



AVALIAÇÃO DO FENÔMENO DE CORROSÃO EM DIFERENTES LIGAS FERROSAS – CARACTERIZAÇÃO DE PRODUTOS DE CORROSÃO¹

Guilherme Diniz Castanheira²
Esther de Magalhães Correia²
Thiago Martins Teixeira Braga³
Luíz Cláudio Cândido⁴

Resumo

A proposta deste trabalho foi estudar o comportamento da corrosão sobre alguns tipos de aços inoxidáveis, aços estruturais e ao carbono, quando submetidos as mais variadas condições - meios corrosivos. Com este intuito foram feitos ensaios de polarização potenciodinâmica em aços inoxidáveis austeníticos (ABNT 304 e ABNT 316), ferríticos (ABNT 441 e ABNT 444) e duplex (SAF 2205). E foram realizados, também, diagnósticos de patologias em materiais metálicos corroídos empregando-se inspeção visual e difração por raios X. Constatou-se que os aços do tipo ABNT 316 e 444, por conterem molibdênio, apresentaram maior resistência à corrosão por pites em decorrência da maior estabilização da película passivante. Analogamente, o aço inoxidável duplex (aproximadamente 50% de ferrita e 50% de austenita), do tipo SAF 2205, também apresentou valor relativamente alto de potencial de pite. Na caracterização dos produtos de corrosão em aços constatou-se a presença de diferentes substâncias (óxidos e hidróxidos de ferro) resultantes do fenômeno de corrosão.

Palavras-chave: Ensaios eletroquímicos; Difração de raios X; Aços; Ferro fundido.

EVALUATION OF CORROSION PHENOMENON IN DIFFERENT FERROUS ALLOYS - CHARACTERIZATION OF CORROSION PRODUCTS

Abstract

The purpose of this work was to study the corrosion behavior of some types of stainless steel, structural and carbon, when subjected to different conditions - corrosive environment. For this purpose, potentiodynamic polarization tests were made in austenitic stainless steel (ABNT 304 and ABNT 316), ferritic (ABNT 441 and ABNT 444) and duplex (SAF 2205). Diagnoses of pathologies on corroded metallic materials were also performed using visual inspection and X-ray diffraction. It was observed that the steel type ABNT 316 and 444, which contain molybdenum, showed greater resistance to pitting corrosion due to the increased stabilization of the passivating film. Similarly, the duplex stainless steel (approximately 50% ferrite and 50% austenite), type SAF 2205, also showed relatively high value of pitting potential. Results of the characterization of corrosion products on steels showed the presence of different substances (oxides and hydroxides) resulting from the phenomenon of corrosion.

Key words: Electrochemical tests; X-ray diffraction; Stainless; Cast iron.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduando Eng. Metalúrgica, UFOP.

³ Eng. de Materiais, mestrando REDEMAT.

⁴ Membro da ABM. Eng. Metal; M.Sc.; D.Sc. Prof. Associado II do Dep. de Eng. Metalúrgica e de Materiais/Escola de Minas/UFOP; Grupo de Estudos sobre Fratura de Materiais; candido@em.ufop.br.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro (Fe) e cromo (Cr) com um mínimo de 10,5% (% massa) de Cr. Outros elementos metálicos também integram estas ligas, mas o Cr é considerado o elemento mais importante porque é o que dá, aos aços inoxidáveis, uma elevada resistência à corrosão uniforme. A resistência deste aço deve-se à formação de uma fina camada de óxido de cromo, impermeável e aderente, que envolve toda a superfície do material bloqueando a ação dos agentes corrosivos. Embora o aço inoxidável seja bastante resistente a vários tipos de meios corrosivos, sofre corrosão localizada em presença de íons cloreto, estes presente em sais como o NaCl e em meios ácidos.⁽¹⁾

Entre os métodos utilizados para análise da corrosividade de um material têm-se os ensaios eletroquímicos que possibilitam a construção de curvas de potencial de eletrodo x densidade de corrente e, assim, pode-se determinar a taxa de corrosão.⁽²⁾

Edificações, equipamentos e peças estruturadas em aço, podem sofrer patologias que, normalmente, são provocadas pela ação de agentes agressivos e tais estruturas não são capazes de se adaptar de pronto no momento oportuno. A predisposição destes à corrosão pode ser originada durante a fase de projeto, de construção ou ser adquirida na fase de uso.⁽³⁾

O presente trabalho propôs-se estudar a suscetibilidade dos aços inoxidáveis, aços estruturais e ao carbono à corrosão. Propusemos, então, caracterizar o comportamento destes materiais através de ensaios de polarização potenciodinâmica; diagnosticar patologias inspecionando visualmente peças, estruturas e equipamentos metálicos e, quando necessário, a difração por raios X.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir de chapas de aços inoxidáveis austeníticos (ABNT 304 e ABNT 316), ferríticos (ABNT 441 e ABNT 444) e duplex (SAF 2205), com espessura de 3 mm, estudou-se o comportamento eletroquímico de diferentes sistemas empregando-se algumas técnicas experimentais. Abaixo relacionadas, apresentam a composição química nominal dos aços estudados, a Tabela 1 refere-se aos aços inoxidáveis austeníticos, e ferríticos. As amostras foram convenientemente preparadas (lixadas até a granulometria número 600 e desengraxadas com acetona e álcool). Os ensaios de polarização foram realizados na temperatura ambiente.

Levantou-se curvas de polarização potenciodinâmica dos aços em soluções aquosas contendo 3,5% (massa) NaCl e soluções com água de torneira para obtenção de parâmetros eletroquímicos característicos na temperatura ambiente. Empregou-se recursos do sistema *on-line* composto por um computador e um potenciostato/galvanostato (PAR, modelo 273 A) interligados por uma interface padrão IEEE-4888 (*SoftCorr III*), com taxa de varredura de 0,167mV/s. A célula eletroquímica utilizada foi de três eletrodos, com contra-eletródo de platina e eletródo de referência de calomelano saturado.

Procurou-se, nos ensaios potenciodinâmicos, aplicar a taxa de varredura baixa para que os ensaios não fossem acelerados, pois poderia influenciar as condições reais. Inicialmente, deixa-se o potencial de corrosão estabilizar por 3.600 segundos. Com isso, obtêm-se as curvas potencial (E) *versus* tempo (t). Posteriormente, é feita a varredura na aplicação de potenciais (250 mV abaixo do potencial de corrosão estabilizado até 1.600 mV). O preparo dos corpos de prova

(CPs) e os ensaios de curvas de polarização foram realizados de acordo com as normas da ASTM G1 (1981)⁽⁴⁾ e G5 (1978),⁽⁵⁾ respectivamente.

Tabela 1–Composição química nominal dos aços inoxidáveis estudados.

Aço	Composição Química											
	ABNT	C	Cr	Mn	Mo	Ni	Nb	P	S	Si	Ti	N
304	0,08	18-20	2	...	8-10,5	...	0,045	0,03	1	...	...	...
316	0,08	16-18	2	2-3	10-14	...	0,045	0,03	1	...	...	...
441	0,02	18	...	...	0,3	0,7	...	...	...	0,3	...	...
444	0,025	17-20	1	1,75-2,5	1	...	0,04	0,03	1	...	...	...
SAF2205	< 0,03	22	...	2	5	...	...	...	1	...	0,1-0,15	...

A Figura 1 apresenta o sistema correspondente ao ensaio de polarização potenciodinâmica.



Figura 1 – Sistema referente ao conjunto de aparelhos e acessórios para realização de ensaios de polarização potenciodinâmica.

A segunda parte deste trabalho visou diagnosticar diversos casos patológicos de corrosão e propor medidas corretivas para os mesmos. Sendo assim, a partir de um levantamento, em campo, de diversos casos onde o fenômeno de corrosão ocorre foram realizadas inspeções visuais objetivando levantar um banco de dados de diferentes ocorrências patológicas. E em alguns casos foram caracterizados os produtos de corrosão de diferentes materiais metálicos (ferro fundido, arame galvanizado, aço inoxidável austenítico ABNT 304 e um aço elétrico – ao silício) empregando-se a técnica de difração por raios X e ainda alguns foram analisados metalograficamente.

A partir do levantamento de diferentes casos de corrosão foi feito registro, através de uma máquina fotográfica digital, para posterior análise e proposição de medidas corretivas. O equipamento principal para registro das fotografias é uma máquina digital, marca SONY: ZEISS – 7.2 Mega Pixels. Utilizou-se, também, o recurso do programa “Adobe Photoshop” para a melhoria da qualidade das imagens adquiridas no trabalho.

Foram registrados os principais casos nas dependências da UFOP.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio de Polarização

Nota-se nas Figuras 2 e 3 que os ensaios com CPs de aços inoxidáveis ABNT 316 e ABNT 444, apresentaram um comportamento superior à resistência à corrosão se comparados aos aços ANBT 304 e ABNT 441 respectivamente. Isso se deve à presença do elemento molibdênio (Mo) nos primeiros. Este elemento possui um óxido bem resistente a meios ácidos que ajuda a película passivante no combate à corrosão.

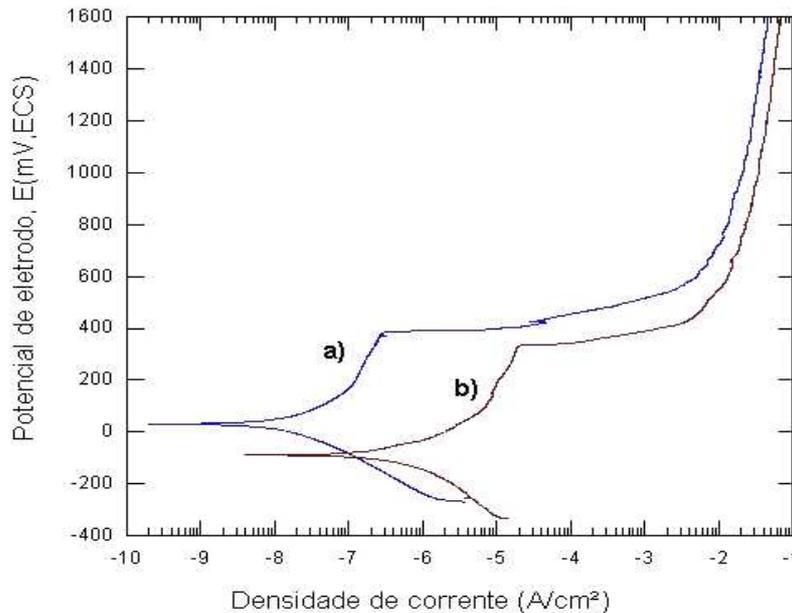


Figura 2 – Curvas de polarização potenciodinâmica; 0,167mV/s; T= 25°C; sistema solução aquosa contendo 3,5% NaCl / aços inoxidáveis austeníticos; a) ABNT 316; b) ABNT 304.

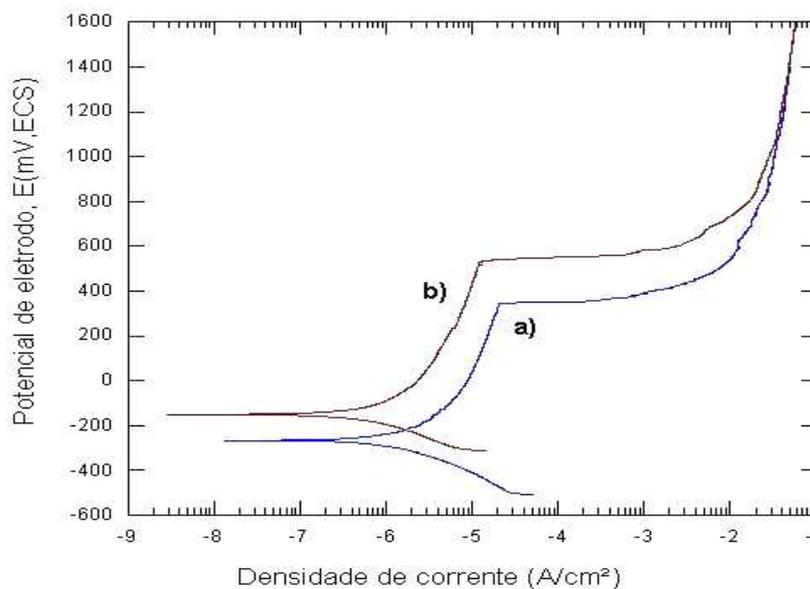


Figura 3 – Curvas de polarização potenciodinâmica; 0,167mV/s; T= 25°C; sistema solução aquosa contendo 3,5% NaCl / aços inoxidáveis ferríticos; a) ABNT 441; b) ABNT 444.



Pode se observar nas Figuras 4 e 5 um comportamento semelhante entre os aços inoxidáveis austeníticos ABNT 304 e AISI 316 e ferríticos ABNT 441 e ABNT 444. Assim podemos inferir que o meio pouco influenciou no desempenho destes aços.

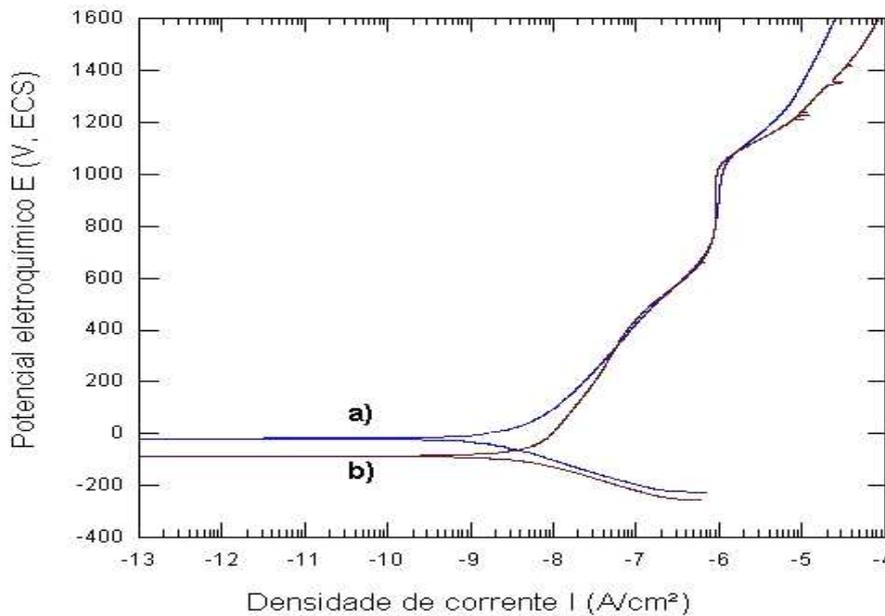


Figura 4 – Curvas de polarização potenciodinâmica; 0,167mV/s; T= 25°C; sistema água de torneira / aços inoxidáveis ferríticos; a) ABNT 316; b) ABNT 304.

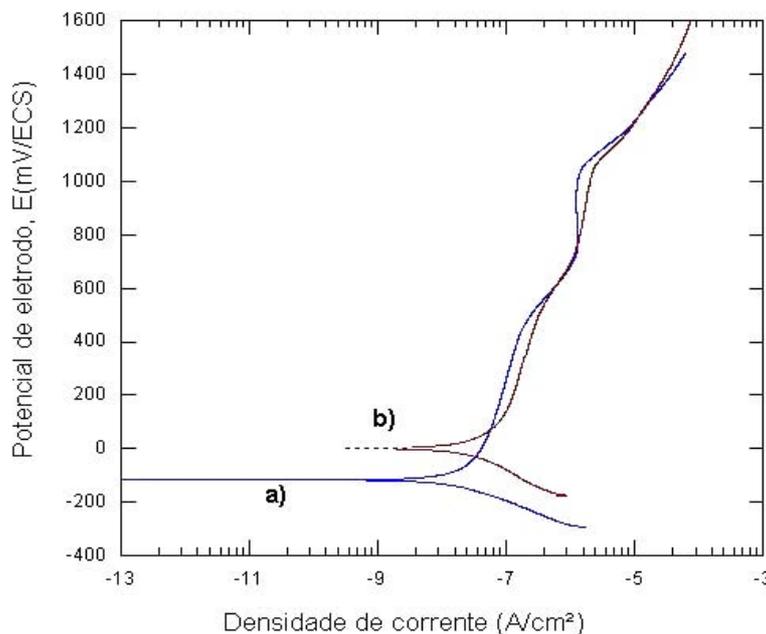


Figura 5 – Curvas de polarização potenciodinâmica; 0,167mV/s; T= 25°C; sistema água de torneira/ aços inoxidáveis ferríticos; a) ABNT 441; b) ABNT 444.

A partir das Figuras 6 e 7 comparou-se o desempenho dos aços inoxidáveis ferríticos e austeníticos ABNT 441 e ABNT 304, respectivamente, sem molibdênio, e os ABNT 444 e ABNT 316, com molibdênio. A superioridade à corrosão dos aços



inoxidáveis austeníticos deve-se aos altos teores de elementos de liga como níquel e manganês.

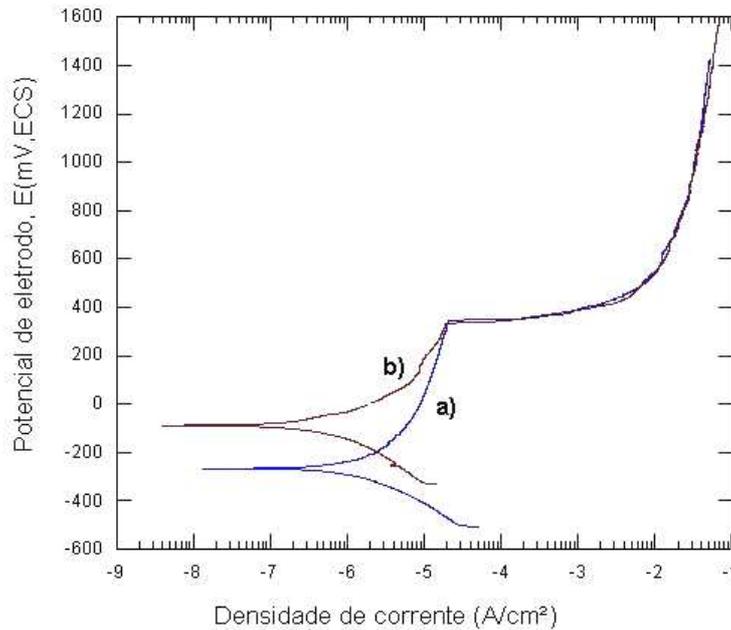


Figura 6 – Curvas de polarização potenciodinâmica; 0,167mV/s; T= 25°C; sistema solução aquosa contendo 3,5% NaCl/ aços inoxidáveis; a) ABNT 441 b) ABNT 304.

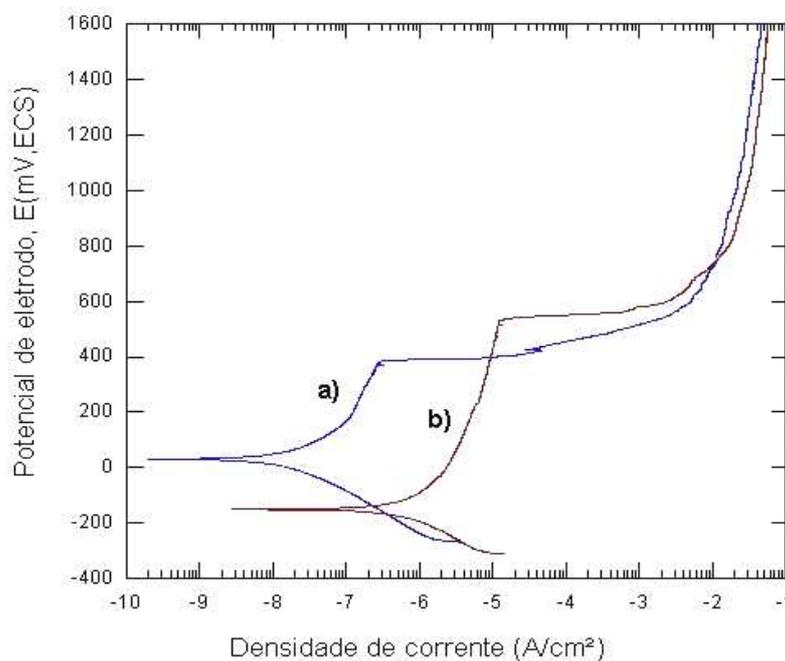


Figura 7 – Curvas de polarização potenciodinâmica; 0,167mV/s; T= 25°C; sistema solução aquosa contendo 3,5% NaCl / aços inoxidáveis; a) ABNT 316 ; b) ABNT 444.

O aço inoxidável duplex possui, aproximadamente, a mesma proporção das fases austenítica e ferrítica e é reconhecido por seu baixo teor de carbono (< 0,03%, o que garante alta resistência intergranular) e pelas adições de molibdênio, nitrogênio, molibdênio e nitrogênio (estabilizador da austenita; aumenta a resistência mecânica da liga em solução sólida intersticial). Os teores típicos de níquel e cromo



variam entre 5% a 8% e 20% a 30%, respectivamente. A vantagem dos aços duplex sobre os austeníticos e os ferríticos, quanto à corrosão, pode ser comprovada nas Figuras 8 e 9 ao verificar-se o maior potencial de pite dos mesmos.

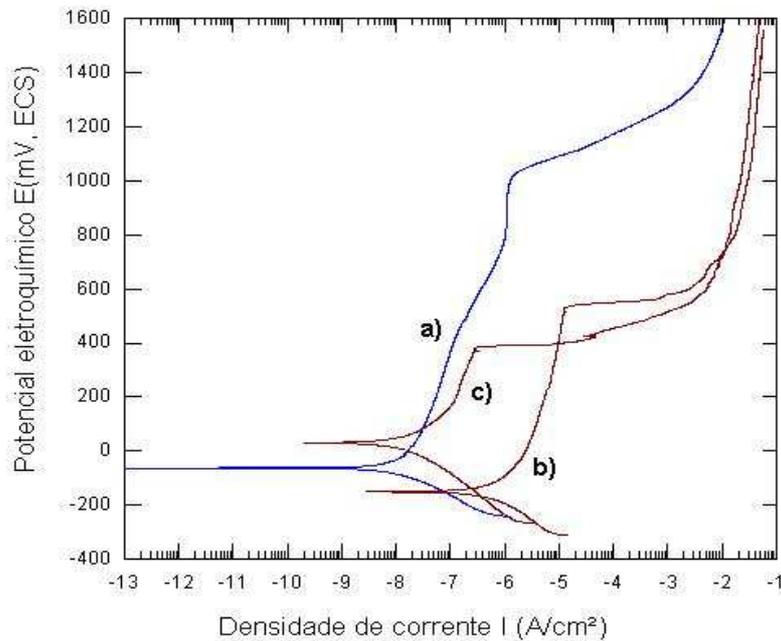


Figura 8 – Curvas de polarização potenciodinâmica; 0,167mV/s; T= 25°C; sistema solução aquosa contendo 3,5% NaCl / aços inoxidáveis; a) SAF2205; b) ABNT 444; c) ABNT 316.

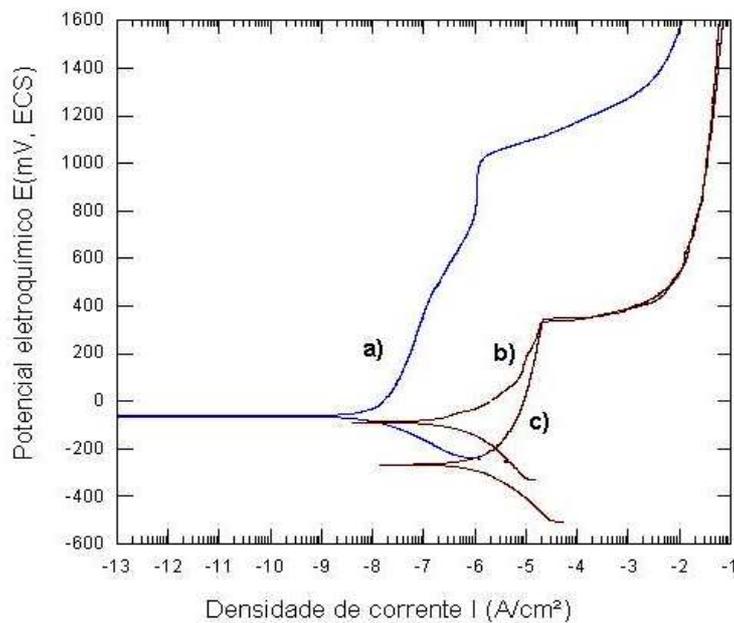


Figura 9 – Curvas de polarização potenciodinâmica; 0,167mV/s; T= 25°C; sistema solução aquosa contendo 3,5% NaCl / aços inoxidáveis; a) SAF2205; b) ABNT 304; c) ABNT 441.

3.2 Análises de Patologias

Foram observados muitos casos dos quais se fizeram diferentes diagnósticos. As Figuras 10 - 18 ilustram a evolução da corrosão uniforme em várias estruturas metálicas. Nas Figuras 14, 15 e 17 observou-se a degradação dos materiais

causados pela corrosão galvânica (“metal menos nobre ligado a outro metal mais nobre”). As Figuras 13, 14, 16 - 18 apresentam casos de corrosão em frestas. A maior parte destes casos é causada por erro de projeto, seleção inadequada, ou é devido à geometria estrutural do material.



Figura 10 – Corrosão uniforme em vigas de aço estrutural.



Figura 11 – Corrosão uniforme em aço ao carbono em uma lixeira da UFOP.



Figura 12 – Corrosão uniforme em aço ao carbono (metalon) na base do box de um banheiro da UFOP.



Figura 13 – Corrosão uniforme e em fresta em aço estrutural pintado devido ao acúmulo de eletrólitos.



Figura 14 – Corrosão uniforme e em fresta no suporte de uma lixeira e galvânica na base de segurança.



Figura 15 – Corrosão galvânica em parafuso de aço ao carbono em contato com alumínio.



Figura 16 - Corrosão uniforme e em frestas de um aço utilizado na estrutura da Escola de Minas.



Figura 17 – Corrosão uniforme, galvânica (região do parafuso) e em fresta na base de um poste de iluminação da UFOP.



Figura 18 – Corrosão uniforme e em fresta na cobertura da passarela da Escola de Minas, em aço carbono, região de pingadeira.

Recolhidos os produtos de algumas peças metálicas corroídas, Figuras 19 – 23, os mesmos foram analisados através da técnica de difração de raios X (difratogramas de algumas amostras, Figuras 24 - 25). Constatou-se que em todas as amostras havia a presença de magnetita (Fe_3O_4). Outra substância frequente nas amostras era goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), exceto no material da Figura 22. A corrosão metálica em ligas ferrosas consiste na oxidação do elemento ferro o que justifica a presença das substâncias óxidos e/ou hidróxidos deste elemento em diferentes amostras.



Figura 19 – Corrosão uniforme em tubulação de ferro fundido.



Figura 20 – Corrosão em CPs para ensaios de tração e flexão de aço ao silício.



Figura 21 – Corrosão uniforme em arame galvanizado.



Figura 22 – Corrosão microbiológica em tubo de aço ao carbono.



Figura 23 – Corrosão uniforme em chapa de aço inoxidável austenítico AISI 304, em meio amoniacal.

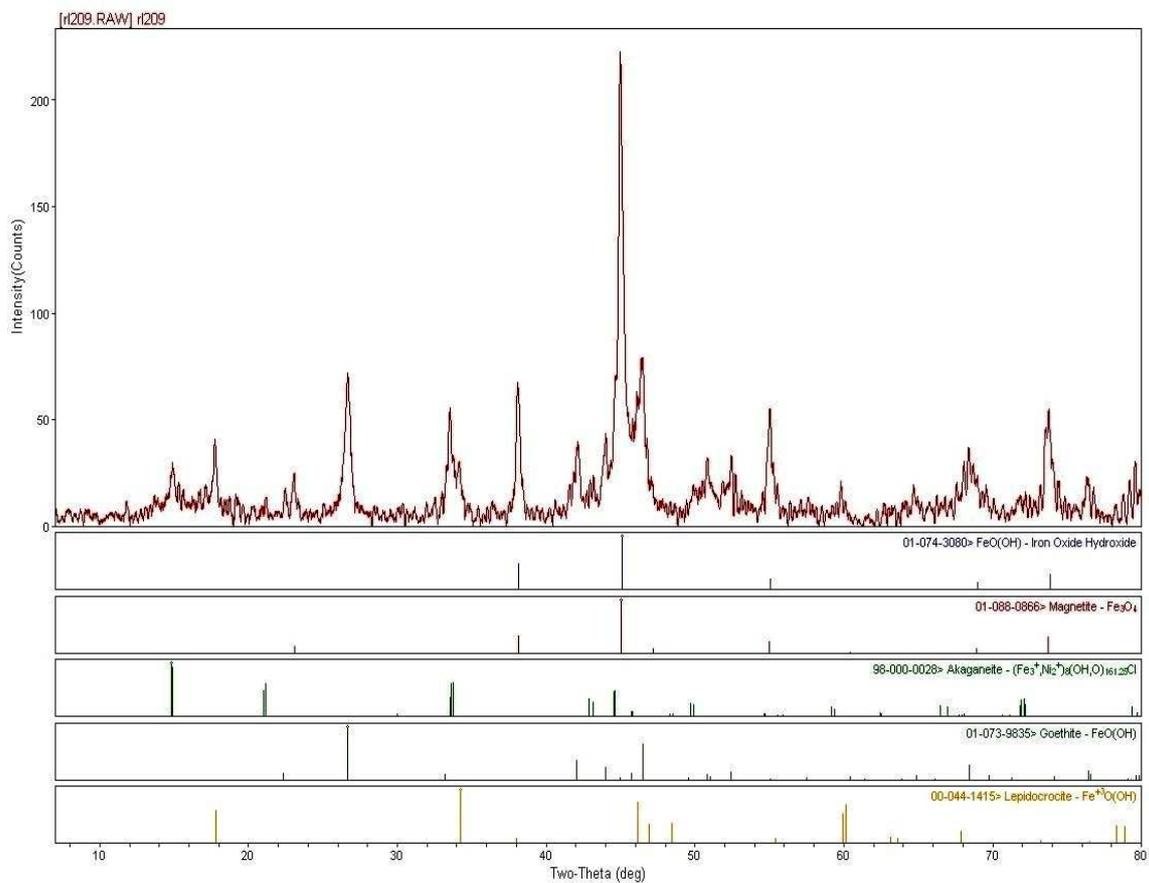


Figura 24 – Difratoograma da tubulação de ferro fundido (Figura 19).

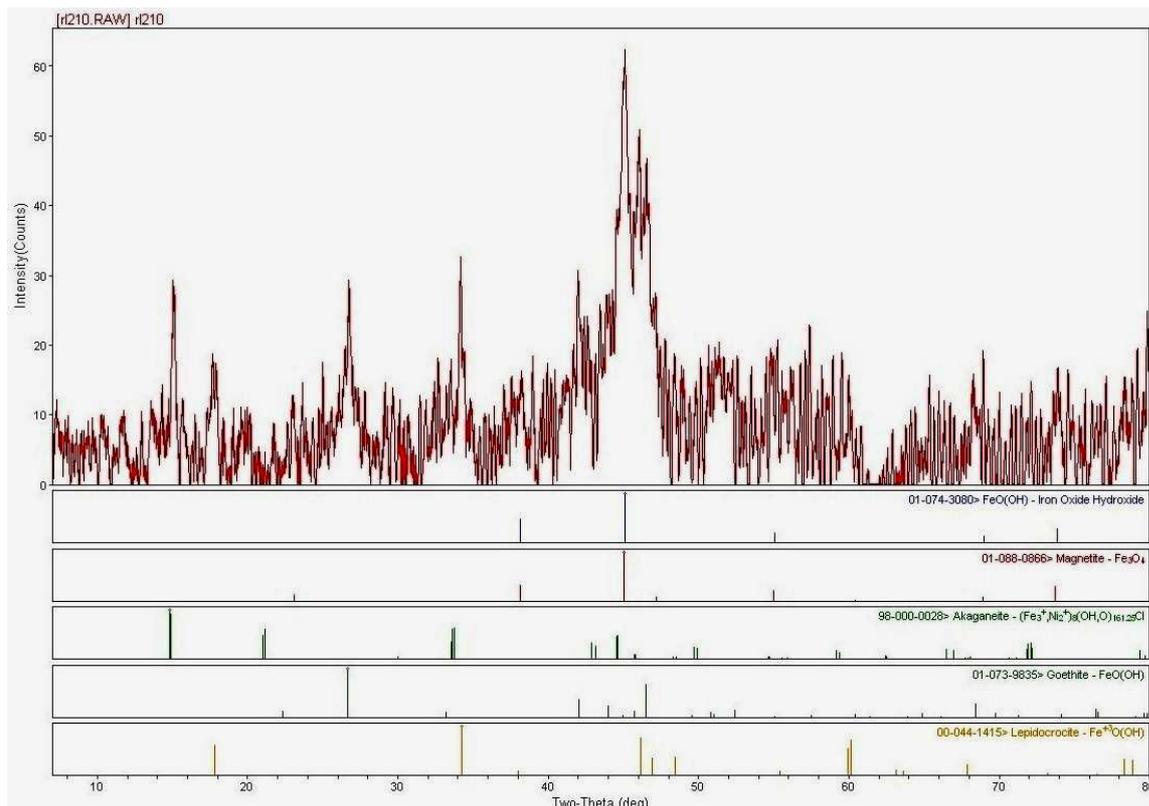


Figura 25 – Difratoograma do aço silicioso (Figura 20).

A amostra da Figura 21, arame galvanizado, também foi analisada metalograficamente (Figura 26). Detectou-se através de tal análise que trata-se de um aço cuja matriz é ferrítica.

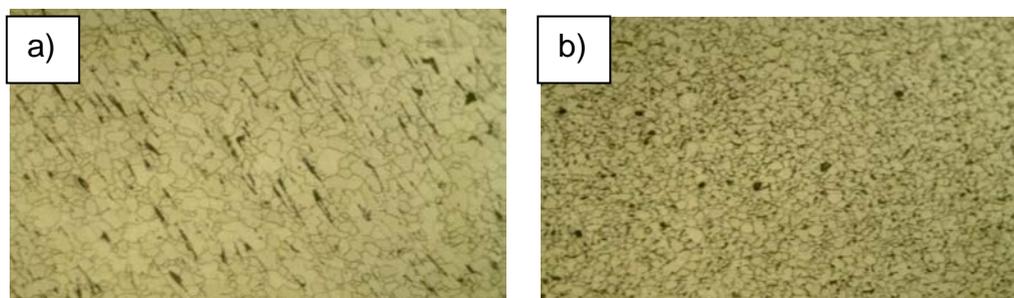


Figura 26 – Microestrutura da amostra de arame galvanizado; Nital (2%); a) corte longitudinal - 400x; b) corte transversal - 400x.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho possibilitou estudar o comportamento de diferentes aços em variadas condições de corrosão.

Empregando-se ensaios de polarização verificou-se que, em meios mais agressivos (acidificados), os materiais não apresentaram bom desempenho. Tal fato ocorre em função de um intenso ataque pelos íons cloretos ocasionando altos valores de densidade de corrente o que resulta em altas taxas de corrosão. Observou-se que os aços do tipo ABNT 316 e 444, por conterem molibdênio, apresentaram maior resistência à corrosão por pites em decorrência da maior estabilização da película passivante quando comparados aos aços ABNT 304 e 441. Analogamente, o aço inoxidável duplex (aproximadamente 50% de ferrita e

50% de austenita), do tipo SAF 2205, também apresentou valor relativamente alto de potencial de pite.

A partir de diferentes casos patológicos estudados pode-se concluir que na maior parte deles, se não em todos, tal patologia é devida a erros de projetos e a não manutenção e limpeza periódicas das peças e estruturas metálicas, procedimentos que têm como objetivo minimizar a corrosão. Destaca-se, também, o ataque corrosivo em estruturas metálicas que apresentam regiões com frestas, assim é necessário aprimorar o projeto visando pelo menos vedar tais partes. Ainda em algumas peças, a seleção, o procedimento de limpeza e aplicação inadequada de tintas, favoreceu a corrosão uma vez que o método de proteção possibilitou o desenvolvimento da corrosão em certas estruturas.

É de suma importância saber selecionar os materiais para os diferentes empregos em estruturas metálicas utilizadas na engenharia considerando, principalmente, o tipo de material e o meio no qual ele está inserido. Esse conhecimento é fundamental para a mitigação do fenômeno de corrosão.[6]

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de iniciação científica e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFOP.

REFERÊNCIAS

- 1 CARBO H. M.; ACESITA/Grupo Arcelor Mital, **Aço Inoxidável**, 2001.
- 2 CÂNDIDO, L.C., **Notas de Aula, Disciplina Corrosão**, MET300, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMET), Escola de Minas - UFOP.
- 3 LICHTENSTEIN R. B, **Patologia das Construções**, boletim técnico, EPUSP.1 - ABRACO; Associação Brasileira de Corrosão, www.abraco.org.br Acesso em 20/11/2009.
- 4 Normas **American Society For Testing And Materials (ASTM)** em 1981, apresentou G1.
- 5 Normas **American Society For Testing And Materials (ASTM)** em 1978, apresentou G5.
- 6 CASTANHEIRA, G. D. **Avaliação do Fenômeno de Corrosão em aços inoxidáveis e aços ao carbono – estudo de casos**. Relatório final do projeto de Iniciação Científica – FAPEMIG – UFOP.
- 7 GENTIL, V., **Corrosão, Livros técnicos e científicos editora**, 1996, 345p.
- 8 MARQUES, A.A.; **Estudo da Corrosão Localizada de Aços Inoxidáveis Austeníticos e Ferríticos, em Meios Contendo Cloretos, Empregando Diferentes Técnicas Experimentais**. Relatório final de projeto de pesquisa – PROMET/UFOP, ago/2001.
- 9 VIEIRA, D. H. **Estudo de Casos Patológicos de Corrosão em Estruturas Metálicas**. Relatório final de pesquisa – PIVIC/UFOP, set/2003.