custo será de R\$ 303 bilhões em 20 anos.

De acordo com o Portal Brasil (2016), no ano de 2004, o Brasil investiu R\$ 3,1 bilhões em saneamento, o que abrange empreendimentos para ampliar a oferta de água potável e no tratamento de esgoto. Em 2014, o aporte foi de R\$ 12,2 bilhões, o que representou elevação de 293% na comparação com 2004. Isso possibilitou, somente em 2014, a inclusão por 3,5 milhões de brasileiros que estavam fora da rede de coleta de esgoto.

Nesse contexto a presente pesquisa toma como cenário a Estação de Tratamento Norte (ETE NORTE), fazendo um estudo da origem de patologias, devido à agressividade do meio em que se encontra inserido as estruturas metálicas, buscando sugestões para ampliar o tempo de vida útil dessas estruturas.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Diagnosticar das patologias em estruturas metálicas do tratamento preliminar de estação de tratamento de esgoto da cidade de Palmas Tocantins.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Ressaltar a importância do diagnóstico e o estudo da origem de problemas estruturais decorrentes da exposição ao esgoto;
- Mapear patologias presentes nas estruturas metálicas do tratamento preliminar de esgoto da estação de tratamento em estudo;
- Analisar parâmetros de projeto e sua influência no desenvolvimento de patologias;
- Propor medidas de manutenção preventivas;

## **1.2. Justificativa**

A escolha desse tema está relacionado a um problema comum aos ambientes de tratamento preliminar, estes estão presentes com frequência também nas Estações de Tratamento de Esgotos ETE's sendo que a reconstrução ou substituição das partes constituintes dos sistemas de tratamento de esgoto, desde as tubulações coletoras, poços de visitas, entrada das ETE's (gradeamento e desaerador), e principalmente tratamento preliminar, apresentam um custo muito elevado em obras, pois devido a esse módulo da ETE receber o esgoto bruto, sendo o primeiro tratamento que se passa o esgoto, é mais susceptível a deterioração. Assim, o estudo das patologias devido ao ataque de sulfatos em estruturas metálicas torna-se interessante e desafiador.

Pinto e Takagi (2007) enfatizam o efeito erosivo da água com partículas sólidas e principalmente a ação de bactérias em sistemas de tratamento de esgoto, que costuma ocasionar grandes problemas de corrosão.

Avaliando que estamos diante de uma construção com aproximadamente 5 anos de concluída e por ser uma das maiores estações de tratamento de esgoto da região norte, com capacidade máxima de tratar, até 800 mil litros por segundos dos efluentes, alto investimento em modernas tecnologias de tratamento, assim surge a necessidade de um estudo de patologias que surgiram ao longo desses anos para as devidas manutenções, com isso a possibilidade de um estudo relevante para a durabilidade e vida útil da estrutura.

Esta perspectiva, aliada a falta de normalizações referentes à temática levantada, motiva a execução deste trabalho acadêmico.

### **1.3. Problema**

“Patologia pode ser entendida como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema”. (HELENE, 1992).

Saber quais as contribuições para os diagnósticos das patologias em estruturas metálicas em estação de tratamento de esgoto é essencial para viabilizar o desempenho da construção.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Estações de Tratamento de Esgoto**

Pode ser denominadas estações de tratamento de esgoto os “conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento”. (NBR 12209/1992)

Segundo a Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento (AESBE), (2015) a eficiência de uma estação de tratamento de esgotos é definida pelos diferentes níveis de purificação até a desinfecção final. O processo de descontaminação das impurezas inclui tratamento primário, secundário e terciário.

O tratamento primário envolve a remoção de sólidos grosseiros através de uma grande peneira e também a retirada numa caixa retentora de areia, de óleos e graxas.

O tratamento secundário, por sua vez, destina-se ao tratamento da matéria orgânica através de bactérias que efetuam sua decomposição, juntamente com o processo de adição de oxigênio.

Depois dessa etapa, os sólidos produzidos são removidos nos decantadores e, posteriormente, submetidos à secagem e disposição adequada. No entanto, o efluente (líquido resultante) do tratamento secundário ainda possui Nitrogênio e Fósforo, realizando assim, o tratamento terciário, que elimina quase que totalmente esses elementos, resultando num efluente com alto nível de pureza.

### **2.2 Esgoto**

Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986) esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária.

Os esgotos oriundos de uma cidade são basicamente originados de três fontes distintas (VON SPERLING, 1996):

- Esgotos domésticos: oriundos dos domicílios bem como de atividades comerciais e institucionais de um a localidade;

- Águas de infiltração: ocorrem através de tubos defeituosos, conexões, juntas ou paredes de poços de visita;
- Despejos industriais: advindo das indústrias é função precípua do tipo e porte da indústria processo, grau de reciclagem, existência de pré-tratamento dentre outros.

O esgoto sanitário contém, aproximadamente, 99,9% de água. O restante, 0,1%, é a fração que inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como os microorganismos.

### 2.2.1 Agressividade do Esgoto Sanitário

Em meio ambiente agressivo, como o que existe em um esgoto com atmosfera confinada, sem ventilação, em regime turbulento, acarreta a corrosão devido às águas residuárias, tanto domésticas quanto industriais carregam consigo uma série de ácidos orgânicos voláteis que inevitavelmente atritam-se com as paredes de concreto.

Com relação às estações de tratamento de esgoto, destaca-se a degradação de estruturas de concreto devido à ação de compostos de enxofre e de bactérias (LIMA, 2005).

Em se tratando de concreto e estruturas metálicas, para saneamento, o conceito de durabilidade é ainda mais relevante, uma vez que o ambiente é bastante agressivo e a paralisação dos sistemas de esgoto, é sempre complexa.

Conforme previsto na NBR 6118, em seu item 6 – “Diretrizes para a durabilidade das estruturas de concreto”, pode-se enquadrar as obras de saneamento, em contato com água tratada ou esgoto, nas classes III ou IV, conforme a tabela 6.1 “Classes de agressividade ambiental”. Com base nesta classificação, a NBR 12.655, em sua tabela 2 “Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto”, estabelece, para a Classe de agressividade III, relação água/cimento  $\leq 0,55$  e para a classe IV, relação água/cimento  $\leq 0,45$ . Mas falta uma norma da ABNT específica sobre concreto para obras de saneamento.

As estações de tratamento de esgoto colocam o concreto em contato com sulfatos e ácidos agressivos provenientes da decomposição nos tratamentos

anaeróbios da matéria orgânica – além do ataque superficial, pequenas fissuras de retração podem acelerar significativamente o surgimento de manifestações patológicas nessas estruturas.

Pinto e Takagi (2007) enfatizam que a agressividade nas tubulações de esgoto é muito maior sobre o nível d'água devido à presença de oxigênio, causando corrosão mais intensa na parte superior das tubulações ou nos tetos das estruturas de armazenamento de esgotos.

### 2.2.2 Durabilidade das Estruturas

A durabilidade é definida como a sua capacidade de resistir á ação das intemperes, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, a estrutura durável conservara a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente.

Visto que a durabilidade de uma estrutura depende de suas características considera-se que a estrutura mantém as características iniciais de projeto até o grau de deterioração atingir um certo limite (mínimo aceitável) que irá depender de inúmeros fatores tais como: tipo de elemento estrutural (viga, pilar, etc.), do aspecto exterior (estético), entre outros.

Devido à evolução nos estudos, pesquisas e a tecnologia avançada o conhecimento de deterioração das estruturas avançou e a normalização esta na direção certa para se obter concretos adequados à durabilidade. (NORMA NBR 6118/2014)

A durabilidade de uma estrutura está intimamente ligada à escolha (e aplicação) adequada de um sistema de proteção, (pintura, galvanização, proteção catódica, etc.), sua correta aplicação e também do detalhamento de projeto.

### 2.2.3 Agressividade Ambiental

A agressividade do ambiente está relacionada às ações físicas e químicas onde a estrutura esta inserida, que independem das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e de outras previstas no dimensionamento das estruturas. A agressividade ambiental pode ser

avaliada segundo o ponto de vista da durabilidade da armadura e da durabilidade do próprio concreto.

A norma 6118 estabelece quatro classes de agressividade para classificar a exposição da estrutura de concreto, são elas: fraca, moderada, forte e muito forte.

- A Classe de agressividade 1 é dita como Fraca; e são as estruturas expostas a uma atmosfera mais limpa não sofrem com as agressões químicas decorrentes da poluição urbana, como a chuva ácida, por exemplo. O risco de deterioração da estrutura é insignificante. Por isso, é possível utilizar uma camada menos espessa de concreto sobre as armaduras. Enquadram-se nesse grupo as edificações implantadas em ambientes rurais.
- A Classe de agressividade 2 (Moderada); são os ambientes mais expostos a agressões ambientais, como as provenientes do gás carbônico e dos cloretos presentes no ar. Mas não há tanta umidade constante e o risco de deterioração da estrutura é pequeno. Nesse grupo enquadram-se as estruturas construídas nas cidades, residenciais e comerciais.
- A Classe de agressividade 3 (Forte); nessa categoria estão as edificações expostas à atmosfera marinha, como as construções em cidades litorâneas. Também estão algumas indústrias. Com maior teor de umidade, esse tipo de ambiente possui atmosfera com agentes agressivos mais concentrados. A velocidade de corrosão em ambiente marinho pode ser da ordem de 30 a 40 vezes superior à que ocorre em atmosfera rural.
- A Classe de agressividade 4 (Muito Forte); nesse grupo estão as estruturas implantadas em locais úmidos, dentro de indústrias, ou diretamente em contato com a água do mar. Esse tipo de ambiente é extremamente agressivo ao concreto e às suas armaduras. Daí a necessidade de maior proteção.

Battagin (2010) relata algumas maneiras de prevenir possíveis manifestações patológicas: uso de concretos menos permeáveis, com baixa relação a/c, uso de cimentos de alto-forno, pozolânicos ou resistentes aos sulfatos, que apresentam um comportamento mais favorável com relação à durabilidade.

## 2.3 Patologia

“A patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema”. (HELENE, 1992, p. 19).

O emprego da palavra patologia, tanto entre leigos como no meio técnico é erroneamente empregada quando na verdade pode ser chamado de manifestação patológica, que podem ser exemplos: fissura e corrosão. Já a patologia é a origem e as causas dessas manifestações.

Segundo HELENE, os problemas patológicos normalmente são provocados pela ação de agentes agressivos, ao qual a edificação não é capaz de se adaptar. Raramente a ação do agente agressivo tem valor absoluto. Entre várias edificações expostas à ação das mesmas condições de exposição, algumas passam a apresentar problemas patológicos e outros não, e, além disso, entre aquelas que os apresentam, umas apresentam um quadro grave, enquanto que outras apresentam um quadro atenuado.

### 2.3.1 Estudo patológico

Quando uma edificação apresenta algum problema em sua estrutura, podem surgir sinais externos, sintomas, indicando que algo não está correto. Algumas vezes esses sinais externos demoram a aparecer e outras podem ser imperceptíveis à maioria dos leigos. Estes sinais devem ser analisados por profissionais experientes que poderá dar o diagnóstico sobre aquela manifestação ou problema patológico.

Muitas vezes as manifestações patológicas surgem pela falta de manutenção preventiva que mantem o desempenho das estruturas garantindo sua vida útil. Mais também possa vim a ser de problemas no projeto, execução das estruturas e utilização.

Para se efetuar um diagnóstico de uma manifestação patológica, faz-se necessário realizar, uma inspeção visual, fazer uma coleta de dados, identificando todos os sintomas observados, assim como sua localização e intensidade.

E posteriormente com os resultados obtidos na coleta de dados, dar se o diagnóstico e as possíveis causas das manifestações, designando suas soluções e manutenções corretivas.

Segundo SOUZA & RIPPER (1998), de uma maneira geral, as dificuldades técnicas para solucionar um problema patológico originado de uma falha de projeto são diretamente proporcionais à antiguidade da falha, ou seja, um erro no estudo preliminar, por exemplo, gera um problema cuja solução é muito mais complexa do que em uma fase de anteprojeto.

Segundo Helene (1992) *apud* Cavaco (2008), quando uma estrutura recebe suas devidas manutenções periódicas e programadas pode ser considerado eterno, pois há construções que apresentam manifestações patológicas em intensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para sua correção. Sempre há comprometimento dos aspectos estéticos e, na maioria das vezes, redução da capacidade resistente, podendo chegar, em certas situações, ao colapso parcial ou total da estrutura.

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 e corrosão.

### 2.3.2 Ataque por sulfatos

Neville (1997) cita como os tipos de sulfatos mais comuns: sulfatos de sódio, potássio, magnésio e cálcio, e Souza e Ripper (1998) indicam como os sulfatos mais perigosos o sulfato de amônio e todos anteriormente citados, eliminando o potássio.

O ataque por sulfatos é uma forma de ataque químico, segundo Mehta e Monteiro (1994), a qualidade do concreto, especificamente uma baixa permeabilidade, é a melhor defesa contra o ataque por sulfatos, o ataque por sulfato pode-se manifestar na forma de expansão do concreto, mas pode também apresentar a forma de uma perda progressiva de resistência e perda de massa devido à deterioração na coesão dos produtos de hidratação do cimento.

### 2.3.3 Ataque por ácido sulfúrico

A produção biológica de ácidos minerais e orgânicos causa o ataque mais agressivo aos materiais de natureza mineral. Entre as bactérias que excretam ácidos inorgânicos estão os *Thiobacillus* - produtores de ácido sulfúrico. A produção de ácido sulfúrico, por bactérias desse gênero, é considerada a causa mais agressiva para biodeterioração. (SHIRAKAWA, 1994).

A biodeterioração consiste na dissolução dos materiais pelos ácidos produzidos durante o metabolismo da microbiota local. (Pinto e Takagi, 2007)

Corrosão e Degradação são efeitos do ácido sulfúrico em superfícies expostas aos ambientes com esgotos e águas paradas com a presença de Sulfeto de Hidrogênio-H<sub>2</sub>S, produzem uma reação devastadora, provocando a redução de seu pH de 14/12 para abaixo de 06 e, conseqüentemente, a perda de sua dureza e estabilidade. (Alvim, 2007)

#### 2.3.4 Carbonatação

A carbonatação é um termo utilizado para descrever o efeito do dióxido de carbono, usualmente da atmosfera nos sistemas de cimentações, argamassas, grautes e concreto armado.

O composto químico que desencadeia o fenômeno da carbonatação é bem conhecido, facilmente encontrado nos centros urbanos. Um bom exemplo são os túneis, viadutos e também nas zonas industriais contaminadas por gases cinzas (H<sub>2</sub>S e SO<sub>2</sub> além de outros gases ácidos) que diminuem a alcalinidade das estruturas e aumentam a velocidade de carbonatação, destruindo a película passivadora que protege o aço e este torna-se vulnerável. Nestes ambientes, o concreto está exposto à alta concentração de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Esse dióxido de carbono penetra nos poros do concreto, dilui-se na umidade presente na estrutura e forma o composto chamado ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)

Segundo LIBÓRIO (1998), no fenômeno de carbonatação o que se tem é um gás dissolvido em película úmida reagindo com o álcali em solução (e não um gás reagindo com material sólido), o concreto não tem um pH - o que é medido é o pH da fase líquida em equilíbrio com a massa sólida, desse modo, para que essas reações ocorram é necessária a existência de poro líquido, ou seja, há necessidade de um líquido onde o CO<sub>2</sub>, possa estar dissolvido.

Resumidamente, a carbonatação depende de fatores como:

- Condições ambientais: Conforme descrito por FIGUEIREDO (1993), altas concentrações de CO<sub>2</sub> aumentam as chances de ataque ao concreto;
- Umidade do ambiente: poros parcialmente preenchidos com água na superfície do concreto apresentam condição favorável;
- Traço do concreto: segundo NUNES (1998), altas relações a/c, resultam em concretos porosos e, portanto, aumentam as chances de difusão de CO<sub>2</sub> entre os poros;
- Lançamento e adensamento: se o concreto tiver baixa permeabilidade (compacto), dificultará a entrada de agentes agressivos;
- Cura: Segundo HELENE (1993), processo fundamental para reduzir o efeito da carbonatação. O concreto mal curado possui microfissuras que o enfraquecem. A pré-existência de fissuras nas estruturas facilita a entrada do CO<sub>2</sub> e pode acelerar a carbonatação;

O concreto com carbonatação é reconhecido pela presença de uma zona sem cor na superfície. A cor varia desde um cinza claro de difícil reconhecimento a um laranja de fácil reconhecimento.

Além disso, pode-se usar um composto químico chamado fenoftaleína, realiza-se um ensaio simples para verificação e identificação da zona carbonatada, com um borrifador utilizando solução alcoólica de fenolftaleína, molham-se as superfícies internas do furo de ensaio e observa-se a coloração. A zona carbonatada apresenta-se incolor, e a não carbonatada deverá apresentar uma coloração rosada, sendo possível medir a profundidade da frente de carbonatação na transição de uma zona para a outra e assim é possível determinar in loco a profundidade da frente de carbonatação em superfícies recém-expostas.

### 2.3.5 Corrosão por Cloretos

A corrosão por ação dos cloretos ocorre pela dissolução da capa passivadora de corrosão, pelo ingresso através do meio externo de íons cloretos no concreto ou no caso de contaminação da massa do concreto, como por exemplo, através da água, aditivos aceleradores inadequados ou areia do mar (GRANATO, 2002).

Os íons cloreto são especialmente agressivos, é considerada como a principal causa de deterioração das estruturas, pois, diferente do ataque por CO<sub>2</sub> ou soluções ácidas, os cloretos podem danificar as armaduras mesmo em condições de alta alcalinidade da solução dos poros, visto que tais íons não são consumidos no processo de corrosão, permanecem disponíveis para novas reações. Desta forma, a presença de pequenas quantidades do íon pode provocar altas taxas de corrosão (HELENE, 1986).

A NBR 6118 (2014) limita o teor de cloretos presentes na água de amassamento do concreto a 500mg/l e a bibliografia não é consenso entre os autores sobre limites. Em concreto armado, sempre que for necessário usar cloretos, é recomendável diminuir o fator água /cimento e aumentar tanto a espessura quanto a qualidade do recobrimento da armadura. O teor de cloretos pode ser facilmente avaliado através de ensaio específico realizado em amostras representativas.

## **2.4 Estruturas metálicas**

Até a década de 70, as construções metálicas eram restritas praticamente a instalações industriais e galpões metálicos. Somente a partir de meados dos anos 80 a estrutura metálica começou a ser utilizada em maior escala em nosso país. Existe uma dificuldade muito grande em se trabalhar com esse sistema pois os construtores ainda utilizam a mesma sistemática construtiva do concreto para o aço.

A estrutura metálica possui uma metodologia própria, pouco conhecida e bastante diferenciada da construção em concreto armado. A falta de domínio dessa técnica construtiva acarreta alguns problemas patológicos que comprometem o desempenho, durabilidade e a vida útil de uma edificação.

Na construção metálica podem se definir as etapas da construção como sendo: concepção estrutural (projeto, detalhamento e dimensionamento), fabricação, montagem, utilização e manutenção.

### 2.4.1 Manifestações patológicas em estruturas de aço

Segundo Pravia e Betinelli (2013) as manifestações patológicas mais comuns em estruturas de aço podem ser definidas em seis tipos principais, conforme mostrados na tabela 1.

Tabela 1- Manifestações patológicas em estruturas de aço

Manifestações patológicas no aço	Principais causas
Corrosão localizada	Causada por deficiência de drenagem das águas pluviais e deficiências de detalhes construtivos, permitindo o acúmulo de umidade e de agentes agressivos.
Corrosão generalizada	Causada pela ausência de proteção contra o processo de corrosão.
Deformações excessivas	Causadas por sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos no projeto original, ou ainda, deficiências na disposição de travejamentos.
Flambagem local ou global	Causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou deficiências no enrijecimento local de chapas, ou efeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto e cálculo.
Fratura e propagação de fraturas	Falhas estas iniciadas por concentração de tensões, devido a detalhes de projeto inadequados, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas no projeto.

Fonte: PRAVIA; BETINELLI, 2013.

A corrosão é um tipo de deterioração que pode ser facilmente encontrada em obras metálicas e se caracteriza como um fenômeno patológico de maior conhecimento público. O aço oxida quando em contato com gases nocivos ou umidade, necessitando por isso de cuidados para prolongar sua durabilidade.

Segundo Castro (1999) como o fenômeno da corrosão envolve vários tipos de mecanismos, é importante conhecê-los para que, no caso de sua ocorrência, se possa rapidamente estabelecer um diagnóstico.

A Inspeção Predial é fonte de informação para a manutenção, apresentada por meio de laudo com o levantamento de anomalias, sua classificação quanto ao risco e urgência de cada uma delas, gerando lista de prioridades com orientações técnicas e informando o estado de conservação da edificação.

A corrosão uniforme ocorre na mesma velocidade em toda a superfície do material metálico. Segundo Bertolini (2006), “a consequência deste ataque é o adelgaçamento da parede do elemento metálico”. A escolha de materiais que apresentam uma velocidade de dissolução suficientemente baixa e a aplicação de revestimentos metálicos ou tintas são métodos preventivos a corrosão uniforme.

Os ataques localizados ocorrem em áreas específicas e levam a formação de pequenas cavidades que penetram no metal e podem levar a perfuração da peça metálica (BERTOLINI, 2006).

Falhas de manutenção ou ausência de manutenção preventiva, derivando numa possível degradação acelerada da estrutura, podem comprometer a sua segurança.

## 2.4.2 Tipos de aços estruturais

### 2.4.2.1 Aço inoxidável

Existem alguns aços que são resistentes à corrosão, são os inoxidáveis. Esses aços são caracterizados pela resistência à corrosão atmosférica, pois quando estão ligados com outros metais como o Cromo e o Níquel, ficam menos reativos. São fabricados a partir do ferro-gusa em altos-fornos.

Aço Inox ou Aço Inoxidável é uma liga metálica constituída basicamente de uma mistura de ferro com no mínimo 10,5% de cromo, o que o torna superior ao aço comum em quesitos como resistência ao impacto, ao calor e à corrosão. Na medida em que elementos como o silício, o carbono e o níquel, entre outros, são adicionados à liga básica do Aço Inox, ela ganha mais propriedades e aplicações. Esta diversificação possibilita criar vários os tipos de aço inox, que podem ser classificados em famílias, como as dos Austeníticos, Ferríticos, Martensíticos.

O aço é facilmente corrosível por ação química ou eletroquímica. O próprio meio ambiente o danifica: o oxigênio do ar, por exemplo, quando entra em contato com o ferro contido no aço forma o óxido de ferro causando alterações naturais, porém, indesejáveis. O próprio nome já indica, aço inoxidável é um aço de alta-liga resistente à ação deteriorante do oxigênio, ou seja, não sofre oxidação. Apresenta propriedades físico-químicas superiores aos aços comuns, sendo a alta resistência à oxidação atmosférica a sua principal característica.

### 2.4.2.2 Aço galvanizado

Possui a mesma composição química do carbono, mais é revestido por uma camada de zinco, é usado em calhas para coleta d'água e alguns tipos de tubulação.

O aço galvanizado é revestido com uma fina camada de zinco para ajudar a evitar a corrosão. O zinco pode ser aplicado ao aço através de um processo de imersão a quente ou eletrogalvanização que é realizada por submersão do material num banho eletrólito. Quando o aço é retirado do banho, o revestimento endurece, criando uma camada aderente fina de zinco.

Existem dois tipos de galvanização: a frio e a quente:

Na galvanização a frio (ou eletrolítico), o banho de zinco adere somente na parte externa e em uma pequena parte interna da barra. No centro (Interno da Barra) permanece o aço carbono cru (Preto). Os tubos galvanizados a frio são muito utilizados para a fabricação de andaimes, alambrados, corrimões e serralherias em geral.

Na galvanização a quente, o banho de zinco adere totalmente por dentro e por fora, o que torna o tubo bem mais resistente. Os tubos galvanizados a quente são muito utilizado para passagem de água potável, poços artesianos e instalações hidráulicas em geral.

Na galvanização, a quente uma estrutura metálica é mergulhada em zinco fundido a 450 graus, resultando em uma reação metalúrgica. Quando o zinco reveste o aço, ele acaba penetrando na estrutura do aço, resultando em uma camada pura de zinco, 3 a 4 camadas.

O aço galvanizado funciona como um método preventivo. Em ambientes agressivos, como o marítimo, o aço galvanizado pode durar até 10 anos. Já em ambientes com menos agressividade ambiental ele pode chegar a até 40 anos. Quando o ambiente for muito agressivo, ele acaba se tornando mais favorável para a galvanização do aço. O processo também é recomendado em casos onde o aço é utilizado na função estrutural, como no vergalhão dentro do concreto afirma gerente-executivo do ICZ (Instituto de Metais Não Ferrosos), Ricardo Goes.

#### 2.4.2.3 Fibra de vidro

A fibra de vidro é feita com a aglomeração de filamentos flexíveis de vidro e resina poliéster. A polimerização do produto com o auxílio de um catalizador gera um

material altamente resistente, com baixa densidade e excelentes propriedades mecânicas. Possui várias aplicações.

Fabricados através do processo de pultrusão, especialmente indicado para ambientes quimicamente agressivos como: indústrias de papel e celulose, estações de tratamento de água e efluentes, fertilizantes, óleo e gás, petroquímica, mineração entre outros.

Os materiais em fibra de vidro são conhecidos mundialmente pela alta resistência a ambientes corrosivos, pela leveza, baixa manutenção, alta resistência química e mecânica além da durabilidade longa. Atendendo a NR-12 e ABNT NBR 15708-2:2011 os materiais em fibra de vidro são de fácil instalação, alta resistência mecânica, não conduzem eletricidade, não enferrujam e não é um material corrosivo.

### 2.4.3 Meios corrosivos

É muito importante a natureza do meio corrosivo que se encontra nas proximidades da superfície metálica. Desde os meios mais comuns como a atmosfera, as águas naturais, o solo e os produtos químicos até aos meios de menor escala como solventes orgânicos, madeiras e plásticos, todos possuem uma importante influência no processo corrosivo das estruturas metálicas.

#### 2.4.3.1 Atmosfera

Este é o processo mais comum de ocorrência de corrosão nas estruturas metálicas.

A corrosão atmosférica é devida ao efeito combinado da formação e quebra da camada de óxido. A umidade relativa existente na atmosfera é responsável pela quebra da camada de corrosão o que torna possível o ataque localizado.

As partes que compõem a atmosfera se entendem como: os gases comuns, como o O<sub>2</sub>, o CO<sub>2</sub>, vapor d'água e o N<sub>2</sub>, vento, temperatura, a atmosfera também é composta por óxidos de enxofre, amônia, íons cloreto, poeira, cinzas e outros de menor importância. O eletrólito neste caso se constitui basicamente da água que se condensa na superfície metálica (água de condensação de chuva, orvalho, neblina, etc.) juntamente com gases, sais de enxofre e cloretos dissolvidos, além de poeiras e outros poluentes diversos que podem acelerar o processo corrosivo.

Apenas os ambientes rurais propiciam uma melhor condição ambiental para a não ocorrência do processo de corrosão em virtude de sua atmosfera ser relativamente limpa dos contaminantes.

#### 2.4.3.2 Água

Águas naturais (rios, lagos e do subsolo), podem conter sais minerais, eventualmente ácidos ou bases, resíduos industriais, bactérias, poluentes diversos e gases dissolvidos. O eletrólito constitui-se principalmente da água com sais dissolvidos. Os materiais metálicos em contato com a água tendem a sofrer corrosão, a qual vai depender de várias substâncias que possam estar contaminando as mesmas.

Água do mar, estas águas contêm uma quantidade apreciável de sais. Uma análise da água do mar apresenta em média os seguintes constituintes em gramas por litro de água:

O caráter corrosivo da água também depende do pH, da temperatura, da velocidade e da ação mecânica.

Os sais dissolvidos podem agir acelerando ou retardando o processo corrosivo. Entre os sais que mais influenciam os processos de corrosão estão: cloretos, sulfatos, sais hidrolisáveis, sais oxidantes e bicarbonatos de ferro, cálcio e magnésio.

Entre os gases mais comumente encontrados na água, podemos destacar: oxigênio, gás sulfídrico, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre, amônia, dióxido de carbono e cloro. Estes estão naturalmente na água ou entram por alguma ação humana (poluição ou tratamentos). O oxigênio, na maioria das vezes, vai atuar como acelerador do processo corrosivo, mas, em alguns casos, pode atuar como inibidor. Para alumínio e suas ligas e para aços inoxidáveis é isso o que acontece.

A melhor maneira de se prevenir a corrosão ainda é se evitar o contato direto entre a água e o metal. Caso isso não seja possível, é importante fazer uma análise da água, determinando seus contaminantes mais prejudiciais e adotando materiais e tecnologias apropriados.

#### 2.4.3.3 Solo

É um tipo de corrosão muito comum em tubulações, cabos subterrâneos, estacas metálicas, pilares enterrados e trilhos, quando enterrados ou em contato com o solo. O solo é um material muito heterogêneo, composto de diversos minerais, ácidos, sais e água formando assim um eletrólito propício para o desenvolvimento da corrosão. A agressividade dos solos depende essencialmente dos seus componentes agressivos e da sua constituição.

Os fatores mais importantes são: acidez, teor de umidade, grau de aeração, permeabilidade à água e condutibilidade elétrica.

A agressividade dos solos aumenta à medida que cresce o teor de componentes ácidos (ácidos úmicos, cloretos, sulfatos e sulfetos). Para valores de  $\text{pH} < 6,5$  ; os solos ácidos passam a ser gradativamente mais agressivos e a corrosão comumente é do tipo oxigênio

### **3 METODOLOGIA**

Este trabalho apresenta uma pesquisa de estudo de caso, com o objetivo principal de diagnosticar as manifestações patológicas presentes na estação de tratamento de esgoto norte, que entrou em operação em 2013, na cidade de Palmas, Tocantins.

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

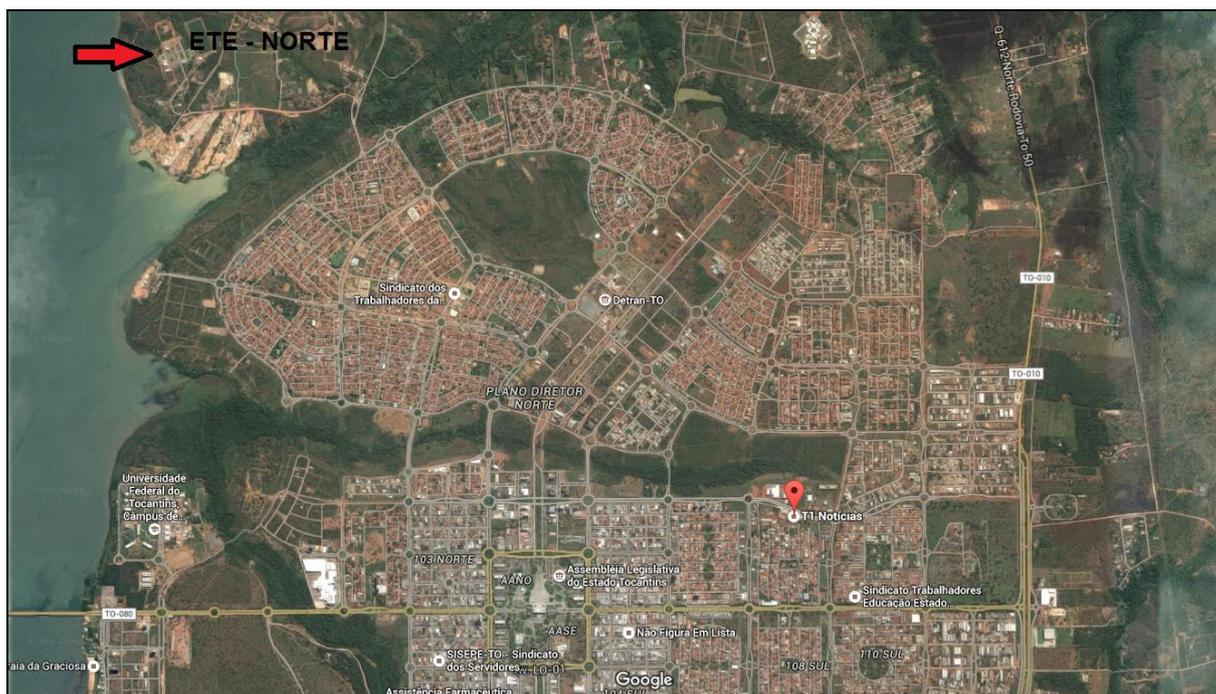
Segundo Gerhardt (2009), os pesquisadores que utilizam os métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas e de certo fenômenos, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores, pois o objetivo do tema é de produzir informações aprofundadas e ilustrativas, que sejam capazes de produzir novas informações.

O tipo de pesquisa é explicativo que visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência das patologias nas estruturas metálicas no tratamento preliminar, analisando o meio em que essa estrutura está inserido.

#### **3.1 Caracterização da Área de Estudo**

A estação de tratamento de esgoto Norte- ETE NORTE é a maior da região norte do país, com capacidade de tratar 800l/s de efluentes, todos os módulos de tratamento são executados em concreto armado (gradeamento; tratamento preliminar; reator anaeróbio; decantadores; lagoas de lodo ativado e desidratação) e algumas peças e equipamentos são em metais. A estrutura ainda encontra-se inacabada com previsão de saturação de 30 anos com execução de 5 módulos de tratamento para se torna completa e finalizada.

Figura 1 – Sistema de tratamento de Esgoto de Palmas, detalhe para a localização da ETE.

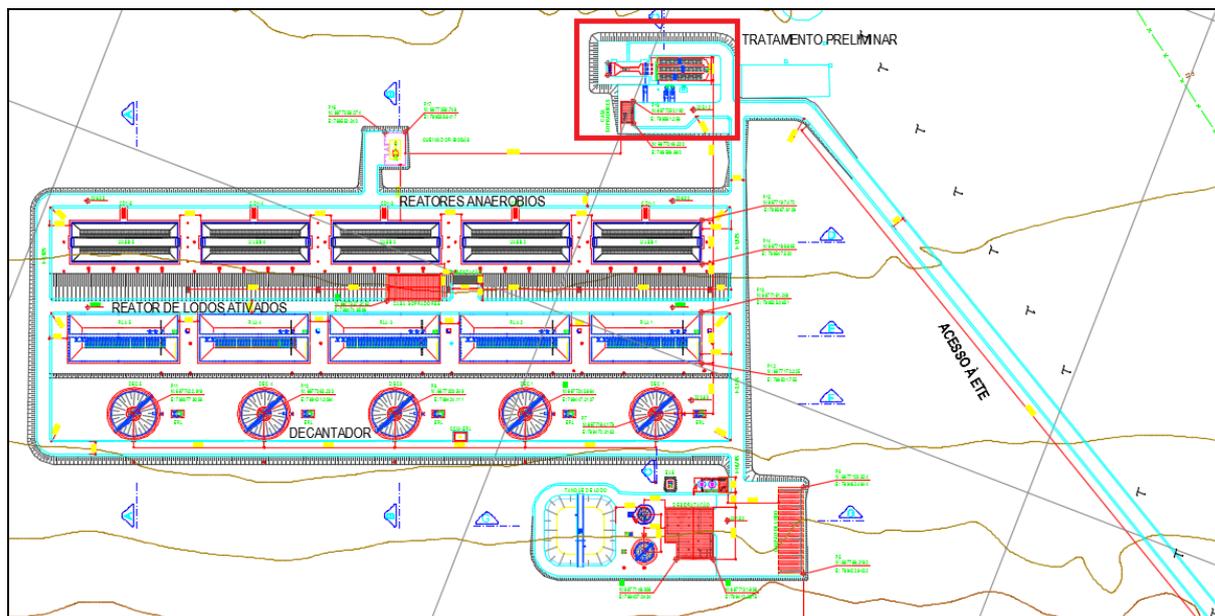


Fonte: Google Earth, 2016.

Diante do ambiente das estações de tratamento de efluentes foi visto a importância do tratamento preliminar que é uma parte fundamental do tratamento de esgoto, que este, será analisado a fundo na seguinte pesquisa e devido ao ser o módulo da estação que recebe o esgoto bruto, isso por ser o local onde se faz o gradeamento, separando os sólidos e a areia do esgoto, assim fica-se mais susceptível a deterioração das peças metálicas que se encontram próximas ao esgoto, comprometendo assim a durabilidade dessas estruturas.

A figura 2 mostra a localização do tratamento preliminar dentro da ETE.

Figura 2 – Planta Geral da ETE com localização do tratamento preliminar.



Fonte: Odebrecht Ambiental, 2010.

### 3.2 Pesquisa bibliográfica

A confecção do presente trabalho baseia-se em levantamento bibliográfico que consistiu no estudo de bases teóricas para facilitar o entendimento sobre o tema estudado como teses, dissertações, monografias, artigos, livros, manuais, revistas, meios eletrônicos, entre outras fontes que forneceram embasamento para o trabalho. Coletado esse material, foi realizada a leitura das bibliografias obtidas, analisado os documentos e projetos da obra, objetivando captar definições e terminologias, necessárias para a elaboração deste trabalho.

Assim de acordo com a norma NBR 6118:2014

Agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

Ainda pela NBR 6118 (2014) entre classe de agressividade ambiental e cobertura nominal o projetista e construtor, devem adotar artifícios técnicos, de acordo com o ambiente, pois “nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como, estação de tratamento de esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes

em ambientes químicos e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV”.

Com as informações da norma e os projetos executivos, obtidos da obra deve ser Identificar erros referentes à concepção, verificar a existência de possíveis erros, operacionais e de escolha de matérias adequados para o ambiente, ou ainda de manutenção preventiva das estruturas. Para tanto deve ser analisado os projetos e memoriais referentes à construção, reforma e manutenção da concessionária.

### **3.3 Estudo de caso**

A metodologia adotada foi um estudo de caso, em apenas um módulo da estação de tratamento de esgoto na cidade de Palmas-To, onde foi realizada uma análise visual e mapeamento da incidência de patologias presentes nas estruturas metálicas, da parte externa do tratamento preliminar, as ferramentas utilizadas foram os registros fotográficos e anotações.

Foi documentado através de fotografias e assim fez-se o levantamento dos principais sintomas patológicos presentes nas estruturas metálicas como guarda corpo e eletrodutos em aço galvanizado; Peças como as grades e roscas transportadoras em aço inoxidável e guarda corpos em fibra de vidro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Classificação Ambiental

A estação de tratamento de esgoto norte (figura 10), esta localizada na zona urbana de Palmas – TO, cidade a qual se localiza distante de regiões marítima e é considerada uma cidade planejada, tem uma área destinada para ser o centro industrial o qual não é bem desenvolvido e afastado da ETE.

O esgoto que chega ao tratamento preliminar é um esgoto bruto, a primeira etapa do tratamento é o tratamento preliminar cuja finalidade é a remoção de sólidos grosseiros e areia, a fim de que estes não danifiquem as tubulações e os sistemas de bombeamento, protegendo, dessa forma, as próximas etapas do processo. Os mecanismos básicos de remoção são de ordem física, sendo que o fluxo típico do esgoto nesse nível de tratamento corresponde à passagem do efluente em uma grade (para remover sólidos grosseiros), em um desarenador (para remover areia, através do processo de sedimentação) e por um medidor de vazão.

Figura 10: Estação de Tratamento Norte, localizada próximo a Vila União em Palmas-To



autor, 2016

Fonte:  
Próprio

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

Entretanto, as diretrizes, da NBR 6118:2014, 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 a estação de tratamento de esgoto Norte, classe III de agressividade ambiental, sendo considerado pela norma uma agressividade forte e grande risco de deterioração.

Em referência ao cobrimento mínimo das armaduras, de acordo com os projetos da estação de tratamento de esgoto foram adotados, cobrimento mínimo de 30 mm, entretanto, para a NBR 6118/2003, que estava em vigor na época, o valor mínimo seria 40mm para as paredes e 45 mm para as lajes. Hoje já estar em vigor a NBR 6118/2014, que normaliza o valor mínimo seria 50 mm vigas/ pilares e 45 mm para as lajes.

#### **4.2 Utilização de materias inadequados**

São encontrados no mercado inúmeros produtos destinados à proteção do concreto e de metais em ambientes agressivos. A escolha do material adequado é de extrema importância para a durabilidade da estrutura, pois é necessário saber qual o ambiente que a estrutura será inserida para se saber que tipo de metal é mais resistente a corrosão nesse ambiente e qual a melhor impermeabilização.

Foram encontrados no módulo do tratamento preliminar da ETE, peças em aço inoxidável como as grades e roscas transportadoras, e também guarda corpos e eletrodutos em aço galvanizados, foram também encontrados guarda corpos em fibras de vidro.

Eletrodutos em aço galvanizado (conforme figura 3) foram utilizados como protetores de cabos e fios elétricos, com a finalidade de evitar choques elétricos e que a fiação elétrica fique exposta. Na ETE optou-se por eletrodutos em aço galvanizado em vez de utilizarem tubos em PVC que são menos susceptível à corrosão que o meio estar sujeito, devido à agressividade do esgoto.

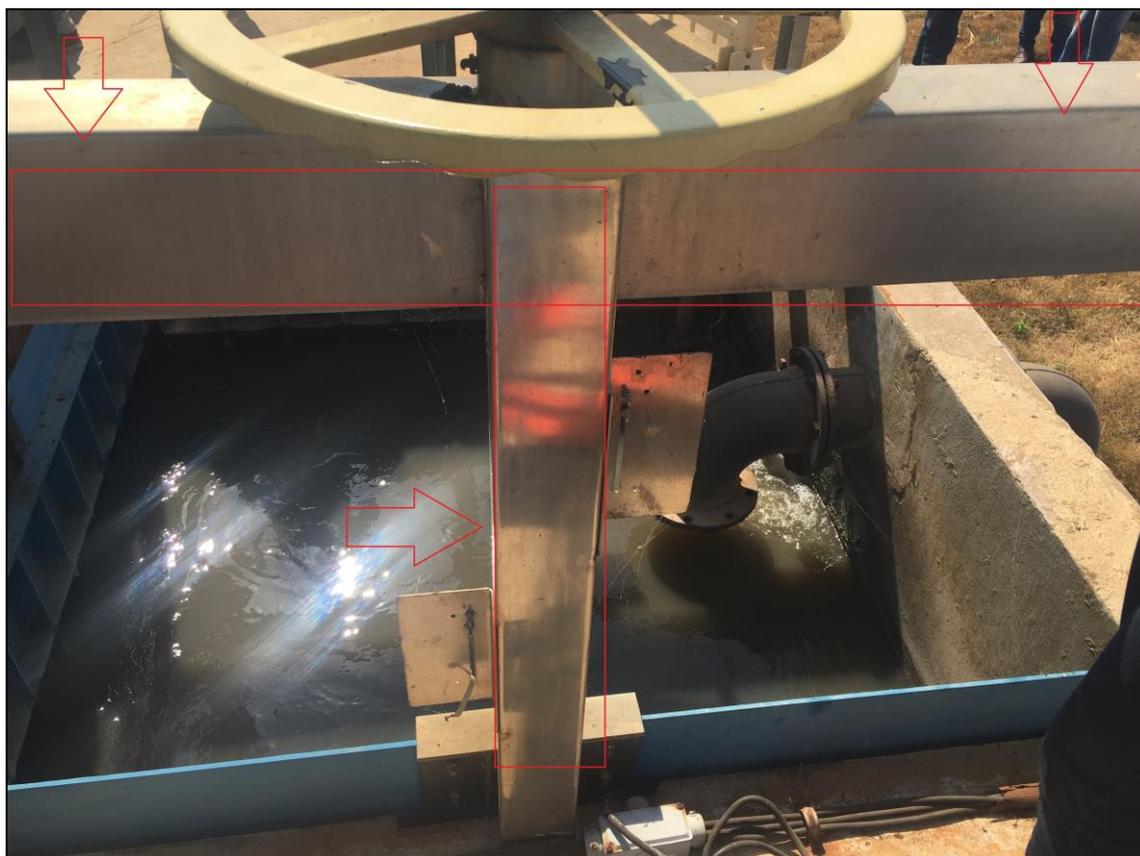
Figura 3 - Eletroduto em aço galvanizado



Fonte: Próprio autor, 2016

Conforme ilustrado na figura 4, na ETE, foram encontradas algumas peças em aço inox, como no gradeamento do esgoto que é o primeiro processo que se passa o esgoto. Os aços inoxidáveis, são os que contêm pelo menos 12% de cromo, o que lhes confere a propriedade de não se enferrujarem mesmo em exposição prolongada a uma atmosfera normal. Todos os tubos de aços-liga são bem mais caros do que os de aço-carbono, sendo de um modo geral o custo tanto mais alto quanto maior for a quantidade de elementos de liga. Além disso, a montagem e soldagem desses tubos é também mais difícil e mais cara.

Figura 4 - Peças em aço inoxidáveis, no gradeamento do esgoto.



Fonte: Próprio autor, 2016

O Guarda-Corpo em fibra de vidro ( conforme figura 5) é montado com perfis pultrudados em fibra de vidro, com teor mínimo de fibra de 65% e 35 % de resina, este material possui resistência mecânica, isto é, capacidade de suportar ações externas sem causar deformações plásticas em sua estrutura, igual a do aço. Ainda tem durabilidade maior do que este e tem menor custo de manutenção. As tampas dos tanques também foram revertidas com resina de fibra de vidro para proteger contra corrosão.

Figura 5 - Guarda-Corpo em fibra de vidro



Fonte: Próprio autor, 2016

Na ETE, para a impermeabilização do concreto, optou-se por um tipo de revestimento a base de resina poliuretano vegetal (originado do óleo de mamona), aplicado a frio, e polimeriza-se por catalisação, formando uma membrana monolítica altamente impermeável e totalmente insolúvel em água, assim é capaz de impedir o ingresso de agentes agressivos através dos poros.

Durante a visita a Estação de Tratamento de efluente, a impermeabilização de resina vegetal no concreto, conforme figura 6, sofreu degradação visualmente detectada. Um fator que se pode destacar é que a exposição direta ao sol pode-se ter colaborado para essas alterações e deslocamento da impermeabilização, mas como também pode ter havido uma capacidade de proteção ineficiente devido ao ataque de solução altamente agressiva, de ácido sulfúrico presente no esgoto, que esta em contato com a resina vegetal.

Figura 6 - Impermeabilização de resina vegetal no concreto



Fonte: Próprio autor, 2016

Os principais parâmetros de projeto foi que, confrontando os projetos executivos da obra analisados e a visita feita a ETE, por meio de inspeções, levantamento e análise de projetos verificou que a especificação contida nele é de apenas guarda corpo em fibra de vidro. E na inspeção visual a ETE foi analisado guarda corpos em aço galvanizados também, que se encontrava com degradação que isso resume os principais parâmetros de projeto.

#### **4.3 Identificação e Mapeamento das Manifestações Patológicas**

Durante a inspeção visual do tratamento preliminar da estação de tratamento de esgoto, foram catalogadas as manifestações patológicas, que serão apresentadas a seguir conforme suas sintomatologias.

Analisando os projetos obtidos e as imagens obtidas nas visitas, foi identificado corrosão nas estruturas metálicas, na etapa do tratamento preliminar da estação de tratamento de esgoto, foram encontrados estruturas em aço inox, aço galvanizado e fibra de vidro.

Gentil (2003), considera essencial entender os mecanismos envolvidos no processo corrosivo para um controle efetivo e, adoção do modo de combate a corrosão. Sendo essencial estudar as variáveis dependentes do material metálico, da utilização e do meio corrosivo, para a escolha do melhor material.

## 4.2.1 Corrosão

Em Estruturas Metálicas, o aço oxida quando em contato com gases nocivos ou umidade a liga acaba perdendo suas qualidades essenciais, resistência mecânica, elasticidade ductilidade e estética.

Segundo Castro (1999) como o fenômeno da corrosão envolve vários tipos de mecanismos, é importante conhecê-los para que, no caso de sua ocorrência, se possa rapidamente estabelecer um diagnóstico.

### 4.2.1.1 Corrosão pontual

Esse tipo de corrosão se processa ponto a ponto, em pequenas áreas localizadas na superfície metálica. (Gentil, 1996).

Altamente destrutivo esse tipo de corrosão, gera perfurações em peças sem uma perda notável de massa e peso da estrutura. Pode ser difícil de detectar quando em estágios iniciais, pois na superfície a degradação é pequena se comparada à profundidade que pode atingir.

Figura 7 – Parafuso com arruela corroída



Fonte: Próprio autor, 2016

Ela ocorre normalmente em locais expostos a meios aquosos, salinos ou com drenagem insuficiente. Pode ser ocasionada pela falha na aplicação de um selante especial no parafuso, do tipo anticorrosivo, ou por furos que não estão previstos no projeto.

Figura 8 - Equipamento em aço inox, onde há um parafuso em aço galvanizado corroído.



Fonte: Próprio autor, 2016

**Prevenção e Controle:** Para se evitar esse ataque, as peças não devem ser colocadas sem antes ter um revestimento anticorrosivo adequado. A intervenção deve ser realizada com base no estado em que o processo corrosivo se encontra. Deve-se efetuar a limpeza no local e se a estrutura não estiver comprometida, pode-se cobrir o furo aplicando sobre ele um selante especial. É importante a experiência do fiscal devido à possibilidade de se necessitar de uma intervenção mais complexa, com reforço da estrutura ou até mesmo substituição de peças.

#### 4.2.1.2 Corrosão por placas

Segundo Gentil (1996), este tipo de corrosão se localiza em regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, Abrange os casos intermediários entre a corrosão uniforme e a corrosão localizada. Ocorre em algumas regiões da superfície formando escavações em placas.

Na Estação de Tratamento de Esgotos norte, verificou-se um alto nível de corrosão dos guarda-corpos de aço galvanizado. Já nas peças metálicas de aço inoxidáveis embutidas parcialmente e destinadas à fixação de equipamentos não foi encontrada nenhum tipo de corrosão, pois, apresenta a propriedade de se manter passivo em muitos meios, sendo a resistência à corrosão obtida, principalmente, pela reação do cromo com o oxigênio e umidade atmosférica.

A base do guarda corpo em aço galvanizado corroído, juntamente com os parafusos.

Figura 9 – Base da coluna do guarda corpo corroída.



Fonte: Próprio autor, 2016

A corrosão dos guarda-corpos, mostrada na Figura 8, pode ter sido causada por respingos de efluente e/ou pelo próprio ambiente poluído.

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, ou ineficiente para esse tipo de ambiente agressivo, sendo necessário o reparo de imediato (TAKAHASHI, 1983). Que provavelmente, não foi realizado nesta situação.

Figura 10 – Guarda corpo com a camada de proteção química deterioração



Fonte: Próprio autor, 2016.

#### 4.2.1.3 Corrosão Uniforme

Para gentil (1996), esse tipo de corrosão desenvolve-se de forma homogênea sobre a superfície metálica, a perda de massa e espessura igual em todos os pontos. Ocorre em ambiente homogêneo. Aços ao carbono e as ligas de cobre sofrem este tipo de ataque. O mecanismo dessa corrosão envolve a existência reações eletroquímicas uniformemente.

A velocidade de corrosão uniforme é em geral expressa em termos de perda de massa por unidade de superfície e unidade de tempo ou pela perda de espessura de metal corroído em função do tempo. É comum e de fácil controle, consiste em uma camada visível de óxido de ferro pouco aderente que se forma em toda a extensão do perfil.

Figura 11 – Tubulação de passagem de eletroduto totalmente corroído



Fonte: Próprio autor, 2016.

Nestes moldes de corrosão, a oxidação e conseqüente perda de secção transversal da peça, ocorrem praticamente de maneira constante.

As tubulações de passagem de eletroduto para a estação de esgoto é toda em aço galvanizado. E uma boa parte delas já se encontra em estado avançado de corrosão.

Ocorre pela exposição direta do aço carbono a um ambiente agressivo sem um sistema protetor adequado ou quando o mesmo é rompido e não reparado. Rapidamente ocorre a formação de pilhas do tipo ativo-passivo ou outras do tipo ação local ou aeração diferencial.

Figura 12 - Equipamento que serve para rolagem do desarenador.



Fonte: Próprio autor, 2016.

A figura 12 mostra o equipamento que serve para rolagem da pá mecânica que desse modo tira a areia sedimentada do fundo do tanque de esgoto e joga para a caçamba. A água é separada da areia a partir da utilização de desarenadores.

Este módulo da estação de tratamento de esgoto recebe o esgoto bruto, assim pode estar mais susceptível a deterioração do aço, estando este equipamento muito próximo do esgoto bruto pode receber respingos e acelerando o processo de corrosão devido ao esgoto ser ácido e agressivo.

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.

#### 4.2.1.4 Corrosão por Frestas

A ação da aeração diferencial e/ou da concentração iônica diferencial causa à formação de pilhas em frestas nos materiais metálicos. Aparecem em juntas soldadas, juntas por rebites, em ligações com flanges, em uniões por roscas de parafusos, e em inúmeras configurações de que permitam formação de frestas. (GEMELLI, 2001).

Qualquer ponto onde duas superfícies metálicas são separadas por uma pequena distância é uma cela de corrosão em potencial. A umidade entra pela fresta, em muitos casos, por ação capilar. Onde o líquido está em contato com o ar, o oxigênio consumido no processo de corrosão é rapidamente repostado, mas, no fundo da fresta, a água estará empobrecida em oxigênio. O oxigênio do exterior deve se difundir através do eletrólito para atingir o fundo da fresta.

Isso costuma ser muito dificultado pelas condições de estagnação do líquido e pela existência de produtos de corrosão que dificultam ou mesmo impedem o deslocamento iônico. Assim, o fundo da fresta é o local aonde a corrosão vai se processar.

Figura 13 – Corrosão nas frestas da tubulação de eletroduto a caixa de passagem.



Fonte: Próprio autor, 2016.

A fresta pode ser provocada por um detalhe de projeto, uma falha na execução da soldagem, um depósito na superfície do material (ancoramento de sujeira, produtos contaminantes e incrustações diversas). De um modo geral os meios que contém cloretos são particularmente perigosos na corrosão por frestas nos aços de modo geral.

Prevenção e Controle: Se a corrosão estiver em estágio inicial, pode-se recorrer à limpeza superficial, secagem do interior da fenda e vedação com um líquido selante, aplicando-se posteriormente um revestimento protetor. Se a corrosão estiver em nível avançado, torna-se necessário como nos outros processos o reforço ou substituição de peças.

## 5 CONCLUSÕES

A análise da estação de tratamento 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 patológicas como corrosão das peças metálicas e guarda-corpos, degradação dos sistemas de impermeabilização e em casos mais avançados de degradação a corrosão total de tubulação para passagem de eletroduto. 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 ( $H_2SO_4$ ), ao ferro. Simultaneamente a agressividade ambiental própria da estrutura, pode-se ter impermeabilização da estrutura metálica ineficiente e ainda falta de manutenção preventiva, que colaboram para novos processos de deterioração.

A estação de tratamento de esgoto, em operação desde 2013, apresentou condições severas de degradação nas estruturas metálicas em aço galvanizado, incluindo: corrosão uniforme da tubulação de passagem de eletroduto, corrosão de peças metálicas e deterioração pontual do sistema de impermeabilização. Já nas estruturas em fibra de vidro e aço inox, não foi encontrado nenhuma manifestação patológica.

O conhecimento das características das diferentes formas de corrosão facilita o encontro das técnicas necessárias e dos mecanismos de proteção do metal que sofre corrosão. Isso possibilita a análise necessária, para a aplicação de medidas preventivas capazes de reduzir a valores desprezíveis a taxa de corrosão.

Pelo fato das estações da concessionária Odebrecht, 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 tipo de material empregado, deve-se substituir todos os guarda corpos em aço galvanizado por guarda corpo em fibra de vidro e os eletrodutos também em aço galvanizado devem ser substituídos por eletrodutos em PVC.

Neste tipo de trabalho, o conhecimento dos conceitos e abordagens teóricas mostra-se como ferramenta eficaz para identificação de irregularidades e elaboração de hipóteses.

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 os materiais e tipos de metais a serem utilizados.

### Referências Bibliográficas

- ABDIAS, M. G.; AGUIAR, J. E.; ALBERTINI NETO, H.; COSTA, J. E. **Permeabilidade do concreto: Um estudo para avaliação “in situ” usando instrumentos portáteis e técnicas tradicionais.** III Pan-American Conference for Nondestructive Testing. Anais. Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA-ABCEM. **Vantagens do uso do aço na construção metálica.** In: Revista Construção Metálica, São Paulo, n. 17, p.14-15, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.648:** Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.209:** Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.541-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15708-1:** ABNT/CB-50 - Indústrias do petróleo e gás natural - Perfis pultrudados. Rio de Janeiro 2011.
- BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. (1999). **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto.** Cadernos de Engenharia de Estruturas. n.8. EESC. Universidade de São Paulo.São Carlos.
- 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: 06/04/16.
- CASTRO, E. M. C. de. **Patologia dos edifícios em estruturas metálicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999. UFOP.
- CONCRETO E CONSTRUÇÕES**, edição nº 47. São Paulo, IBRACON, 2007. Trimestral.
- CONCRETO E CONSTRUÇÕES. Pavimento de concreto: Segurança, durabilidade e conforto nos corredores de ônibus da linha verde de Curitiba.** São Paulo: Iphis Gráfica e Editora, 2010. Trimestral.

FIGUEIREDO, E. J. P. **Fatores Determinantes da Iniciação e Propagação da Corrosão da Armadura do Concreto**. São Paulo EPUSP-BT/PCC/121

GEMELLI, E., **Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização**, 1ed., LTC – Livros Técnicos Científicos, Rio de Janeiro, 2001.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro - RJ: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos S/A, 1996.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4ª ed, Rio de Janeiro: LTC, 2003.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2009. (Educação a Distância, 5).

GRANATO, J. E. **Patologia das Construções**. Disponível em: <<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf>> Acesso em: 14 abril. 2016.

HELENE, P. L. R. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese (Livre Docência). São Paulo: EPUSP 1993.

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

HELENE, P., **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto**. NB/2001. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos, (2011).

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução de: GIAMMUSSO, S. E. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

NUNES, F. L.; HELENE, P. R. L. **Influencia da Dosagem na Carbonatação dos Concretos**. Dissertação (Mestrado) São Paulo: EPUSP. 1998.

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

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

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB**. Brasília, DF, maio de 2013, p. 107.

PAULON, V. A. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2005. 1 v.

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

PRAVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A. **Falhas em estruturas metálicas: Conceitos e estudos de caso**. Curso de Engenharia Civil da FEAR – UPF. Disponível em: Acesso em: 22 out. 2013.

SHIRAKAWA, M. A., ATENCIO, D. , GARCIA Jr., O e RZYSKI, B. M.. **Ocorrência de Bacterias do gênero Thiobacillus associadas a processo de intemperismo de sulfetos da Formação Itaquaquetuba**, Bacia de São Paulo An. Acad. Bras. Ciênc. ,63(1): 89-90, 1994.

SILVA JUNIOR, J.Z.R. **Argamassa de Reparo Estrutural**. Dissertação de Mestrado. São Paulo, USP, 2001.

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

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** – Lagoas de Estabilização, v.03. Minas Gerais: ABES, 1996.