



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDICIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

RONNIELBE AVELINO MOURA

**ESTUDO AVALIATIVO DA CORROSÃO NA CENTRAL DE TRATAMENTO E
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO SÍTIO BARRO VERMELHO ZONA RURAL DA
CIDADE DE POTIRETAMA-CE**

PAU DOS FERROS

2017

RONNIELBE AVELINO MOURA

**ESTUDO AVALIATIVO DA CORROSÃO NA CENTRAL DE TRATAMENTO E
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO SÍTIO BARRO VERMELHO ZONA RURAL DA
CIDADE DE POTIRETAMA-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Josy Eliziane Torres Ramos

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Sanderlir Silva Dias

PAU DOS FERROS

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M
929e

Moura, Ronnielbe Avelino. Estudo avaliativo da corrosão na central de tratamento e distribuição de água do Sítio Barro Vermelho zona rural da cidade de Potiretama-CE / Ronnielbe Avelino Moura. - 2017.
59 f. : il.

Orientadora: Josy Eliziane Torres Ramos.
Coorientadora: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2017.

1. Corrosão. 2. Triângulo da Corrosão. 3. Concreto. I. Ramos, Josy Eliziane Torres , orient. II. Dias, Sanderlir Silva , co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RONNIELBE AVELINO MOURA

**ESTUDO AVALIATIVO DA CORROSÃO NA CENTRAL DE TRATAMENTO E
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO SÍTIO BARRO VERMELHO ZONA RURAL DA
CIDADE DE POTIRETAMA-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Bacharelado em Ciência e
Tecnologia da Universidade Federal Rural do
Semi-Árido – UFERSA, como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Aprovado em: 19 / 10 / 2017.

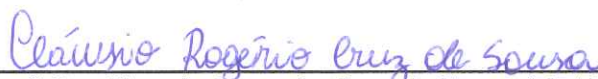
BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Josy Eliziane Torres Ramos (UFERSA)
Presidente



Prof^a. Dr^a. Sanderlir Silva Dias (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Jennef Carlos Tavares (UFERSA)
Membro Examinador

A minha família, em especial aos meus pais João Moura e Maria Avelina Moura, por fazer o possível e impossível para que eu chegasse até aqui. Aos meus irmãos Ronnevon Avelino Moura, Maria Lunalva Avelino Moura e Daianne Avelino Moura. A vitória também é deles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me ofertar a dádiva da vida, por ter me dado a força e a paciência necessária para que eu pudesse concluir esse trabalho e por ter me abençoado com pessoas que sempre pude contar e que sempre me apoiaram.

Aos meus pais, João Moura e Maria Avelina Moura por ter me dado a vida, cuidado e educado da melhor forma desse o início até aqui, por sempre me guiarem pelos caminhos certos da vida e por terem lutado para que eu alcançar os objetivos.

Ao meu irmão, Ronnevon Avelino Moura por ter me apoiado e incentivado todas as vezes que pensei em desistir, por ter me mostrado que todos temos batalhas e que cada dia temos uma para vencer.

A minha irmã, Maria Lunalva Avelino Moura por ter sido em inúmeras vezes minha segunda mãe, além de ser amiga e conselheira.

A minha irmã, Daianne Avelino Moura por ter me apoiado em toda essa jornada e por ter cuidado dos nossos pais enquanto estava nessa batalha.

Aos meus tios, José Gomes de Amorim e Antônia Avanir Moura de Amorim por terem sido como outros dois pais, e por terem me apoiado em toda a minha jornada. Agradeço também ao meu primo Crisostomo Amorim.

Agradeço a minha orientadora, a professora Dr^a. Josy Eliziane Torres Ramos por ter se disposto a guiar-me nessa jornada, por ter disponibilizado o seu tempo para esse trabalho, por toda paciência comigo, por todo o conhecimento repassado e por sempre me auxiliar quando precisei.

A minha coorientadora, professora Dr^a. Sanderlir Silva Dias por também me auxiliar nesse trabalho, pelo tempo empregado a esse trabalho, por todo conhecimento repassado e por toda a paciência.

A todos meus professores e professoras do ensino fundamental, em especial a Niran Bezerra e Lusaísa Leite por estarem presentes e participarem de forma eficiente na formação da minha base.

Aos meus professores e professoras do ensino médio, em especial Zulmira Campelo, Márcia Cristina Silva, Rafaela Lima, Luzia Almeida e Debora Brasil pelo empenho ao ensino que me possibilitou estar aqui.

A minha prima, Layane Silva de Amorim, por ter me aceitado como irmão e ser minha companheira desde o início do curso.

Agradeço a Banca Examinadora por disponibilizar seu tempo para poder contribuir com esse trabalho.

Agradeço aos meus amigos e amigas de infância, em especial Luzmônica, Benedita, Viviane e Nair pelos momentos felizes, e também tristes que pude compartilhar com eles.

Aos amigos que pude conhecer graças a Ufersa, em especial Rhuan Cazuza e Luedna Diniz por me darem força, me animarem e não me deixarem desanimar quando tudo parecia perdido.

Agradeço aos meus vizinhos e amigos, Vinicius, Fernanda, Cassia, Lindinês e Larissa, por inúmeras noites de conversa e companhia.

Também agradeço as minhas amigas Fafá, Joyce, Kerlia e Sara que estiveram comigo em muitos momentos da minha vida acadêmica na Ufersa.

A Universidade Federal Rural Do Semi-Árido (UFERSA) campus Pau dos Ferros e todos que a fazem, professores, técnicos, terceirizados, entre outros, por possibilitar o melhor aprendizado durante o curso, obrigado.

“Aprender uma lição sem dor, não tem significado. Isso porque as pessoas não conseguem obter nada sem sacrificar alguma coisa, mas quando elas superam as dificuldades, e conseguem o que querem, as pessoas conquistam um coração forte que não perdem para nada. É, um coração forte como aço! ”

RESUMO

O fenômeno corrosivo é um processo de deterioração dos materiais metálicos que ocorre por conta da interação do meio com o metal. O trabalho consistiu de uma investigação do fenômeno corrosivo na central de tratamento e distribuição de água de Barro Vermelho zona rural de Potiretama-CE. Foi realizado um estudo bibliográfico para fundamentar esse trabalho, posteriormente foram realizadas visitas de campo que possibilitou o registro de objetos em processo de corrosão. Pelo fato de ser um processo espontâneo, a corrosão acarreta prejuízos enormes para todos os segmentos que fazem uso de metais. O trabalho teve como objetivo identificar o triângulo da corrosão afim de propor técnicas para amenizar os impactos causados pelo fenômeno corrosivo. Foi constatado que a adutora apresenta inúmeras formas de corrosão, tendo como maior predominância a corrosão uniforme. Essa corrosão ocasionou a destruição completa de vários elementos da Adutora, e também a destruição parcial de outras. Uma outra corrosão encontrada no local foi no concreto, uma corrosão que pode ser fatal para a estrutura. Neste caso, a corrosão do concreto foi um outro fator de suma importância, visto que o reservatório da adutora apresentou fissuras e orifícios causados pela corrosão do Ferro no seu interior, e esses provocaram o vazamento da água do seu inteiro.

Palavras-chave: Corrosão. Triângulo da Corrosão. Concreto.

ABSTRACT

The corrosive phenomenon is a process of deterioration of metal materials that occurs due to the interaction of the medium with the metal. The work consisted of a corrosive phenomenon research on water treatment and distribution of Barro Vermelho rural Potiretama-CE. A bibliographical study was carried out to support this work, later field visits were carried out which allowed the registration of objects in corrosion process. Because it is a spontaneous process, corrosion causes huge losses for all threads that use metals. The work aimed to identify the triangle of corrosion in order to propose techniques to mitigate the impacts caused by the corrosive phenomenon. It has been found that the pipeline produces multiple forms of corrosion, with greater predominance uniform corrosion. This corrosion caused the complete destruction of various elements of the Pipeline, and also the partial destruction of others. Another corrosion found in the site was in the concrete, a corrosion that can be fatal to the structure. In this case, the corrosion of concrete was another important factor, since the pipeline reservoir showed cracks and holes caused by corrosion of iron in your interior, and these led to the leakage of water from your piece.

Keywords: Corrosion. Triangle of corrosion. Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Mapa do Ceará	18
Figura 2	–	Principais formas de corrosão	21
Figura 3	–	Desagregação do concreto	25
Figura 4	–	Fissura no concreto	25
Figura 5	–	Ataque de agentes agressivos a estrutura	26
Figura 6	–	Processo de carbonatação	26
Figura 7	–	Lixivação	27
Figura 8	–	Representação da Célula Eletroquímica	28
Figura 9	–	Correlação entre o pH e a taxa de corrosão do Ferro	32
Figura 10	–	Triângulo da corrosão	33
Figura 11	–	Processo obtenção e corrosão do Ferro.....	34
Figura 12	–	Esquema do processo convencional de abastecimento de água	40
Figura 13	–	Reservatório da Adutora	40
Figura 14	–	Organograma da pesquisa	41
Figura 15	–	Portão de acesso ao reservatório da Adutora	43
Figura 16	–	Peça substituída da tubulação da Adutora	44
Figura 17	–	Grades de segurança do topo do reservatório da Adutora.....	45
Figura 18	–	Junção dos cabos de sustentação da antena.....	46
Figura 19 (a)	–	Reservatório da Adutora.....	47
Figura 19 (b)	–	Escada de acesso ao topo do reservatório	47
Figura 20	–	Parede do reservatório	48
Figura 21	–	Parede do reservatório com armadura de aço exposta	49
Figura 22	–	Parede do reservatório da Adutora	50
Figura 23	–	Proteção da caixa de registro de fichas	50
Figura 24	–	Aparelho de tratamento da água	51
Figura 25	–	Caixa de depósito de fixas de compra de água.....	52
Figura 26	–	Triângulo da corrosão	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRACO	Associação Brasileira de Corrosão
ABM	Associação Brasileira de Metalurgia
CMDS	Conselho Municipal de Desenvolvimento Sustentável
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
Dr	Doutor
Esp	Especialista
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SAD	Secretaria do Desenvolvimento Agrário
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas
TPC	Taxa de Penetração da Corrosão
PCPR	Plano de Combate à Pobreza Rural
PIB	Produto Interno Bruto
pH	Potencial Hidrogeniônico

LISTA DE SÍMBOLOS

©	Copyright
®	Marca registrada
%	Porcentagem
\$	Cifrão
R\$	Real
E^0	Potencial padrão de redução da célula

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	–	Equação genérica da oxidação	20
Equação 2	–	Oxidação da Prata	21
Equação 3	–	Oxidação do Ferro	21
Equação 4	–	Oxidação do Alumínio	21
Equação 5	–	Reação de oxidação do Ferro	29
Equação 6	–	Reação de redução do Oxigênio	29
Equação 7	–	Formação do Hidróxido de Ferro II	29
Equação 8	–	Formação do Hidróxido de Ferro III	29
Equação 9	–	Redução do Oxigênio	31
Equação 10	–	Oxidação do Ferro	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	POTIRETAMA	18
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1	CORROSÃO	20
3.2	TIPOS DE CORROSÃO	21
3.2.1	Formas de corrosão	21
3.2.2	Corrosão sob Tensão	23
3.2.3	Corrosão no concreto armado	23
3.2.3.1	O concreto	24
3.2.3.2	Processo de corrosão	24
3.3	MECANISMOS DA CORROSÃO	28
3.3.1	Corrosão Eletroquímica	28
3.3.2	Corrosão Química	30
3.3.3	Corrosão Eletrolítica	30
3.4	FATORES QUE INFLUENCIAM NA CORROSÃO	31
3.4.1	Meio corrosivo	31
3.4.1.1	pH	31
3.4.1.2	Umidade relativa	32
3.4.1.3	Poluentes	32
3.5	TRIÂNGULO DA CORROSÃO	33
3.6	AÇO E PROCESSO METALÚRGICO	33
3.7	CORROSÃO COMO PROBLEMA ECONÔMICO	35
3.8	TÉCNICAS DE PREVENÇÃO E PROTEÇÃO	36
3.8.1	Processo de revestimento metálico	36
3.8.2	Processo de revestimento não metálico	36
3.8.3	Tintas	37
3.8.4	Modificação do meio	37
3.8.5	Inibidores corrosivos	37

3.8.6	Proteção catódica	38
3.8.7	Proteção anódica	38
3.9	A ADUTORA	38
3.9.1	Projeto São José	39
3.9.2	Captação, armazenamento, tratamento e distribuição da água	39
4	MATERIAIS E MÉTODOS	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1	PORTÃO	43
5.2	PEÇA DA JUNÇÃO	44
5.3	GRADE	45
5.4	JUNÇÃO DOS CABOS	46
5.5	ESCADA DE ACESSO	47
5.6	PAREDE DO RESERVATÓRIO	48
5.7	PROTEÇÃO DA CAIXA DE FIXAS	50
5.8	APARELHO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	51
5.9	CAIXA DE FICHAS	52
5.10	TRIÂNGULO DA CORROSÃO	53
6	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Não é de hoje que o ser humano vem utilizando os materiais provenientes da natureza para facilitar sua vida. Desde a pré-história o homem usa alguns materiais como, por exemplo, pedra e madeira, úteis na construção de utensílios para caçar. Ao decorrer do tempo essa utilização ficou cada vez mais intensa, então intensificou-se também a busca por outros materiais. Dessa forma, foram descobertos inúmeros materiais, cada um com suas características e propriedades. Pode-se dividir os materiais em seis grandes grupos, os materiais metálicos, materiais cerâmicos, materiais poliméricos, materiais compósitos, os Biomateriais e os materiais semicondutores (CALLISTER, 2008).

Sabe-se que todos os materiais estão sujeitos a interações com o ambiente. Uma dessas interações bastante comum é corrosão que, para Helene (1986 *apud* POLITO, p.19, 2006), “é uma interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica”. Esse processo é bastante comum de se perceber em materiais metálicos pelo fato dos mesmos serem bastantes susceptíveis ao fenômeno.

É possível perceber o fenômeno corrosivo desde o desgaste de uma “palha de aço” usada para a limpeza de utensílios domésticos, ou até mesmo em uma tubulação de metal usadas para transporte de fluidos. Quando se fala em corrosão, não se tem ideia do quanto esse fenômeno afeta a economia de um país ou do mundo. A corrosão gera enormes prejuízos para uma sociedade, tanto econômicos quanto sociais.

Para Barros (2015, p. 1), “o efeito da corrosão pode levar a ocorrência de gastos com a substituição de peças ou equipamentos danificados”. Inácio *et al.* (2012) afirmou que, nos casos onde os reparos ou substituições de peças danificadas pelo fenômeno de corrosão custam pouco, o tempo de parada para a substituição ou reparos geram enormes prejuízos, visto que, a troca ou reparo das peças danificadas provocam estagnação de processos produtivos, o que pode custar muito caro. Ainda assim, pode haver gastos com energia, mão de obra e também com manutenção de processos de proteção anticorrosiva, além de custos relacionados a saúde humana (BARROS, 2015).

De acordo com a *World Corrosion Organization* (Organização Mundial de Corrosão, 2016) cerca de 2,8% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial foi gasto com o combate a corrosão. Então, no momento atual, em que enfrentamos um intenso período de estagnação da economia, a prática de prevenção é ainda mais aconselhada (ABRACO, 2016).

Cavalcante (2010) afirmou que, caso fossem empregados materiais mais resistentes a corrosão nos projetos, bem como a aplicação de técnicas adequadas para prevenir a corrosão, poderia haver uma redução de 30 a 40% nos gastos.

A Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) afirmou que no Brasil o prejuízo causado pelo fenômeno de corrosão é de aproximadamente 5% do PIB, cerca de R\$ 25 bilhões por ano (CAVALCANTE, 2010).

A corrosão é um fenômeno agressivo e espontâneo de interação dos materiais com o meio. Sabendo que esse fenômeno acarreta inúmeros problemas econômicos, se faz necessário uma investigação do assunto, para que se possa utilizar materiais com menores índices gastos e prejuízos.

Os metais são os materiais com uma maior tendência a sofrer com o processo, estes podem reduzir suas propriedades mecânicas, ocasionado pela corrosão (VICENTE, 2013).

De acordo com Martins (2012 *apud* FLORIDO; FREIRE, 2016), existem muitos estudos sendo produzidos para tratar do fenômeno de corrosivo, pois esse processo gera muitos prejuízos financeiros, ao destruir os materiais metálicos e não metálicos que estão em contato com o meio ambiente e causam grandes problemas em suas atividades. Assim, vários autores sugerem que medidas de proteção e técnicas de proteção adequada podem reduzir os gastos gerados pela corrosão em percentuais consideráveis.

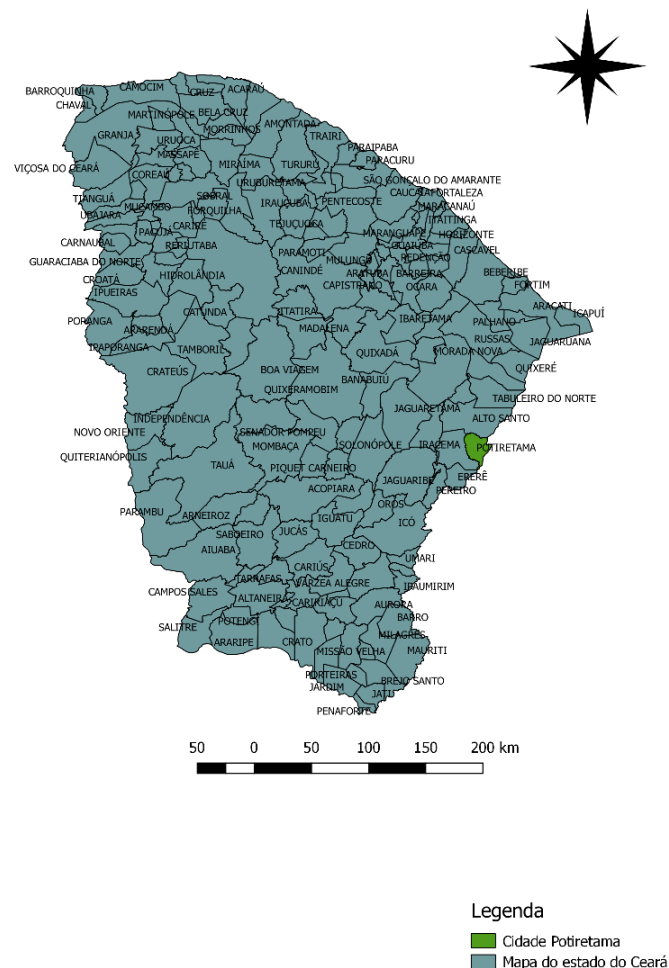
Este trabalho consiste num estudo de caso a respeito do fenômeno corrosivo, o objeto de estudo será a adutora, mas especificamente a central de tratamento e distribuição de água do Sítio Barro Vermelho, zona rural da cidade Potiretama, no estado do Ceará. A obra é referente ao Projeto São José, desenvolvido pela Secretaria do Desenvolvimento Agrário do estado do Ceará, foi implementada em 2004, e tinha como responsável a empresa CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará), com a supervisão da SOHIDRA (Superintendência de Obras Hidráulicas).

A adutora encontra-se hoje em estado crítico. Em inúmeros pontos da parede do reservatório de armazenamento de água, é possível observar orifícios e rachaduras onde a água no seu interior escoava para fora. Ao redor desses orifícios observa-se substância escura de cor laranja-avermelhada, que a priori pode ser o produto de corrosão da estrutura de aço no interior da parede do reservatório. Em alguns pontos é possível ver o concreto desagregando, expondo assim a armadura de aço. Além disso, outras estruturas de metal presentes no local estão em completo ou parcial estado de deterioração.

1.1 POTIRETAMA

Potiretama é um município do interior do estado do Ceará, está localizada na região do Vale do Jaguaribe, situada a cerca de 300 *km* de distância da capital Fortaleza. De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a cidade possuía em 2010 cerca de 6.126 habitantes, e a previsão para 2017 é de 6.356 habitantes. Ainda de acordo com dados de IBGE a área total do município é aproximadamente de 410,338 *km*², e possui uma densidade demográfica de 14, 93 *hab/km*² em 2010. Além disso, a cidade faz divisa com duas cidades do estado do Rio Grande do Norte, Severiano Melo e Rodolfo Fernandes. A Figura 1 mostra o mapa do estado do Ceará enfatizando a cidade de Potiretama.

Figura 1: Mapa do Ceará.



Fonte: Próprio autor (2017).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo acerca do fenômeno corrosivo na central de tratamento e distribuição de água (adutora) do Sítio Barro Vermelho situada na zona rural da cidade Potiretama estado do Ceará.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Evidenciar o processo corrosivo, através das reações entre o metal e o meio;
- ✓ Identificar as formas de corrosão encontradas;
- ✓ Identificar os fatores que influenciam na velocidade da corrosão;
- ✓ Montar o triângulo de corrosão, evidenciando metal, meio e condições operacionais;
- ✓ Propor soluções com técnicas preventivas/protetivas contra o processo de corrosão evidenciado no estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CORROSÃO

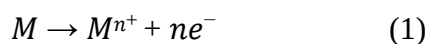
Corrosão é o fenômeno de destruição de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, que pode estar associada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 2011).

O fenômeno corrosivo é resultado da decorrência de ataques de substâncias presente no meio ao metal, que é transformado em um composto não desejado por meio de reações de oxidação e de redução (BROWN *et al.*, 2005).

De acordo Callister (2008), no processo corrosivo, o metal reage com as substâncias presentes no ambiente que, por sua vez, recebe elétrons do metal, transformando-o em óxido, hidróxido ou sal, ocasionando então a perda de massa do metal.

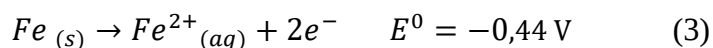
O processo corrosivo dos metais geralmente é um processo eletroquímico, ou seja, o processo que envolve a transferência de elétrons de uma espécie para outra, este processo é chamado oxirredução. Como os metais são substância que possuem muitos elétrons livres, os mesmos têm a maior tendência de cede-los, ocasionando assim a chamada reação de oxidação. E, enquanto que a substância que reage com o metal ganha os elétrons do mesmo, ocasionando a reação de redução. A quantidade de elétrons perdidos varia para cada material, então, cada substância possui uma característica intrínseca (MAIA *et al.*, 2015).

Segundo Gentil (2011), tanto a reação de oxidação (perdas de elétrons), quanto reação de redução (ganho de elétrons) acontecem simultaneamente, havendo assim o equilíbrio da quantidade de elétrons cedidos e recebidos. Ainda para Gentil (2011), é possível representar a reação de oxidação do metal de acordo com a reação genérica (1):



Onde M é um metal qualquer, n a quantidade de elétrons cedidos na reação e e^{-} é a unidade de representação do elétron.

Anteriormente, de acordo com Maia *et al.* (2015), foi explanado que a quantidade de elétrons cedidos na reação de oxidação varia para cada metal, assim, para a Prata, Ferro e o Alumínio, pode-se evidenciar pelas reações (2), (3) e (4):



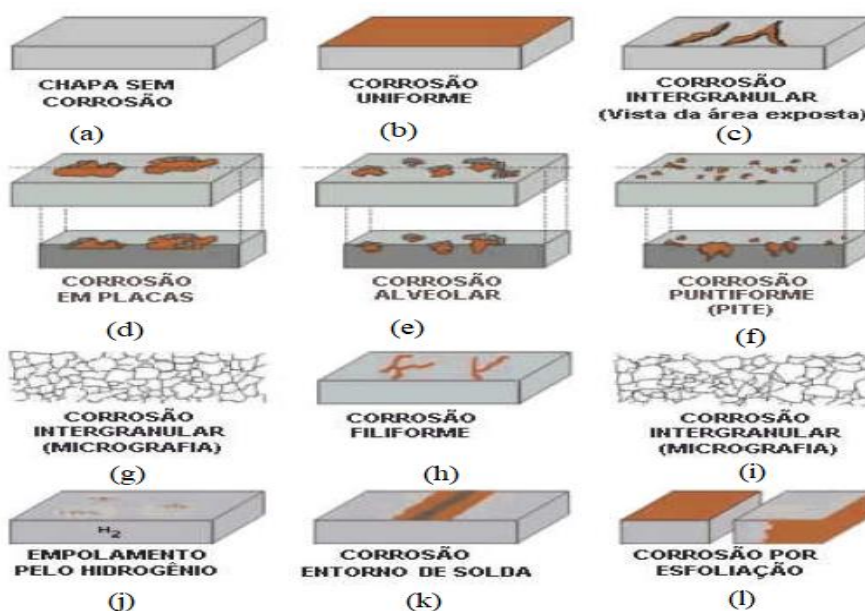
A corrosão pode ser classificada de acordo com a sua forma (morfologia), e também pode ser classificada pela sua natureza. Pela natureza do processo, a corrosão pode ser química ou eletroquímica. De acordo com sua morfologia, a corrosão pode ser uniforme, por pites, por placas, alveolar, intergranular, intragranular, filiforme, esfoliação, corrosão gráfitica, dezincificação, em torno do cordão de solda e empolamento por hidrogênio (POLITO, 2006).

3.2 TIPOS DE CORROSÃO

3.2.1 Formas de corrosão

Segundo Gentil (2011), conhecer a morfologia da corrosão pode ser um aliado muito importante para prevenir o fenômeno. Gentil (2011) ainda aponta os principais tipos de corrosão que é mostrado a seguir.

Figura 2: Principais formas de corrosão.



Fonte: Gentil (2011) /Adaptada.

Uniforme: Como o nome sugere, a corrosão ocorre por toda a superfície do metal, ou seja, o óxido do metal ou produto da corrosão está distribuída uniformemente por toda a área superficial do metal, esse tipo de corrosão é um dos tipos mais comuns de ser encontrada no cotidiano, observamos por exemplo em pregos que ficam expostos a atmosfera por muito tempo.

Por Placas: Nesse tipo de corrosão ocorre o desprendimento de camadas de óxido do metal em formatos de placas, que pode ou não ser uma decorrência da corrosão uniforme.

Alveolar: É uma corrosão localizada que se caracteriza por perfurações no metal com formato de alvéolos cujo diâmetro é maior que a profundidade que se encontra o orifício.

Puntiforme ou pites: Também é um tipo de corrosão localizada que se caracteriza por uma perfuração no material metálico, no entanto, na corrosão por pites a profundidade do seu orifício é maior que o diâmetro e, na maioria dos casos, essa forma de corrosão é encontrada em aços inoxidáveis.

Intergranular: A corrosão desse tipo ocorre nos entre os grãos da rede cristalina do material perdendo assim as suas propriedades mecânicas, que pode possibilitar a ruptura do material.

Intragranular: Diferente da corrosão intergranular, nesse tipo de corrosão o ataque se encontra dentro dos grãos da rede cristalina dos materiais, podendo ocorrer a ruptura com o menor esforço mecânico.

Filiforme: Essa corrosão se apresenta na forma de finos filamentos e ocorrem geralmente em superfícies metálicas revestidas com tintas, possibilitando assim a descoloração do material.

Esfoliação: Se apresenta de forma paralela à superfície, geralmente encontra-se em chapas ou também em componentes extrudados que tiveram seus grãos alongados e achatados.

Corrosão gráfitica: É processada no Ferro fundido cinzento, onde em temperatura ambiente o Ferro oxida, restando apenas a grafite. Observa-se no local uma mancha escura, sendo de fácil remoção.

Dezincificação: Ocorre nas ligas metálicas de zinco e cobre, o zinco oxida-se restando apenas o cobre, é verificado pela coloração avermelhada do metal após a corrosão.

Empolamento por hidrogênio: Nesse fenômeno, o hidrogênio atômico penetra o material metálico, por ter um volume atômico pequeno ele se propaga muito facilmente nas regiões com descontinuidade, como vazios, que se transforma em hidrogênio molecular, originando bolhas por exercer uma pressão nas moléculas do metal.

Em torno do cordão de solda: Esse tipo de corrosão acontece em torno do cordão de solda, geralmente é observado em aços inoxidáveis não estabilizados, e em aços com percentuais superiores a 0,03% de carbono.

3.2.2 Corrosão sob Tensão

A corrosão sob tensão é um processo destrutivo que ocasiona a alteração nos materiais sujeitos a um meio corrosivo, que ocorre por conta da aplicação de uma tensão de tração, resultando no desenvolvimento de trincas nos materiais, fazendo com que os mesmos não atendam mais a sua função determinada na seleção (VICENTE, 2013).

Para Arruda (2009), um ponto importante de observar da corrosão sob tensão é que nesse processo não se nota quase nenhuma perda de massa do material até sua ruptura. Segundo o autor, o tempo de duração da corrosão do material depende de vários fatores, como visto a seguir:

- ✓ Tensão;
- ✓ Concentração ou natureza do meio corrosivo;
- ✓ Temperatura;
- ✓ Estrutura da composição do material;
- ✓ Estrutura Cristalina.

3.2.3 Corrosão no concreto armado

Segundo Santos (2015), a corrosão na armadura do concreto é um dos principais problemas do concreto armado, mesmo sendo uma mistura de materiais versátil e durável, o concreto está sujeito ao fenômeno corrosivo, podendo ser resultado de vários mecanismos.

A corrosão é um tipo de patologia que nas estruturas de concreto armado se apresenta de forma silenciosa, o fenômeno é observado apenas quando surgem anomalias na superfície do concreto. Os fatores que contribuem para o avanço do fenômeno são a falta de manutenção periódica e a falta de adoção de técnicas apropriadas para a avaliação e proteção (ARAÚJO, 2013).

3.2.3.1 O concreto

Para Padilha (2007), o concreto é um material compósito, ou seja, é um material resultado da junção de dois ou mais materiais diferentes com o objetivo de adquirir as melhores características de ambos. O concreto é um compósito cuja matriz e o reforço são materiais cerâmicos, sua matriz é o cimento Portland e o reforço é constituído do volume entre 60 e 80% de areia e brita. Além disso, o concreto também pode ser reforçado com barras, ou até mesmo com um esqueleto de aço, sendo assim o tão conhecido concreto armado.

3.2.3.2 Processos de corrosão

O pH elevado nos poros do concreto possibilita a formação de uma camada protetora que envolve o aço impedindo assim a corrosão. Assim, para que haja a destruição do aço no interior do concreto é necessário a despassivação, que pode ocorrer devido ao ataque de íons cloretos e a carbonatação. O processo de corrosão neste caso é eletroquímico, no meio aquoso, que requer um eletrólito, oxigênio, diferença de potencial e também agentes agressores (SANTOS, 2015).

Os principais fatores que provocam a existência da corrosão nas estruturas de concreto são a desagregação do concreto devido a processo físico-mecânico e também a degradação devido ao processo físico-químico. O processo físico-mecânica está associado a dois problemas: a desagregação conforme a Figura 3, que devido ao contato do concreto com gases, líquidos e partículas ocasionam a erosão, cavitação e abrasão (ARAÚJO, 2013).

Figura 3: Desagregação do concreto.



Fonte: AECWEB, 2016.

E o outro problema é a fissura, que pode ser observada na Figura 4. A fissura é causada por variações térmicas, sobrecargas e vibrações na estrutura (ARAÚJO, 2013).

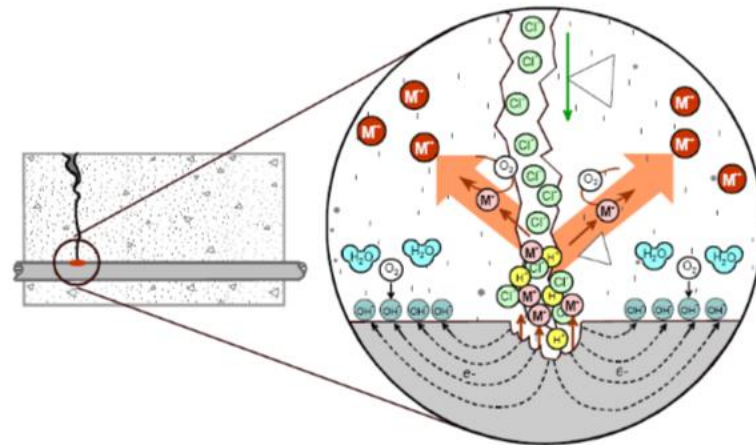
Figura 4: Fissura no concreto.



Fonte: AECWEB, 2016.

Segundo Araújo (2013), uma vez que a estrutura apresenta uma fissura, esta independente da origem ou do tamanho, irá facilitar a penetração de agentes agressivos, assim possibilitando a corrosão da armadura no interior do concreto. Observa-se na Figura 5 o processo do ataque de agentes agressivos.

Figura 5: Ataque de agentes agressivos a estrutura.



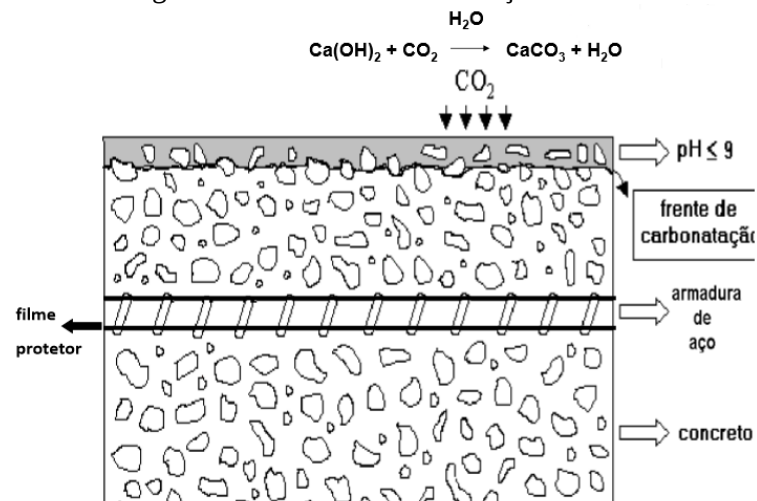
Fonte: Araújo (2013).

Para Araújo (2013) a degradação do concreto por ação físico-químico possui três processos diferentes, a carbonatação, lixiviação e disgregação.

- Carbonatação

Este processo gera a redução do pH do concreto, e a eflorescência, os agentes agressivos causadores geralmente são o dióxido de carbono (CO_2), água moles e acidas. O CO_2 como citado é um dos agentes agressivos, assim com a penetração do mesmo nos poros e capilares do concreto ocorrem reações em que o filme protetor é destruído devido a redução do pH (ARAÚJO, 2013). O processo pode ser evidenciado pela Figura 6, a seguir.

Figura 6: Processo de carbonatação.

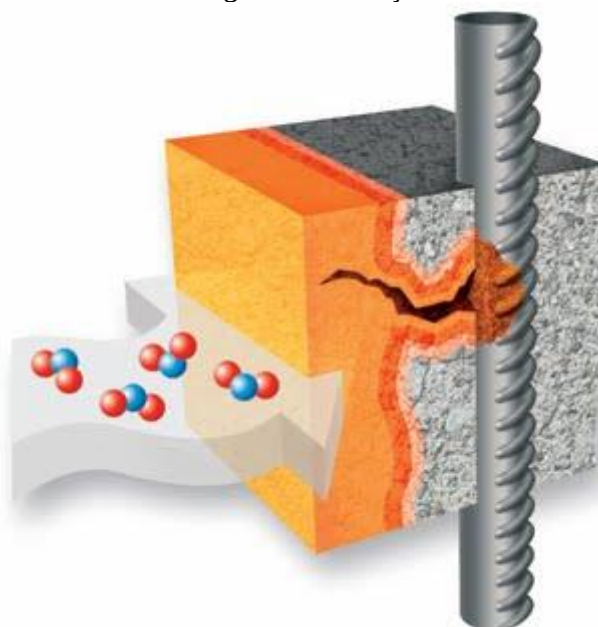


Fonte: Araújo (2013).

- Lixiviação

O processo de lixiviação aumenta a porosidade e diminui a resistência do concreto, pois esse processo é resultado da retirada de substâncias da pasta do cimento e dos agregados. Esse processo é geralmente causado pelo contato da água com o concreto. O Hidróxido de Cálcio ($Ca(OH)_2$) presente no cimento ao entrar em contato a água é carregado para fora da superfície do concreto, esse processo é denominado Lixiviação (ARAÚJO, 2013). A Figura 7 apresenta uma imagem do processo de lixiviação no concreto.

Figura 7. Lixiviação.



Fonte: DANNTEC (2016).

- Disgregação

Conforme Araújo (2013), nesse processo há a formação de produtos expansivos, diminuindo a resistência mecânica e a integridade do material, provocada por ação de sulfatos (SO_4^{-2}) e reações álcali-agregados.

Por fim, depois da destruição do filme protetor o metal fica desprotegido e susceptível a corrosão, que em geral é eletroquímica, e no concreto é possível identificar uma das seguintes anomalias: mancha de oxidação (lixiviação dos produtos de corrosão), disgregação (fissura e emplacamento) e exposição da armadura (perda de seção e de aderência) (ARAÚJO, 2013).

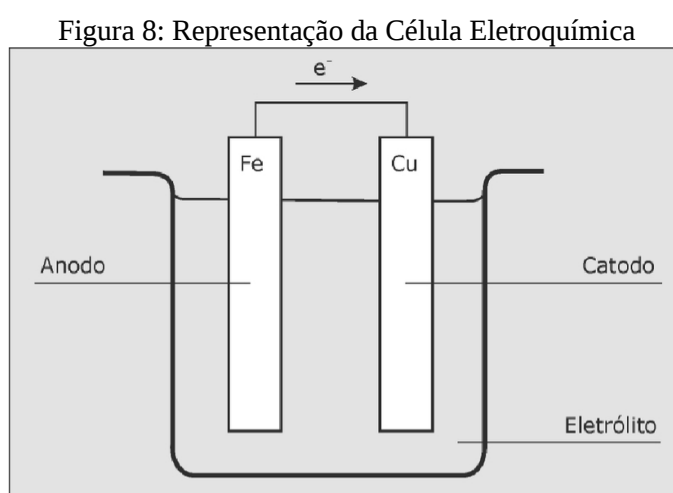
3.3 MECANISMOS DA CORROSÃO

A corrosão metálica possui uma infinidade de mecanismos e formas, no entanto, em geral, a corrosão envolve o processo eletroquímico. Os mecanismos de corrosão podem ser divididos mais simplificadamente em quatro grupos, corrosão em meios aquosos (90%), oxidação e corrosão à quente (8%), corrosão em meios orgânicos (1,8%) e corrosão por metais líquidos (0,2%) (ARRUDA, 2009).

3.3.1 Corrosão Eletroquímica

Neste caso, para que haja o fenômeno de corrosivo se faz necessário quatro elementos, o primeiro é o ânodo, o segundo o cátodo, o terceiro o eletrólito e por último uma ligação metálica entre o cátodo e o ânodo, assim, todos esses elementos formam uma célula eletroquímica (SERRA, 2014). O ânodo é o agente redutor, ou seja, o material que oxida na reação, e que força o cátodo a reduzir, sendo esse o agente oxidante, o eletrólito serve para o transporte dos íons durante as reações, e a ligação metálica serve para a transferência de elétrons do ânodo para o cátodo.

A Figura 8 representa a célula eletrolítica, cujo o ânodo é o Ferro e o cátodo é o cobre, o eletrólito nesta figura não é especificado, podendo ser um meio qualquer, como água ou mesmo o ar.



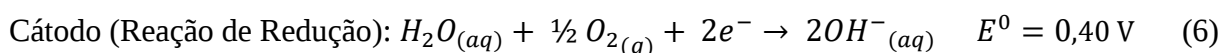
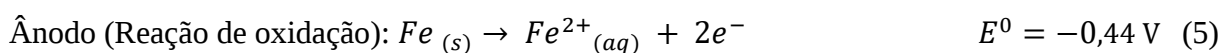
Fonte: Serra (2014).

Na figura (8), a célula eletroquímica possui os eletrodos, o ânodo e o cátodo diferentes e, segundo Serra (2014), esse é um dos tipos de célula eletroquímica. De acordo com o autor há

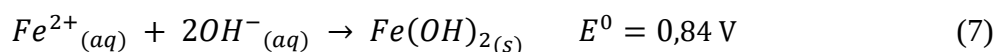
também a célula de concentração cujos eletrodos são iguais, porém a concentração do eletrólito em que cada um é imerso são diferentes. Existe também a célula eletroquímica de temperatura, nesta célula os eletrodos são iguais, e são imersos no mesmo tipo de eletrólito, no entanto, a temperatura dos eletrólitos são diferentes.

Quando o metal entra em contato com eletrólito há a formação de uma pilha de condução, já que o eletrólito, envolve ao mesmo tempo áreas anódicas e áreas catódicas do elemento metálico (FLORIDO; FERIRE, 2016).

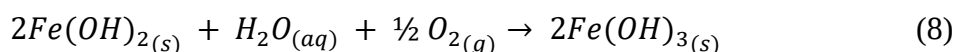
A formação da ferrugem é um exemplo de corrosão eletroquímica, visto que o Ferro oxida facilmente na presença de umidade, resultando nas reações (5) e (6) (FLORIDO; FERIRE, 2016).



As reações fazem com que haja a formação de hidróxido de Ferro $[Fe(OH)_2]$, pois há a movimentação dos íons cátions Fe^{2+} para ao polo negativo, e os ânions OH^{-} para o polo positivos (FLORIDO; FREIRE, 2016). A reação 7 demonstra a formação do Hidróxido de Ferro II.



Em meio que apresente oxigênio esse composto se transforma em Hidróxido de Ferro (III) $Fe(OH)_3$, que por sua vez, que ao perder água transforma-se em Óxido de Ferro (III) mono-hidratado $(Fe_2O_3 \cdot H_2O)$, possuindo uma cor castanho-avermelhada (FLORIDO E FREIRE, 2016). O processo de transformação de Hidróxido de Ferro (II) para Hidróxido de Ferro (III) pode ser observado na reação (8):



O processo eletroquímico ocorre também quando dois metais, um inerte e o outro não inerte, são ligados por um condutor e imersos em um eletrólito, assim há a formação de uma

pilha galvânica. Neste caso, se o eletrólito for por exemplo a água, ela sofrerá redução, enquanto que o eletrodo não inerte sofrerá oxidação (FLORIDO; FREIRE, 2016).

3.3.2 Corrosão Química

Segundo Gentil (2007 *apud* FLORIDO; FREIRE, 2016) a corrosão química ocorre por causa de ataques de algum tipo de agente químico sobre o metal. Este processo não necessita da presença de água, e também não existe a transferência de elétrons. De acordo com a literatura pode-se citar alguns exemplos como:

- ✓ Solventes ou algum agente oxidante que podem quebrar moléculas de polímeros e degradando-as;
- ✓ Ácido sulfúrico em contato com zinco metálico;
- ✓ Concreto armado de construções sofrendo corrosão por agentes poluentes.

No mecanismo químico, existem reações químicas diretas entre o material metálico, ou não metálico, e o meio corrosivo, não havendo geração de corrente elétrica, ao contrário do mecanismo eletroquímico (MONTEIRO, 2016, p. 22).

3.3.3 Corrosão Eletrolítica

O fenômeno de corrosão eletrolítica ocorre por causa da diferença de potencial elétrico entre duas áreas da superfície de um metal. Esta diferença de potencial pode estar associada a inúmeros fatores, como diferença na composição do material, diferença no tamanho da estrutura cristalina, diferença química, diferença de aeração, descontinuidade nos filmes superficiais, entre outros. A diferença de potencial elétrico faz com que os elétrons se movam da área anódica para a área catódica, formando assim uma célula de corrosão eletrolítica (GENTIL 2007 *apud* FLORIDO; FREIRE, 2016).

3.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA CORROSÃO

3.4.1 Meio corrosivo

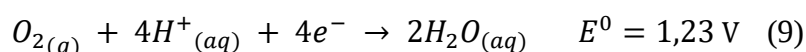
A corrosão está diretamente ligada ao meio em que se encontra o material, pois a mesma depende essencialmente das condições do meio eletrólito (OLIVEIRA, 2012).

Para Oliveira (2012), o meio corrosivo é considerado o fator mais importante no fenômeno de corrosão. De acordo com o autor, os meios corrosivos podem ser os mais diversos, como atmosfera, águas, o solo, ambientes industriais, meios em que há produtos químicos, onde haja solventes orgânicos, dentre outros.

3.4.1.1 pH

De acordo com Maia *et al.* (2015, p.72) quanto mais ácido o ambiente (maior concentração de íons H^+), maior a velocidade de oxidação das estruturas metálicas. Para a corrosão do Ferro, por exemplo, é possível representar as reações de oxirredução da seguinte forma, de acordo com as reações (9) e (10):

Redução do O_2 por ação dos íons Hidrogênio:

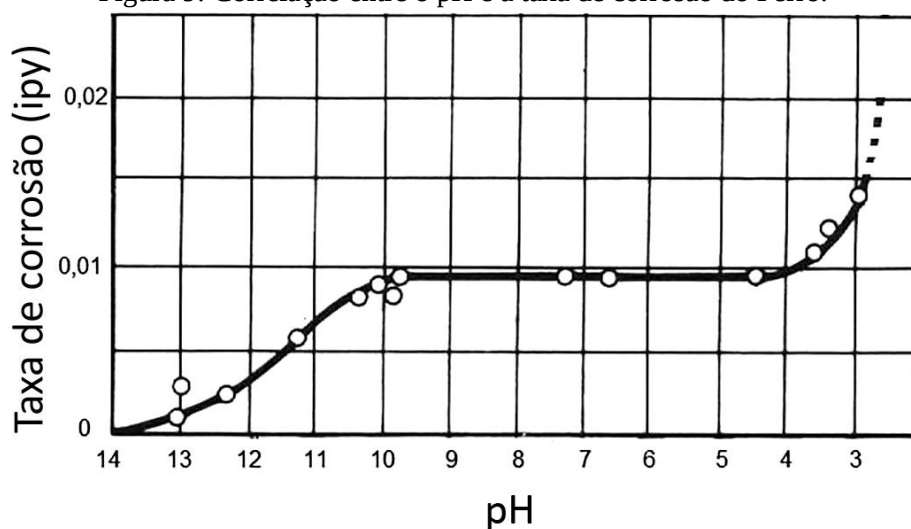


Oxidação dos íons metálicos:



Na Figura 9 é possível observar o efeito da acidez na velocidade de corrosão do Ferro em água aerada e a temperatura ambiente.

Figura 9: Correlação entre o pH e a taxa de corrosão do Ferro.



Fonte: Gentil, 2011.

Na faixa de valores de pH abaixo de 4 observa-se que a taxa de corrosão sofre uma intensificação, ou seja um aumento da corrosão. Em valores de pH acima de 10 nota-se que a taxa de corrosão do Ferro diminui, pois na presença de álcalis e Oxigênio dissolvido o Ferro se torna passivo (MAIA *et. al.*, 2015).

3.4.1.2 Umidade relativa

De acordo com Arruda (2009), a umidade afeta diretamente a ocorrência do fenômeno corrosivo, para ele o aumento da umidade relativa da atmosfera acentua de forma brusca a velocidade do fenômeno. Segundo o autor o Ferro numa atmosfera de baixa umidade praticamente sofre corrosão. O Ferro na atmosfera cuja umidade relativa é aproximadamente 60% não sofre corrosão, no entanto, quando numa a atmosfera com umidade acima de 70% o processo corrosivo é acelerado.

3.4.1.3 Poluentes

Segundo Arruda (2009), a presença de partículas sólidas sob a forma de poeira tornam mais corrosiva a atmosfera, pois influencia na deposição de materiais não metálicos, como o dióxido de silício (SiO_2), apesar de não atacar o metal diretamente, além disso cria condições de aeração diferencial, influenciando na corrosão localizada embaixo do depósito.

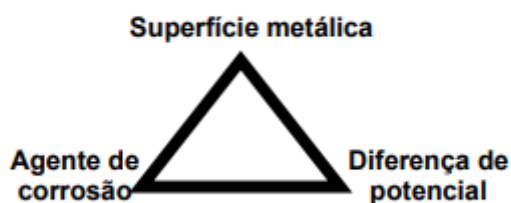
Os poluentes mais evidenciados ou os mais importantes são o dióxido de enxofre (SO), os vários óxidos de nitrogênio (NO_x), os cloretos e as poeiras que se depositam sobre a superfície metálica (PANNONI, 2007).

Do ponto de vista da corrosão, os cloretos (presentes especialmente nas regiões marinhas) e o SO_2 (proveniente da combustão de combustíveis fósseis, como o carvão, e de atividade vulcânica) são as espécies mais importantes. O SO_2 é o responsável pelas chuvas ácidas, porque forma, reagindo com a água, ácido sulfuroso (H_2SO_3) ou ainda, em contato com a água e o oxigênio (na presença de catalisadores como os íons ferrosos), ácido sulfúrico (H_2SO_4) (PANNONI, 2007, p. 21).

3.5 TRIANGULO DA CORROSÃO

Para que se inicie o processo corrosivo são necessários três elementos: a superfície metálica, o agente de corrosão e a diferença de potencial (ÁVILA *et al.*, 2012). A Figura 10 a seguir representa o triângulo de corrosão.

Figura 10: Triângulo da corrosão



Fonte: Ávila *et al.* (2012)

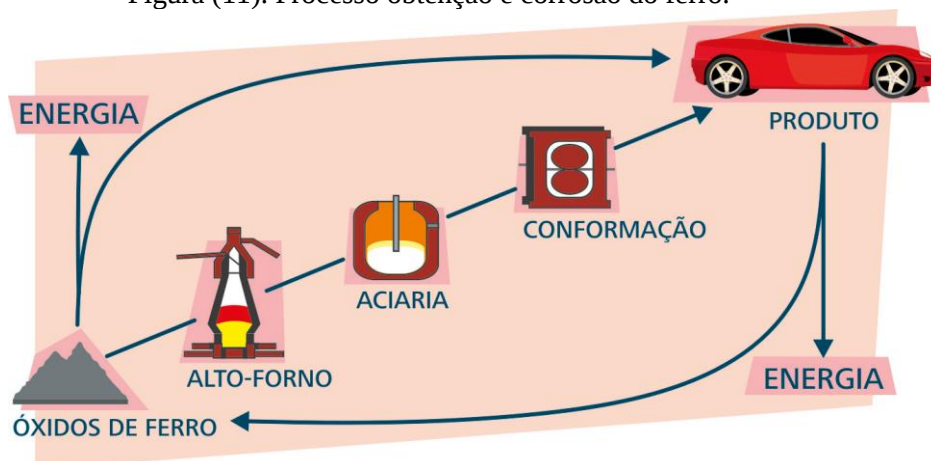
Segundo Gentil (2011), a existência do triângulo de corrosão é justificada devido a existência de três elementos fundamentais, sendo eles o material metálico, o meio corrosivo e as condições operacionais.

3.6 AÇO E PROCESSO METALÚRGICO

Um dos materiais mais utilizados no mundo é o aço, constituído principalmente de uma liga de Ferro e carbono, o Ferro presente nessas ligas quando expostas ao Oxigênio e à água (O_2 e H_2O), sofrem danos e formam o produto da corrosão, a ferrugem, que se caracteriza por ser uma mistura de óxidos e Hidróxidos de Ferro hidratados (MAIA *et al.*, 2015).

Para Oliveira (2012), todo produto industrial de conformação e produção de aço, de Ferro, das ligas metálicas em geral, quando ocorrerem reações com perda de energia geram produtos de corrosão, ou seja, passarão por um processo de degradação física, química e mecânica, o que pode ser exemplificada no fluxograma da Figura 11.

Figura (11). Processo obtenção e corrosão do ferro.



Fonte: Pannoni (2008 *apud* Oliveira, 2012).

Normalmente os metais quase nunca são encontrados em estado puro. Geralmente eles são encontrados misturados com outras substâncias, tanto com metais, quanto não metais. De modo geral, os óxidos são a forma dos minérios (PANNONI, 2007).

O processo de produção do Ferro passa por diversas etapas para a extração do metal puro, cada etapa requer uma certa quantidade de energia para que ocorra, assim sendo, pode-se afirmar que o processo de obtenção do Ferro requer um alto gasto energético, e por sua vez ocasiona gastos financeiros.

Segundo Pannoni (2007), o processo de obtenção do aço mais comum sendo que o aço em uma de suas etapas passa pelo alto-forno e aciaria equipada com conversor. As principais matérias primas deste processo são o minério de Ferro, coque e fundente. De acordo com o mesmo, 60% de todo aço do mundo é obtido desta maneira. O processo pode ser observado também na Figura 11.

O fenômeno corrosivo pode ser interpretado como o inverso da metalurgia. Enquanto o processo de metalurgia é a obtenção do metal, que necessita de energia para ocorrer, no processo corrosivo há a liberação de energia e a degradação do material metálico, fazendo com que o mesmo volte a seu estado de óxido (GENTIL, 2011).

3.7 CORROSÃO COMO PROBLEMA ECONÔMICO

A importância de um fenômeno está ligada a determinado custo imposto à sociedade pela sua ocorrência, ou seja, a importância desse fenômeno é medida através influência negativa que o mesmo traz a vida das pessoas (SERRA, 2014).

Para Campos *et al.* (2016, p. 20), “a corrosão causa problemas frequentes nos mais diversos setores onde são empregados, prejudicam a durabilidade e desempenho de estruturas, máquinas, equipamentos e ferramentas”. De acordo com os mesmos, o conhecimento do assunto é indispensável para prevenir impactos econômicos.

Segundo Oliveira (2012), estima-se que 20% da produção total de aços é usado para repor peças que foram danificadas pelo fenômeno corrosivo.

Segundo Serra (2014), o primeiro levantamento de custos causados pela corrosão nos Estados Unidos foi em 1965, realizado pela *National Bureau of Standards* (NBS, hoje em dia NIST, Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA), foi estimado um gasto anual de cerca de 10 bilhões de dólares. Ainda de acordo com o autor, em 1975 o custo foi maior ainda, cerca de 70 bilhões de dólares, o que foi neste ano aproximadamente 4,2 % do PIB do país. Os Estados Unidos já chegaram a alcançar uma quantia de 275 bilhões de dólares de prejuízo por conta do fenômeno corrosivo.

Para Serra (2014), a distribuição percentual dos custos com a corrosão no EUA está representada nos seguintes pontos:

- ✓ Tubulação para transporte de petróleo, gás natural e líquidos agressivos - 31%;
- ✓ Tanques para armazenamento de substâncias tóxicas – 31%;
- ✓ Pontes e viadutos – 37%;
- ✓ Portos e canais – 1%.

Serra (2014) diz que no Brasil é tomado como valor médio de custo anual com a corrosão 3,5 % do PIB, no entanto, ele afirma que o levantamento nunca foi feito de maneira abrangente e sistemática, sendo levado em conta alguns segmentos industriais.

De 60% da produção interna de aço do Brasil, cerca de dois terços (2/3), o que é 40% da produção total, se transformam em sucata e um terço (1/3), os outros 20% da produção interna total é destruído pela corrosão (OLIVEIRA, 2012).

3.8 TÉCNICAS DE PREVENÇÃO E PROTEÇÃO

Campos *et al.* (2016) afirmou que para minimizar e prevenir os prejuízos gerados pelo processo de corrosão necessita-se da busca por novas formas de proteger e impedir a ação corrosiva provocada pelo meio nos metais.

Para que sejam amenizados os efeitos do processo corrosivo, é necessário pensar em soluções ainda na fase de projeto. Deve ser considerado a finalidade final do material, assim havendo uma previsão dos fatores que possam vir a auxiliar o processo de deterioração do material. Deve ser levado em conta a resistência do material, e dimensões do mesmo, assim como é aconselhado o uso de revestimentos, inibidores de corrosão, técnicas eletroquímicas; inspeção, manutenção e reparação (CAMPOS *et al.*, 2016).

3.8.1 Processo de revestimento metálico

Utilizam-se os metais para revestimento anticorrosivo em caso de materiais onde formem uma película protetora, os óxidos, hidróxidos e outras substâncias que reagem com o meio, desde que esses sejam aderentes ao material. Destacam os mais comuns o alumínio, o cromo, o níquel e o zinco. Empregam-se os metais no revestimento tanto pela sua resistência, quanto pela finalidade decorativa, além de sua função elétrica e endurecimento superficial. Assim, com esse processo, o metal base é protegido, sendo o cátodo da pilha, e o metal de revestimento é o ânodo, comum entre o aço-carbono e o Ferro revestido com Zinco e Cádmio (OLIVEIRA, 2012).

3.8.2 Processo de revestimento não metálico

Os compostos inorgânicos como esmaltes vitrosos, vidros, porcelanas, cimentos, óxidos, carbetos, nitretos, boretos e silicetos, a depender de suas características particulares, quando depositados diretamente na superfície dos metais se comportam como protetores. Os processos de proteção por revestimentos não metálicos são a anodização, a cromatização e a fosforização. (OLIVEIRA, 2012).

Para Oliveira (2012, p.63), “os materiais cerâmicos são aplicados por plasma e quando misturados ao metal em pó, resistem a corrosão e a intensa abrasão”. Ainda para o autor, os cimentos e porcelanas promovem proteção à ação da água salgada, além disso essas substâncias são resistentes a meios alcalinos e a alguns ácidos.

3.8.3 Tintas

O processo de pintura para a proteção anticorrosiva é um dos mais simples, e por isso um dos mais empregados. No processo usual, primeiramente limpa-se o material, em seguida é aplicado o primer, ou pintura anticorrosiva, e por fim é aplicado a tinta de acabamento.

Os processos de pintura podem ser por imersão simples ou eletroforética, por aspersão, a trincha e a rolo. A imersão simples é pelo banho de tinta, e a imersão eletroforética é por polarização em banho de tinta. A aspersão é feita através de ar comprimido, podendo ser simples (convencional) ou a quente (alta viscosidade), sem ar, com pressões elevadas enquanto a aspersão eletrostática (ddp), ou seja, por diferença de potencial e finalmente o processo a rolo utilizado para grandes áreas (OLIVEIRA, 2012, p. 70).

3.8.4 Modificação do meio

O fenômeno corrosivo pode ser evitado por meio da manipulação do pH e da desaeração, tendo em vista que o pH controlado favorece a passivação dos metais enquanto a diminuição do oxigênio do meio provoca a polarização catódica, fazendo com que diminua a intensidade do fenômeno corrosivo (FLORIDO; FREIRE, 2016).

3.8.5 Inibidores corrosivos

Os inibidores de corrosão são substâncias que em proporções adequadas no meio corrosivo reduzem ou eliminam a corrosão, esses elementos tem sido um dos melhores métodos para prevenir a corrosão (GENTIL, 2011).

Segundo Gentil (2011), para ter uma boa eficiência na utilização dos inibidores é preciso considerar quatro aspectos importantes: causa da corrosão do sistema, que tem a finalidade de identificar os problemas para solucionar com os inibidores; o segundo é o custo da utilização dos inibidores; o terceiro é conhecer as propriedades e mecanismos dos inibidores, com o objetivo de ter uma adequação dos inibidores com o processo corrosivo; e por fim o quarto são as condições adequadas de adição e controle.

Ainda segundo Gentil (2011), existem inúmeras classificações de inibidores, quanto a composição e quanto ao comportamento. Quanto a composição os inibidores podem ser orgânicos e inorgânicos. Quanto ao comportamento podem ser oxidantes, não-oxidantes, anódicos, catódicos e de adsorção.

3.8.6 Proteção catódica

Essa técnica está sendo bastante utilizada no Brasil em instalações metálicas enterradas, submersas e em contato com eletrólito (GENTIL, 2011).

Segundo Gentil (2011), proteger catodicamente um material significa eliminar por completo as áreas anódinas desse material, forçando artificialmente a estrutura adquirir comportamento catódico. Existe dois mecanismos de proteção catódica, por ânodo de sacrifício e por corrente impressa.

No processo por ânodo de sacrifício há a geração de corrente devido as reações entre o metal que se deseja proteger e o metal de sacrifício, assim o metal de sacrifício irá se deteriorar enquanto que o outro continuará inerte. Já na proteção catódica por meio da corrente impressa, é gerado uma corrente elétrica pela força eletromotriz, assim fornecendo a energia necessária para a proteção da estrutura (GENTIL, 2011).

3.8.7 Proteção anódica

A proteção anódica consiste no fornecimento de uma corrente elétrica continua ao metal que o força a oxidar continuamente, assim formando um filtro ou barreira protetora. A desvantagem desse processo é que essa corrente fornecida para a oxidação do metal tem que ser 100% ininterrupta, pois caso venha a falhar a película se desfaz e o metal começa a se deteriorar (GENTIL, 2011). Essa técnica não é aplicada no Brasil justamente por não ter garantia de uma corrente elétrica ininterrupta.

3.9 A ADUTORA

A adutora de Barro vermelho foi uma obra desenvolvida em 2004 pela Secretaria do Desenvolvimento Agrário do estado do Ceará. O projeto teve como empresa responsável de execução a CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará), com a supervisão da SOHIDRA (Superintendência de Obras Hidráulicas). A adutora foi um programa de melhoria das condições de vida da população rural. O programa em questão foi o Projeto São José.

Pode ser destacada uma questão interessante a respeito da água dessa adutora. É percebido que a água captada e distribuída diretamente as casas, não é propícia ao consumo humano, pois a água ao ser analisada de modo rústico, apenas por meio do paladar, nota-se uma salinidade grosseira. No entanto, quando a água passa pelo processo de tratamento, a mesma

fica própria ao consumo humano. De acordo com o orçamento apresentado pela empresa, a obra custou um total de R\$ 106.372,33.

3.9.1 Projeto São José

Plano de Combate à Pobreza Rural (PCPR/CE) - Projeto São José, foi uma iniciativa da Secretaria do Desenvolvimento Agrário do estado do Ceará que tinha o intuito de fortalecer a infraestrutura básica e aumentar a organização da agricultura familiar.

O projeto era implementado em comunidades rurais cujo total de famílias por comunidade era 70. Esse projeto foi implementado em cerca de 177 municípios do Ceará até o ano de 2011. Hoje o projeto está em sua terceira etapa superando esse número. O mesmo trabalha em conjunto com as associações comunitárias visando o avanço e melhoria da vida de pequenos produtores rurais, pescadores e artesões entre outros (SDA, 2011).

Algumas soluções disponibilizadas para a melhorias das comunidades rurais são obras relacionadas ao sistema de abastecimento de água, desenvolvimento das condições sanitárias, além da mecanização agrícola.

O desenvolvimento do projeto se dá da seguinte maneira, primeiro há a demanda pelas comunidades que por sua vez são selecionadas pelo Conselho Municipal de Desenvolvimento Sustentável – CMDS, daí as associações elaboram um subprojeto e encaminha a SDA que por fim providenciam o financiamento para a obra.

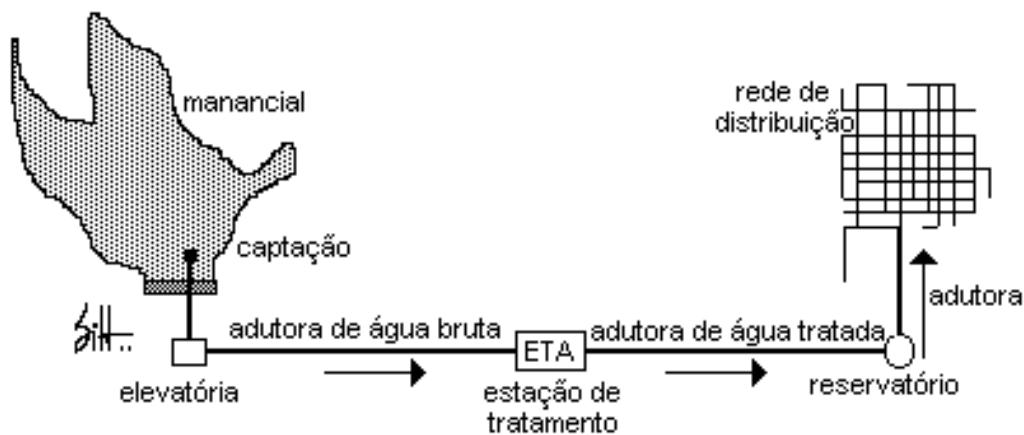
3.9.2 Captação, armazenamento, tratamento e distribuição da água

A captação da água de acordo com o projeto da obra é feita em um poço já existente, a adutora de água bruta interliga o ponto de captação com a central de tratamento e distribuição. De acordo com o projeto, o poço satisfaz a vazão de $6,06 \text{ m}^3/\text{h}$, que é necessário para atender a comunidade de Barro Vermelho.

Na central de tratamento, a água bruta proveniente do subterrâneo, então, passa por um processo desinfecção simples, por meio de um clorador de pastilhas de cálcio ou sódio, localizado no fuste do reservatório elevado.

O processo começa com água bruta entrando numa câmara de erosão, que então entra em contato com as pastilhas, ocorrendo um processo ininterrupto de cloração. Sua concentração final de cloro é 2 mg/l , que é propícia ao consumo humano. O processo pode ser observado na Figura 12.

Figura 12: Esquema do sistema convencional de abastecimento de água.



Fonte: DEC UFCG (Notas de aula, 2017)

A adutora apresenta um reservatório constituído de anéis de concreto pré-moldado, tendo assim um formato cilíndrico, e o mesmo possui o volume de aproximadamente 48,5 mil litros. A Figura 12 apresenta a imagem do reservatório da adutora.

Figura 13: Reservatório da adutora.



Fonte: Próprio autor (2017).

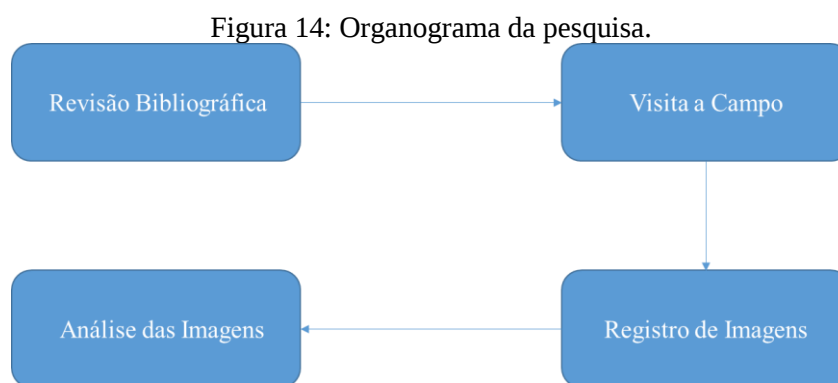
4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa consistiu inicialmente num estudo bibliográfico a respeito do processo corrosivo. Foi feito um levantamento acerca das definições de alguns autores mais importantes sobre o que seria corrosão, assim como acontece o processo.

Posteriormente, foram realizadas visitas a central de tratamento e distribuição de água de Barro Vermelho na cidade de Potiretama-CE, onde foram observados os objetos que estavam em processo de deterioração devido a corrosão.

Em de Julho de 2017, pode-se registrar por meio de fotografias todos os objetos da central de distribuição e tratamento de Barro Vermelho. Por último, os objetos registrados foram submetidos ao triângulo da corrosão para análise, buscando identificar o material, meio corrosivo e condições operacionais.

O organograma a seguir representado na Figura 14, exemplifica o decorrer deste trabalho mostrando os processos e fluxo da pesquisa.



Fonte: Próprio autor (2017).

Como citado anteriormente, foram registrados objetos em estado de deterioração devido ao processo corrosivo na central de tratamento e distribuição de Barro Vermelho para ser avaliado segundo o triângulo da corrosão. Os objetos registrados foram:

- ✓ Um portão;
- ✓ Reservatório elevado;
- ✓ Reservatório situado no solo;
- ✓ Escada de acesso ao topo do reservatório elevado;
- ✓ Junção dos cabos de aço sustentação da antena de sinalização do topo do reservatório elevado;

- ✓ Peça substituída de alguma tubulação;
- ✓ Aparelho de tratamento da água;
- ✓ Grades de segurança do topo de reservatório elevado;
- ✓ Engates dos cabos de sustentação da antena de sinalização;
- ✓ Caixa de metal;
- ✓ E apoio de sustentação dos baldes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PORTÃO

O portão de Ferro apresenta, no mínimo, dois tipos de corrosão: a corrosão uniforme, por ser observado o óxido por toda a superfície do objeto, e também a corrosão por placas, visto que a o desprendimento de fragmentos do material que compõe o objeto, segundo Gentil (2011). A Figura 15 apresenta a imagem do portão de acesso.

Figura 15: Portão de acesso ao reservatório da Adutora.



Fonte: Próprio autor (2017).

O portão está exposto a condição atmosférica. Então o meio corrosivo é o ar, embora por se tratar de uma adutora existe também a presença de água/umidade. De acordo com Serra (2014), o mecanismo de corrosão neste caso é o eletroquímico.

Devido a seu estado de completa destruição, este portão não apresenta viabilidade de restauração. Por conta disso as técnicas de proteção contra a corrosão neste caso não resolverão. Assim, a única saída seria a substituição da peça. Como visto na Figura 15, as medidas de prevenção contra a corrosão efetuadas no início do projeto, bem como a escolha do material não foram as melhores, pois não pode deter o fenômeno corrosivo. Percebe-se que não foram levados em conta o meio muito agressivo, que contém uma grande umidade. Também não foi

considerado a possibilidade da presença de sais e outros fatores, como a presença de poluente e a temperatura.

No portão, primeiramente, percebe-se que foi aplicado apenas o revestimento por meio da pintura não metálica, e devido a isso os agentes agressivos conseguiram romper e destruir essa camada protetora de tinta, e o Ferro presente no portão começou a reagir com o oxigênio presente no ar e com a umidade gerando o processo corrosivo contínuo.

5.2 PEÇA DE JUNÇÃO

A Figura 16 apresenta a imagem de uma peça que foi substituída de alguma parte da tubulação, pois a mesma não atendia mais a sua função. Pode ser percebida na peça a presença de corrosão uniforme e também corrosão por placas. Sabe-se que o meio é o principal fator para a ocorrência do fenômeno corrosivo. Neste caso, é possível notar que o meio é a atmosfera juntamente com a presença de muita umidade foi o que levou a peça a seu estado final.

Figura 16: Peça substituída da tubulação da Adutora.



Fonte: Próprio autor (2017).

A presença de umidade no ambiente é comprovada ao observar a Figura 16, nota-se uma poça de água ao lado da peça oxidada, decorrente possivelmente de vazamentos de tubulações ou mesmo do reservatório. É possível verificar o processo de formação de Hidróxido de Ferro (III), que ocorre devido a interação do Hidróxido de Ferro (II) com o ambiente, que na maioria é o ar atmosférico que apresenta o Oxigênio, e também com a interação com a água.

5.3 GRADE

A Figura 17 ilustra a grade de segurança do topo do reservatório, que serve para evitar quedas de pessoas de cima do reservatório. É possível identificar corrosão uniforme. O meio agressivo neste caso é o ar atmosférico. Ao contrário da peça da Figura 17 que está em completo estado de deterioração, a grade da Figura 17 ainda está em um estado de deterioração parcial, neste caso é possível ver que existe resíduos de tinta na grade. Isto ocorre talvez pelo fato da grade não está em contato direto com a água da adutora, ao contrário da peça mostrada na Figura 17, que está em contado direto com a água.

Neste caso, deve ser levado em consideração os fatores climáticos como a temperatura e a incidência do sol. Na Figura 17, é possível verificar a presença de fezes de pássaros e, nessas fezes, podem haver substâncias agressivas ao metal, como sais e uréia, por exemplo.

Figura 17: Grades de segurança do topo do reservatório da Adutora.



Fonte: Próprio autor (2017).

Na grade é possível realizar a limpeza do produto da corrosão e, em seguida pode ser aplicado o revestimento por meio de uma tinta normal ou uma tinta que apresente em sua composição um metal mais reativo que o Ferro.

5.4 JUNÇÃO DOS CABOS

A Figura 18 apresenta os cabos de sustentação da antena de sinalização do reservatório. Nota-se a corrosão uniforme na junção dos cabos, podendo ser resultado do ataque do meio atmosférico. O mecanismo de corrosão neste e na maioria dos casos é eletroquímico, pois a corrosão ocorre por meio de reações redox, de troca de elétrons, o Ferro reage com o Oxigênio da atmosfera, formando o Óxido de Ferro.

Figura 18: Junção dos cabos de sustentação da antena.



Fonte: Próprio autor (2017).

Para a junção dos cabos é possível haver o revestimento do material por meio de uma tinta que pode ou não haver na sua composição um metal mais reativo. Deste modo, a tinta irá impedir a penetração do Oxigênio, impedindo a oxidação do Ferro.

5.5 ESCADA DE ACESSO

A escada de acesso representada nas Figuras 19 (a) e (b) apresentam corrosão uniforme, visto que é perceptível o produto da corrosão por toda a superfície do material. A escada representada na Figura 19 (b) apresenta também início da corrosão do tipo puntiforme, pois nota-se pequenos orifícios um com uma profundidade relevante. Além desses dois tipos de corrosão, é possível perceber um outro tipo, a corrosão em torno do cordão de solda, que devido a temperatura empregada no processo de soldagem compromete a estrutura do material. O processo neste caso também é eletroquímico, como o meio é o atmosférico e há a interação do metal e o oxigênio, ocorre a corrosão.

Figura 19 (a): Reservatório da Adutora.



Fonte: Próprio autor (2017).

Figura 19 (b): Escada de acesso ao topo do reservatório.



Fonte: Próprio autor (2017).

5.6 PAREDE DO RESERVATÓRIO

A Figura 20 representa a parede do reservatório da adutora, que como pode-se observar na imagem, apresenta ocorrência de trincas e a desagregação do concreto, sendo possível afirmar que a armadura de aço do concreto está em processo de corrosão. Isso é evidenciado pela presença da substância laranja-avermelhada (ferrugem) que escoa do interior da parede do reservatório.

Figura 20: Parede do reservatório.



Fonte: Próprio autor (2017).

O processo de corrosão envolvendo o concreto é bastante complexo, esse fenômeno, de acordo com Araújo (2013), é de difícil identificação. Apenas quando a estrutura apresenta anomalias é que se percebe a corrosão, como no caso da parede do reservatório.

O concreto em si é uma boa saída para proteger a armadura, pois a mesma cria uma camada de proteção devido ao seu pH. No entanto, como sua estrutura é bastante porosa, essa porosidade facilita a penetração de Oxigênio e outras substâncias que podem ocasionar a corrosão (ARAÚJO, 2013).

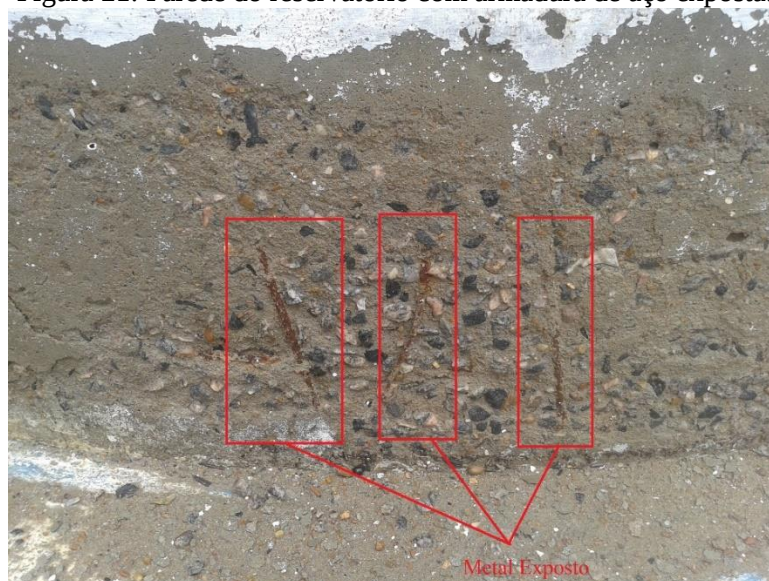
O reservatório apresenta fissuras, como foi dito no capítulo 3, é um processo físico-mecânico. Segundo Araújo (2013), as fissuras são pontos que facilitam a penetração de agentes

agressivos, o que pode destruir a camada de passivação criada pelo concreto e gerar a corrosão da armadura. As fissuras são causadas em geral pela variação de temperatura.

O outro problema verificado na Figura 20, é a desagregação do concreto, que segundo Araújo (2013), é resultado do ataque de líquidos, gases e partículas ao concreto, que faz com que alguns materiais sejam retirados do concreto. O processo de desagregação é extremamente prejudicial a estrutura de concreto e aço.

Na Figura 21, a seguir pode ser verificado o quão grave é o fenômeno de desagregação, podendo levar a exposição da armadura, possibilitando a interação direta do metal com o meio corrosivo. A provável causa da desagregação do concreto da parede do reservatório da adutora, é talvez a presença de sais, além também da presença de íons cloreto devido ao tratamento da água por cloro que é usado para potabilizar a água. A causa pode ser associada também a poluição, devido ao gás carbônico. Entretanto, por se tratar de uma comunidade rural, a quantidade de poluição no ambiente é desprezível.

Figura 21: Parede do reservatório com armadura de aço exposta.



Fonte: Próprio autor (2017).

Observa-se na Figura 21 a desagregação do concreto, que é evidenciado quando se pode ver o agregado com granulometria maior, bem como a exposição da armadura de aço. Ainda é possível ver que a armadura já em estado de corrosão, necessitando assim de proteção.

Na Figura 22 fica evidente que houve o fenômeno de desagregação do concreto, pois no local do ataque uma parte do concreto caiu, expondo a armadura ao meio.

Ver-se ainda que a corrosão se apresenta em um estado bastante avançado. É possível identificar a corrosão por placas, possivelmente decorrente do processo contínuo de oxidação.

Figura 22: Parede do reservatório da Adutora



Fonte: Próprio autor (2017).

5.7 PROTEÇÃO DA CAIXA DE FICHAS

Na Figura 23 a seguir é possível identificar fissuras e desagregação do concreto, ainda é possível ver que existe a exposição no Ferro no interior do concreto. Percebe-se que há a corrosão uniforme no vergalhão dessa armadura.

Figura 23: Proteção da caixa de registro de fichas.



Fonte: Próprio autor (2017).

5.8 APARELHO DE TRATAMENTO DA ÁGUA

A Figura 24, apresentam corrosão em pontos aleatórios. Observa-se que foram pouco afetadas pelo meio. Nota-se também que a pintura nestes dois casos não foi eficaz, mas conseguiu retardar um pouco a corrosão.

O aparelho apresenta partes constituintes de outro metal, assim há a corrosão galvânica, gerando uma pilha eletroquímica. Além disso, a solda das junções possibilita a corrosão em torno do cordão de solda, pois a temperatura usada para unir as peças modifica as propriedades mecânicas do material fazendo com que o material fique menos resistente a corrosão.

Por se tratar do aparelho de tratamento da água, o mesmo pode estar sofrendo o ataque de íons cloretos que são usados para notabilizar a água. A seguir é mostrado o aparelho de tratamento água na figura 24.

Figura 24: Aparelho de tratamento da água.



Fonte: Próprio autor (2017).

Para esse aparelho é aconselhado a manutenção periódica, pois o fenômeno corrosivo pode levar a seu mal funcionamento, o que pode ser prejudicial a qualidade da água proveniente desse processo. O mal funcionamento pode levar ao acréscimo exagerado de substâncias presentes na água, fazendo com que essa água não seja adequada para o consumo humano.

Neste caso, o aparelho não se apresenta em estado terminal, deve ser realizada a limpeza completa do oxido de Ferro, em seguida de ser aplicada um revestimento para impedir a interação do Oxigênio com o Ferro do material.

5.9 CAIXA DE FICHAS

A Figura 25 apresenta a imagem da caixa onde é depositada as fichas para que possa sair a água potável para a população do Sítio Barro vermelho. Nota-se na imagem a presença de pequenos pontos de corrosão aleatória. No entanto, percebe-se que a fechadura é de um outro metal, assim formando uma pilha galvânica, como um material tende a oxidar e o outro a reduzir, o metal menos reativo irá reduzir, enquanto o mais reativo vai oxidar.

Neste caso o metal que oxidou foi o da caixa, enquanto a fechadura aparentemente reduziu. Ainda, pode-se afirmar que a corrosão ocorreu na fresta, entre os dois materiais.

A atmosfera é o meio em que se encontra essa caixa, por se localizar no exterior da adutora, não está em contato direto com a umidade do ambiente, no entanto por ser objeto que está em constante uso, pode ser que os sais presentes no suor das mãos das pessoas quando entra em contato com sua superfície influencie o processo corrosivo.

Figura 25: Caixa de deposito de fixas de compra de água.



Fonte: Próprio autor (2017).

A caixa de fichas necessita da retirada do óxido de ferro, e uma nova aplicação de revestimento, que para um maior tempo de vida, é aconselhado o revestimento metálico. A substituição da fechadura por uma do mesmo material também é viável, pois evitará a pilha de diferença de potencial.

5.10 TRIÂNGULO DA CORROSÃO

Em geral, para o triângulo da corrosão, podemos classificar o meio como o atmosférico, além de apresentar umidade elevada. É empregado basicamente em todos os objetos de aço carbono, que em sua maioria apresentam uma porcentagem elevada de Ferro. Assim, podemos admitir o Ferro como metal no triângulo de corrosão. Já as condições operacionais, que é o terceiro ponto do triângulo de corrosão, são o pH, a temperatura e os íons cloreto.

Segundo Campos *et al.* (2016), para a prevenção da corrosão é necessário levar em conta inúmeros fatores, como a resistência do material, dimensões do mesmo, temperatura, meio, entre outros. Para esse autor, é sempre aconselhado o uso de técnicas de proteção como revestimentos, inibidores de corrosão, técnicas eletroquímicas, além de inspeção regular, manutenção periódica e reparação.

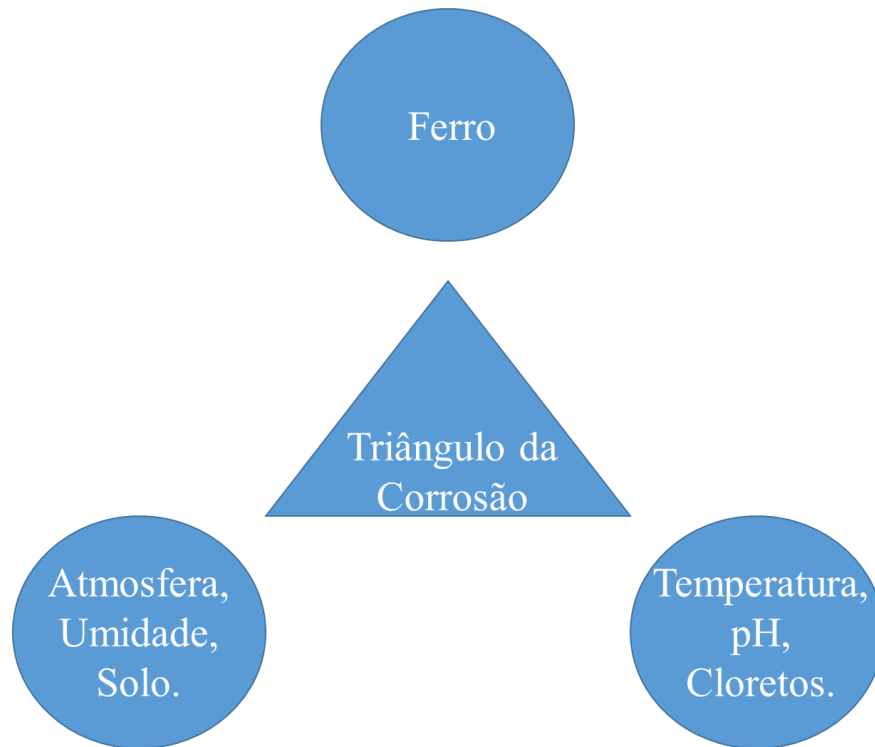
A técnica de manipulação do meio segundo Freire e Florido (2016) neste caso é inviável, visto que seria impossível a modificação do pH do ambiente, pois o meio é a atmosférica, e seria impossível modificar o pH da atmosfera.

O portão, como citado anteriormente, não apresenta viabilidade para a proteção, a única saída é a substituição do mesmo assim como foi feito com a peça que foi substituída. Já as grades, as junções dos cabos, a escada, o aparelho de tratamento da água, a caixa de fixas podem passar por um processo de proteção, pode ser feita a limpeza completa da corrosão, depois a aplicação do revestimento não metálico para impedir a interação do metal diretamente com o meio agressivo. Nessas estruturas pode ser aplicado o revestimento com uma tinta metálica, sendo uma proteção catódica segundo Gentil (2011), pois o metal da tinta sendo mais reativo do que o Ferro tenderá a oxidar em seu lugar, e, por se tratar de uma tinta impedirá também a penetração direta de substâncias presentes no meio.

A parede do reservatório é um problema mais grave, devido às fissuras, desagregação, metal exposto e bastante corroído em muitos pontos, isso ocasionou o vazamento de água, assim, julgando o estado em que se encontra a parede do reservatório, por ser constituída de anéis de concreto pré-moldados seria mais interessante a substituição dos anéis, pois a reconstrução dos anéis iria requerer muita mão de obra e muito tempo desperdiçado, dessa forma o custo seria maior. 30

A proteção da caixa foi vista a corrosão uniforme, neste caso é possível a retirada do vergalhão, então pode ser feita a limpeza, após isso deve ser feita a aplicação de um revestimento, que pode ser metálico ou não, e por último deve ser feita a reconstrução da peça de concreto. A Figura 26 mostra o triângulo da corrosão geral para o objeto de estudo.

Figura 26: Triângulo da corrosão.



Fonte: Próprio autor (2017).

O conhecimento de cada elemento dos vértices do triângulo da corrosão pôde facilitar o entendimento do fenômeno corrosivo. A partir do triângulo da corrosão foi possível identificar as melhores técnicas para cada um dos casos citados anteriormente, contribuindo assim para prover as soluções para o problema.

6 CONCLUSÃO

A partir desse estudo foi possível concluir que a Adutora do Sítio Barro Vermelho apresenta diversos problemas que foram causados pelo fenômeno corrosivo. Diversos objetos da adutora apresentam-se em estado de completo ou parcial estado de deterioração, como evidenciado no capítulo 5, devido ao fenômeno corrosivo.

Com esse trabalho foi possível identificar o meio, o metal e as condições operacionais que ocasionam a corrosão, assim pôde-se montar o triângulo da corrosão, o qual auxilia na identificação e resolução do problema. Com esse estudo foi possível ainda identificar as formas e mecanismos de corrosão, que são outros aliados para prevenir ou tratar o fenômeno corrosivo. Com isso, foi visto que o meio atmosférico juntamente com a grande umidade presente na Adutora contribuiu bastante para acelerar o processo corrosivo, assim como a falta de cuidado e manutenção da obra.

Como citado no capítulo 1, o fenômeno corrosivo acarreta enormes prejuízos econômicos e sociais, sendo que esse fenômeno danificou a adutora que custou cerca de R\$ 106 mil, e não se estima o custo para a restauração, isso se for haver restauração.

Por fim, é possível concluir que alguns elementos da adutora podem ser restaurados e aplicado técnicas de proteção, no entanto, outras não podem, visto que essas apresentam-se completamente corroídas, ou apresenta muito foco de corrosão.

Esse trabalho proporcionou inúmeros resultados importantes, no entanto, posteriormente serão realizadas análises para abrilhantar ainda mais o mesmo. Deve ser realizadas análises como a TPC (Taxa de penetração da Corrosão), a fim de determinar a velocidade de corrosão, será realizada a verificação de pH do meio, a medição da temperatura do meio, investigação de sais tanto no solo e na água presente no local..

REFERÊNCIAS

AECweb | O portal da Arquitetura, Engenharia e Construção. **Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos**. Disponível em < https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos_6412_0_1 >. Acesso em 15 de setembro de 2017.

ABRACO. Revista Proteção&Corrosão. Rio de Janeiro, v. 61, Aponte Editorial, março/abril, 2016.

ARAÚJO, Adriana de. **Estudo de corrosão em estruturas de concreto. Laboratório de Corrosão e Proteção. Instituto de pesquisas tecnológica**. REUNIÃO DO GRUPO DE GESTÃO E CONTROLE DA CORROSÃO DO E&P PETROBRAS – EDITA: Rio de Janeiro, 2013.

ARRUDA, Eduardo Amélio de Farias. **Estudo comparativo do processo corrosivo do aço patinável e do aço carbono comum**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

ÁVILA, S.; CASAIS, D.; KIPERSTOK, A. **Controle de corrosão em equipamentos da indústria, uma proposta de integração entre a Academia e a Indústria**. ABRACO, INTERCOP: Salvador BA, 2012.

BARROS, R. S. A. **Susceptibilidade à corrosão sob tensão em aços inoxidáveis duplex UNS S32304 em meios contendo cloretos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, 2015.

BRASIL, IBGE. Censo Demográfico, 2010. Disponível em < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=231123> >. Acesso em: 15 de setembro de 2017.

BROWN, T. L.; BURSTEN, B. E.; LEMAY, H. E. **Química: a ciência central**. 9. Ed. São Paulo: PearsonPrentice Hall, 2007.

CALLISTER JR., W.D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CAMPOS, J. P. M. B.; SANTOS, T. G. R. S.; SILVA, G. B. S.; SILVA, M. L. S. **Análise de sistemas de corrosão em diferentes meios**. Persp. Online: exatas & eng., Campos dos Goytacazes, 15 (06) 19 – 24, 2016.

CAVALCANTE, T. S. L. **Avaliação da Resistência à Corrosão de Aços Revestidos ou não com Zinco Fosfatizados e Pintados**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

DANNTEC. Os problemas causados pela lixiviação do concreto. Disponível em < <http://www.danntec.com.br/2017/08/os-problemas-causados-pela-lixiviacao-do-concreto.html> >. Acesso em 26 de outubro de 2017.

DEC UFCG. Notas de aulas. Disponível em < <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Abastec2.html> >. Acesso em 26 de outubro de 2017.

FLORIDO, W. L.; FREIRE, A. S. **Controle da corrosão nos dutos da indústria do petróleo**. Dissertação (curso superior de tecnologia em manutenção industrial) - Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2016.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

INÁCIO, S. G.; LIMA, T. S.; NOGUEIRA, N. T. **Corrosão de Linhas**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 2, n. 1, p. 323-328, 2012.

LPE Engenharia. Qual a diferença entre fissura e trinca? Disponível em < <http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/qual-a-diferenca-entre-fissura-e-trinca/> >. Acesso em 15 de setembro de 2017.

MAIA, D. J.; SCATIGNO, A. C.; SEGRE, N.; STELLA, M. B. **Experimento sobre a Influência do pH na Corrosão do Ferro**. Química nova: São Paulo, Vol. 37, Nº 1, p. 71-75, fevereiro de 2015.

MONTEIRO, Fillypi Jarbem Damasceno. **Estudo bibliográfico da influência da corrosão na degradação das propriedades mecânicas dos aços usados em ambientes marítimos**. Monografia (Bacharelado em Ciência de Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mossoró- RN, 2016.

OLIVEIRA, Antônio Roberto de. **Corrosão e tratamento de superfície: apostila de corrosão**. Rede e-Tec Brasil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Belém do Pará e a Universidade Federal de Santa Maria, Belém, 2012.

PADILHA, Angelo Fernando. **Materiais de engenharia**. S/Ed. Brasil: Hermus livraria, 2007.

PANNONI, Fábio Domingos. **Coletânea do uso do aço: Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. Perfis Açominas. 4ª Ed. 2007.

POLITO, Giulliano. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação**. 2006. Dissertação (Especialização em Avaliação e perícia) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

SANTOS, A. V. B. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação**. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, Edição nº 10, Vol. 01/ 2015, dezembro/2015.

Secretaria do Desenvolvimento Agrário - SDA: Governo do Estado do Ceará. Coordenadoria de programas e projetos. Ceará, 2011.

SERRA, Eduardo Torres. **Corrosão e proteção dos materiais no solo**. 1ª Ed. rev. – Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

VICENTE, Tiago Amaro. **Influência do metal de adição na susceptibilidade à corrosão sob tensão de juntas soldadas dissimilares de aço inoxidável AISI 310 e aço inoxidável duplex UNS S32304**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência em Materiais para Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Materiais para Engenharia, Universidade Federal de Itajubá, 2013.