
Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Estudo da corrosão em tubulações de aço carbono utilizadas na distribuição de água potável em solução de hipoclorito de sódio.

^a Reginaldo C. Silva e ^b Hercílio G. de Melo

Abstract

Water, a natural resource, essential for life, has not received due importance due to the illusory sense of abundance. The lack of understanding of its complex cycle and waste have entailed in shortages, affecting the quality of life of populations. A loss of around 40% of all water treated and distributed by utilities is estimated in developing countries, like Brazil. In the specific case of metal pipelines, corrosion is identified as the main cause of failures. The disinfection treatment is essential in the production of drinking water, which is often achieved by the introduction of free chlorine or sodium hypochlorite. In its turn, potable water distribution network is basically constituted by carbon steel. In this context, in the present work, the effect of adding $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of free residual chlorine (FRC) on the corrosion resistance of ASTM A1018 steel was investigated. This material is widely used in the drinking water distribution network in the state of São Paulo, and the FRC concentration is similar to that used in such systems for disinfection purposes. The corrosion behavior was evaluated by open circuit potential measurements, anodic and cathodic polarization curves and electrochemical impedance spectroscopy, whereas microstructural characterization was carried out by optical and scanning electron microscopy. The results have shown that the ASTM A1018 steel is very sensitive to corrosion in the test electrolyte and that no protective corrosion product layer is formed on the metal surface up to 48 hours of immersion.

Keywords: ASTM A1018, drinking water, OCP, EIS, polarization curves.

^a Estudante de Mestrado da EP USP

^b Doutor do Laboratório de Processos Eletroquímicos do PMT USP

Resumo

A água, um bem natural essencial à vida, não tem recebido a devida importância devido à ilusória sensação de abundância. A falta de entendimento do seu complexo ciclo e o desperdício têm acarretado em problemas de escassez, comprometendo a qualidade de vida das populações. Estima-se uma perda por volta de 40% de toda água tratada e distribuída pelas concessionárias de países em desenvolvimento como o Brasil. No caso específico das tubulações metálicas, a corrosão é identificada como a principal causa de falhas. Na produção de água potável é essencial o tratamento de desinfecção, o qual é principalmente realizado pela introdução de cloro livre ou de hipoclorito de sódio. Por sua vez, a rede de distribuição de água potável é basicamente constituída por aço carbono. Neste contexto, no presente trabalho, está sendo investigada a resistência à corrosão do aço ASTM A1018 em solução contendo $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de cloro livre residual (CLR). Este aço é largamente utilizado na rede de distribuição de água potável do estado de São Paulo, e a concentração de CLR empregada é semelhante àquela usada nos tratamentos de desinfecção de água potável. O comportamento de corrosão foi avaliado por medidas de potencial de circuito aberto, curvas de polarização anódica e catódica e por espectroscopia de impedância eletroquímica, enquanto a caracterização microestrutural foi realizada por microscopia óptica e eletrônica de varredura. Os resultados mostraram que o aço ASTM A1018 é muito sensível à corrosão no eletrólito teste e que não ocorre formação de produtos de corrosão protetores sobre a superfície do metal nos ensaios realizados até 48 horas de imersão.

Palavras-chave: ASTM 1018, água potável, OCP, EIS, curvas de polarização.

1. Introdução

Fundamental para o crescimento e desenvolvimento de qualquer civilização antropológica, a disponibilidade de água potável tem sido historicamente associada ao aumento na expectativa de vida e à melhoria da saúde pública. Entretanto, atualmente, é notória a crise de abastecimento de água decorrente de fenômenos climáticos pouco compreendidos, não só no estado de São Paulo, como em outros estados da união. Neste contexto pesquisar tecnologias que minimizem as perdas nas etapas de tratamento e distribuição de água é no mínimo relevante.

No estado de São Paulo a concessionária responsável pelo tratamento e distribuição de água potável para a população é a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). Dentre suas atribuições estão a gestão dos recursos hídricos reservados em 20 represas, o tratamento da água em 8 estações de tratamento de água (ETA) e sua distribuição por uma rede de adutoras de 1270 km até os 137 centros de estocagem, com distribuição de volume diário de água potável em torno de 68 m³/s. [1]. Atualmente os tratamentos de potabilidade da água envolvem a ampla utilização de cloro, adicionado diretamente na forma de gás ou na forma de hipoclorito de sódio. Entretanto, o cloro é altamente reativo e uma das consequências diretas disto é a aceleração dos processos corrosivos nas tubulações de distribuição de água.

Estima-se uma perda por volta de 40% de toda água tratada e distribuída pelas concessionárias de países em desenvolvimento como o Brasil [2], sendo que uma das principais causas está relacionada a vazamentos em tubulações de distribuição relacionados a processos corrosivos [3]. Apenas no Brasil, estima-se um prejuízo financeiro de cerca de R\$ 8,015 bilhões/ano (correspondente a aproximadamente 80% dos investimentos em água e esgoto realizados em 2013) [4].

No presente trabalho foram empregadas técnicas eletroquímicas para estudar a corrosão do aço ASTM A1018, um dos mais utilizados na confecção de dutos de distribuição de água potável no estado de São Paulo, em solução de hipoclorito de sódio, com concentração de cloro livre residual (CLR) de 3,0 mg·L⁻¹. Esta concentração corresponde à média utilizada pela SABESP no processo de tratamento de água para potabilidade.

2. Materiais e Métodos

2.1. Amostragem

As amostras utilizadas nos ensaios foram obtidas a partir de uma chapa da ASTM A1018 cedida pela SABESP. A tabela 1 apresenta a composição química prevista para o aço, bem como algumas de suas propriedades mecânicas.

Norma	Composição Química (% em peso)						Ensaio de Tração	
	C	Mn	Si	P	S	Outros	L.E. (Mpa)	L.R. (Mpa)
ASTM A1018	0,15 - 0,20	0,6 - 0,9	--	0,030	≤ 0,035	V ≤ 0,008	≥ 205	≥ 340

Tabela 1 – Composição química e propriedades mecânicas da ASTM A1018.

A chapa foi cortada com uma serra de fita vertical (fig.1a) e as peças embutidas em resina epóxi ID:8010 da Akasel (fig.1b). Todos os corpos de prova foram lixados por lixas com granulometria 100, 400, 600 e 1200, sequencialmente, e em seguida limpos com álcool e secos com jato de ar quente.

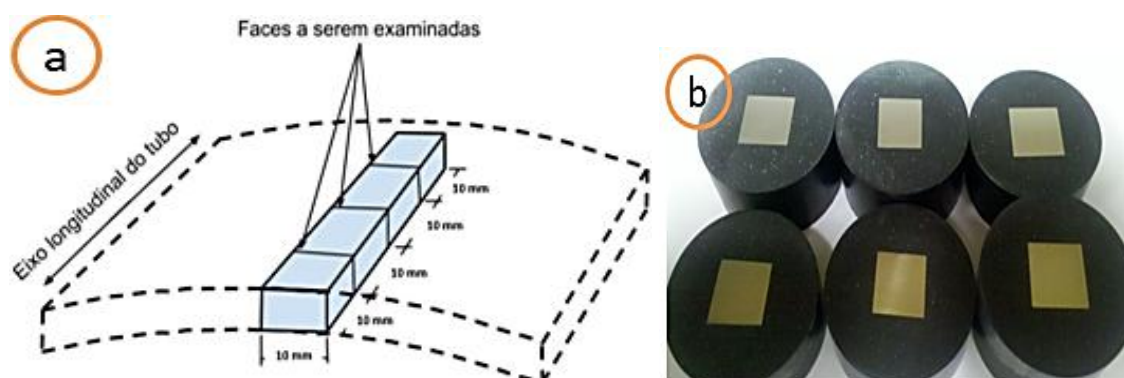


Figura 1 – (a) Sistema de amostragem utilizado para confecção das peças [5], (b) peças embutidas.

2.2. Análises Microestruturais

As análises microestruturais foram realizadas com amostras lixadas, polidas (com pasta de diamante até $1\mu\text{m}$) e atacadas com NITAL 2%, antes e após os ensaios de polarização.

Foi utilizado um microscópio óptico Olympus BX60M e um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Philips XL-30 equipado com detector EDS. O software Image J foi utilizado para a quantificação das fases em amostras atacadas com NITAL 2%.

2.3. Ensaios Eletroquímicos

Os ensaios eletroquímicos foram executados em uma célula clássica com três eletrodos, com referência de calomelano saturado e contra-eletródo de platina. Foram realizados ensaios de potencial de circuito aberto (PCA), resistência de polarização linear (RP), curvas de polarização potenciodinâmicas (CP) e espectroscopia de impedância eletroquímica (*electrochemical impedance spectroscopy* - EIS) em função do tempo de imersão.

Os ensaios de CP e RP foram realizados com potenciostato-galvanostato Princeton Applied Research 273A controlado pelo software Power Suíte. As CP foram obtidas após uma hora de estabilização do PCA no intervalo de potencial de -300 a $+400$ mV (*vs.* PCA), com velocidade de varredura de $1 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$, no sentido anódico. Os registros de RP foram obtidos em função do tempo de imersão no intervalo entre ± 30 mV (*vs.* PCA) e velocidade de varredura de $1 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$.

Os ensaios de EIS foram executados no interior de uma gaiola de Faraday com potenciostato Autolab (PGSTAT30) dotado de módulo de impedância e controlado pelo software Nova 1.11. Os diagramas foram obtidos no intervalo de frequência de 10^5 Hz a 10^{-2} Hz com taxa de aquisição de 8 pontos por década logarítmica e amplitude de perturbação foi de 10 mV (rms). Para algumas das condições foram realizados ensaios com o tempo de imersão.

Com o objetivo de simular condições próximas às de um sistema real de distribuição, também foram realizados ensaios eletroquímicos com circulação de água (bomba peristáltica Watson Marlow-323E) com velocidade de circulação da solução na célula eletroquímica de 360 ciclos por minuto.

2.4. Eletrólitos

O eletrólito teste consistiu de solução aquosa preparada a partir de hipoclorito de sódio (NaOCl-Vetec (P.A.), Lote DCBC4594) com concentração de cloro livre residual (CLR) de $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, a qual é típica para o tratamento de água potável. A concentração de CLR foi determinada por titulação iodométrica segundo metodologia proposta no método 4500-B do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW). Neste a concentração de CLR é determinada diretamente do volume titulado, reagido com tiosulfato de sódio 0,01N padronizado, sendo o indicador de iodeto de potássio e amido.

As soluções de hipoclorito utilizadas foram neutralizadas para pH 7 com solução de ácido acético 6% (CH_3COOH), a qual é proposta pelo SMEWW.

Para efeito de comparação também foram realizados ensaios eletroquímicos em solução de NaCl 3,5%, em água deionizada (DI). A tabela 2 apresenta a condutividade e os pHs dos diferentes eletrólitos utilizados.

<i>Soluções Eletrolíticas</i>	<i>pH</i>	<i>Condutividade ($\mu\text{S.cm}$)</i>
<i>NaOCl 3,0 mg·L⁻¹ neutralizada com CH₃COOH</i>	7,00	300
<i>NaCl 3,5%</i>	8,03	50.000
<i>H₂O Deionizada</i>	6,95	1,50

Tabela 2 – Condutividade e pH das soluções utilizadas nos ensaios eletroquímicos.

3. Resultados e discussão

3.1. Fases

A figura 2 apresenta imagem obtida por MO do aço ASTM A1018 polido e atacado com Nital 2%. Conforme identificado na figura 2a, a microestrutura consiste em uma matriz ferrítica com ilhas de perlita.

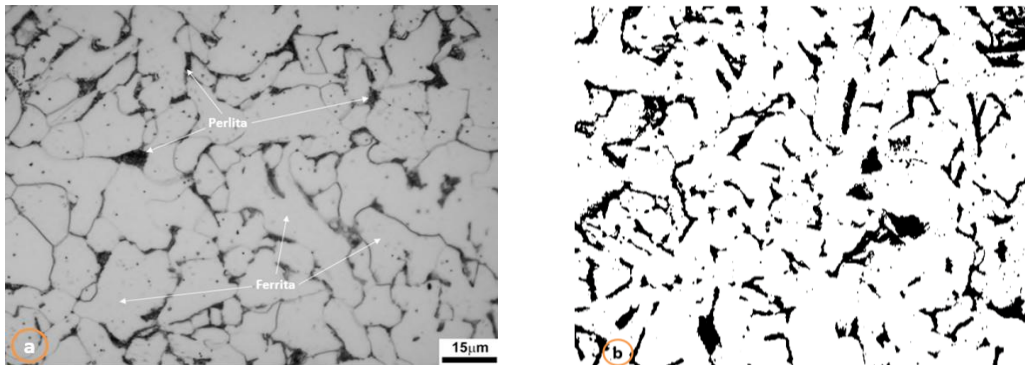
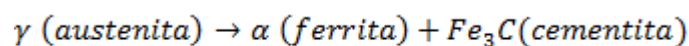


Figura 2 – (a) Imagem da superfície obtida por MO com ampliação de 1000X, previamente atacadas por NITAL 2% (b) quantificação das fases obtida pelo software Image J.

Durante o processo de resfriamento do aço ocorrem diversas transformações de significativa importância para a composição final das ligas Fe-carbono, e que, na condição de equilíbrio, podem ser observadas criteriosamente pelo diagrama de fase. Uma destas é a transformação eutetóide. Nesta transformação, a austenita restante do resfriamento do aço transforma-se em perlita, que é uma mistura mecânica de ferrita e cementita constituída por lamelas finas justapostas destes dois componentes:



Na prática, sendo o ASTM A1018 um aço hipoeutetóide (% de carbono inferior a 0,77%) a quantidade de perlita (quantidade de austenita que sofre a transformação eutetóide) pode ser teoricamente determinada pela regra da alavanca:

$$\% \text{ Perlita} = \frac{0,18 - 0,022}{0,77 - 0,022} \cdot 100 = 21,1\%$$

Para determinar a fração volumétrica de perlita e ferrita na microestrutura do aço estudado, dezessete imagens, com ampliação de 1000 vezes, de amostras atacadas com Nital 2%, foram analisadas com o software Image J (fig.2b). A porcentagem média de perlita determinada foi de $20,5 \pm 1,9 \%$ e, conseqüentemente, 79,5% de ferrita, fornecendo um valor coerente e muito próximo ao teórico. A figura 3 apresenta uma micrografia da superfície do aço ASTM 1018 com baixo aumento (100 X) juntamente

com o espectro EDS de toda a região. O material apresenta superfície homogênea, onde os únicos elementos identificados em níveis significativos foram o Fe e o Mn (tab. 3).

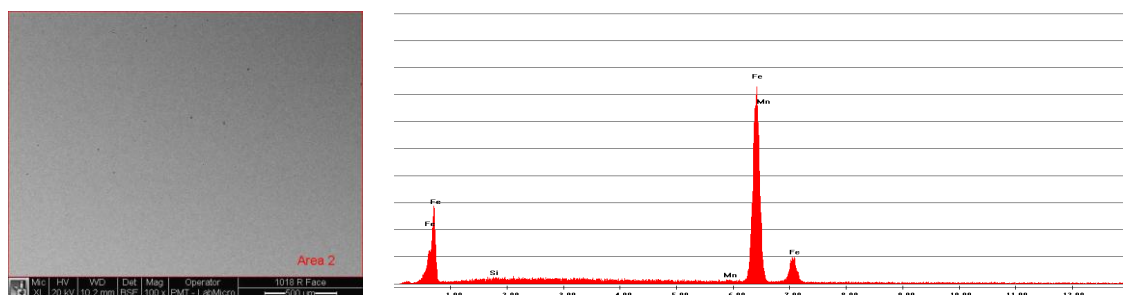


Figura 3 - Imagem por MEV da superfície do aço ASTM A1018 e composição da liga obtida a partir de área com aumento de 100X.

Elemento	% Massa	% Atomica
Mn	0,81	0,82
Fe	99,19	99,18

Tabela 3 - Porcentagem média dos elementos no aço ASTM A1018. Determinação por EDS.

A influência das inclusões nas propriedades dos materiais depende de sua natureza, quantidade e distribuição. Além desses fatores, deve-se ainda considerar o tamanho e a forma das partículas. As inclusões identificadas no aço ASTM A1018 a partir das micrografias (fig. 4), apresentaram em sua totalidade Al e O, caracterizando-as como alumina, Al_2O_3 , também visualmente identificáveis por sua morfologia arredondada. Em algumas regiões estas estavam alinhadas, o que pode prejudicar a resistência à corrosão do material.

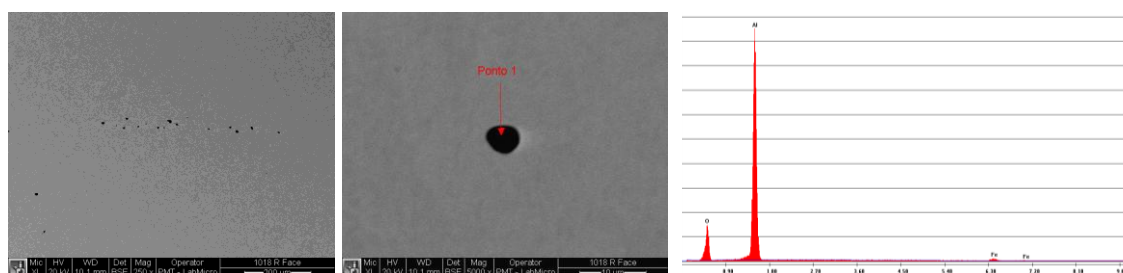


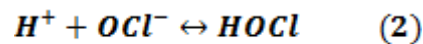
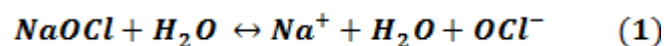
Figura 4 - MEV da superfície da amostra com aumento de 250X, 5000X e espectro EDS com a composição da inclusão, respectivamente.

Para Ribeiro *et al.* [6] é desejável o controle deste tipo de inclusões para a melhoria da qualidade superficial ou para permitir o lingotamento sem obstruções. Para este fim, são acrescentadas ao aço compostos normalmente à base de cálcio-silício ou de cálcio-silício-manganês. Neste processo, durante a fundição, o cálcio adicionado combina-se com a alumina, formando aluminato de cálcio. Este por sua vez, sendo líquido na

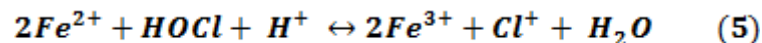
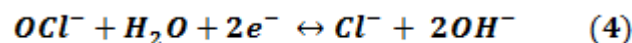
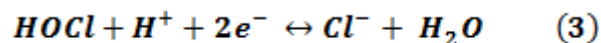
temperatura de lingotamento, não se adere nas paredes das válvulas e tende a flotar com maior velocidade.

3.2. Variação do Teor de Cloro Livre Residual (CLR)

Denomina-se cloro residual livre o cloro presente na água sob as formas de ácido hipocloroso (HOCl) ou íon hipoclorito (OCl⁻) ainda não reagido com matéria orgânica ou microrganismos. Quando a cloração é feita a partir de hipoclorito de sódio, a dissociação se processa segundo a reação (1), estabelecendo-se também o equilíbrio apresentado na reação (2):



De acordo com Frateur [7] o cloro livre adicionado no tratamento de água pode ser consumido por via química ou eletroquímica, diminuindo a quantidade efetiva disponível. No primeiro grupo de reações estão incluídas a demanda de cloro inicial, que corresponde à reação do cloro com compostos facilmente oxidáveis, o consumo por matéria orgânica e pelo próprio biofilme [7]. O consumo por via eletroquímica, com consequente oxidação do metal, consiste na redução do ácido hipocloroso (3), do hipoclorito (4) ou ainda a oxidação de íons ferroso a férrico (5).



Foi avaliada a variação da concentração do CLR em função do tempo de contato da solução com o aço ASTM A1018. Para isto, 500 ml da solução contendo 3,0 mg·L⁻¹ de CLR foi colocada em contato com 1 cm² do material tanto em regime estático (E) como dinâmico (D), este último utilizando uma bomba peristáltica para circular a água. Os resultados médios do decaimento da concentração de CLR em função do tempo, obtidos a partir da média de 5 ensaios, podem ser visualizados na figura 5. Para o sistema estático verifica-se que o decaimento na concentração de CLR não é significativo até 48 h de ensaio. Já na condição dinâmica, o consumo ocorre desde as primeiras horas de imersão. Tendo em vista estes resultados, na solução dinâmica foram realizados ensaios

apenas após uma hora de imersão enquanto na solução estática o comportamento eletroquímico foi acompanhado até 48h.

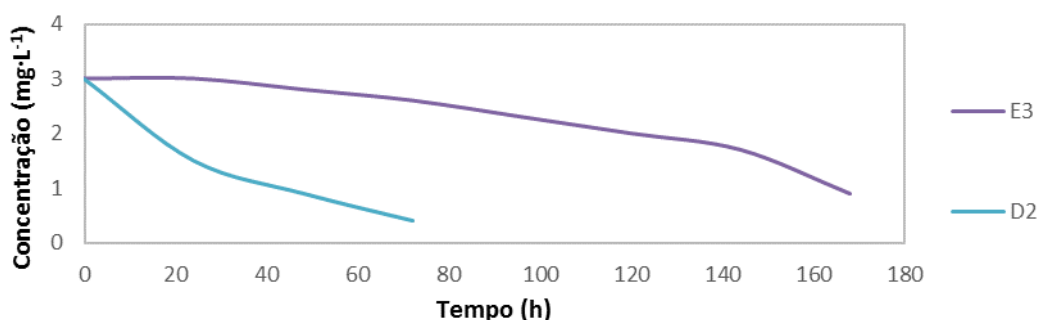


Figura 5 – Variação da concentração de CLR em função do tempo.

3.3. Potencial de Circuito Aberto

A figura 6 mostra a variação do PCA com o tempo para o aço ASTM A1018 em solução com $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR. Verifica-se um leve decaimento do potencial nos primeiros minutos de imersão seguido de uma rápida estabilização. Os valores de PCA em 15 ensaios estabilizaram entre $-0,66\text{V}$ e $-0,69\text{V}$ (ECS). Levando em conta que o potencial estava estável após 3000 segundos, determinou-se que os ensaios eletroquímicos (CP, RP e EIS) seriam iniciados após 3600 segundos (1h) de imersão.

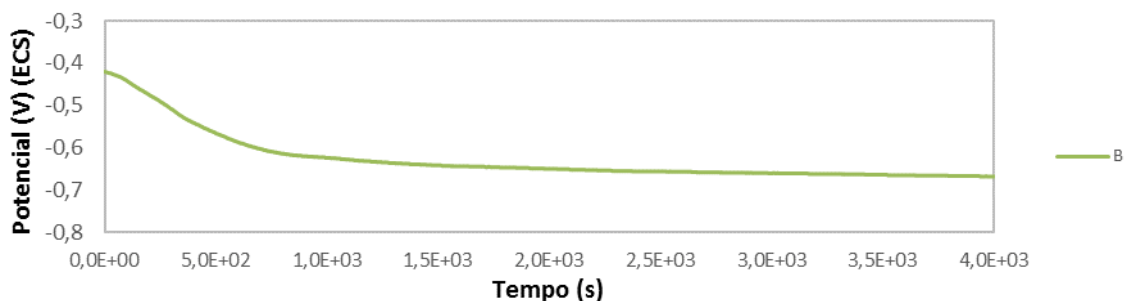


Figura 6 – Potencial de circuito aberto da amostra de aço ASTM A1018 em solução com $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR

3.4. Curvas de polarização

Na figura 7 estão apresentadas as curvas de polarização para o aço ASTM A1018 em água deionizada, solução de NaCl 3,5% e solução com $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR. A figura mostra que a densidade de corrente de corrosão dos sistemas com NaOCl e NaCl são bastante semelhantes, enquanto que na água destilada esta é bem inferior, o que está de acordo com a menor agressividade deste último meio. A comparação das CP em solução de NaCl 3,5% e com $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR mostra que na primeira solução a curva anódica é mais despolarizada, enquanto a curva catódica é mais despolarizada na segunda. Este último resultado pode ser atribuído às reações catódicas envolvendo o

HOCl e o OCl⁻, equações (3) e (4) que se sobrepõem à reação de redução do oxigênio, contribuindo para aumentar a corrente catódica.

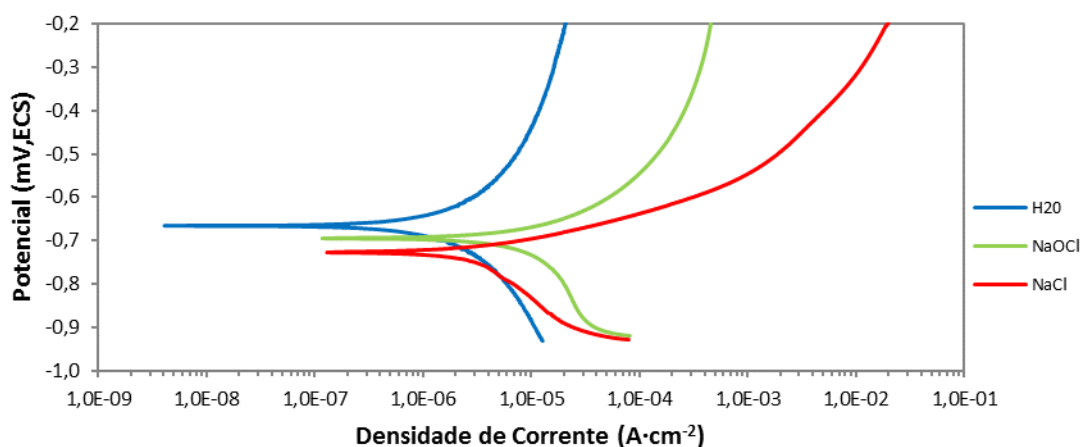


Figura 7 – Curvas de polarização para o aço ASTM A1018 em H₂O DI, NaCl 3,5%, e solução com 3,0 mg·L⁻¹ de CLR

Foram comparadas também as CP nas condições estática e dinâmica para o eletrodo imerso em solução com 3,0 mg·L⁻¹ de CLR (fig. 8). Verifica-se que a agitação da solução eleva o potencial de corrosão de cerca de 300 mV. Como esperado, com este procedimento, ocorre também um aumento da densidade de corrente de corrosão e uma despolarização dos ramos anódico e catódico da CP. No ramo anódico o movimento da solução facilita o transporte de íons Fe para longe da superfície do eletrodo, já no lado catódico ocorre um maior aporte de oxidante até a interface, aumentando a cinética desta reação.

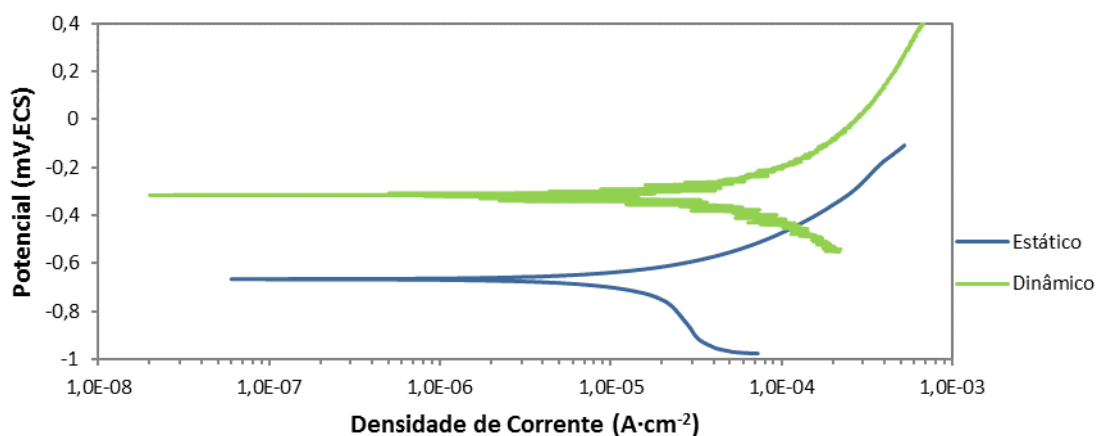


Figura 8 – Curvas de polarização em solução com 3,0 mg·L⁻¹ de CLR para o aço ASTM A1018 em regime estático e dinâmico.

3.5. Resistência à Polarização.

A variação de RP em função do tempo de imersão é apresentada na figura 9. Pelos valores obtidos, é possível observar a redução de RP em função do tempo de imersão do aço ASTM A1018 na solução aquosa contendo $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR, o que indica o incremento da velocidade de corrosão em função do tempo até se obter uma relativa estabilização após 51 horas de ensaio.

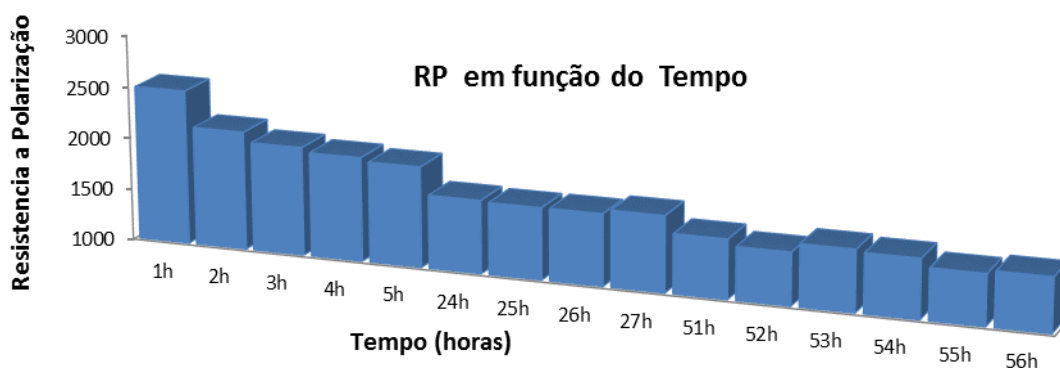


Figura 9 - Variação da resistência a polarização com o tempo de imersão na solução com $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ de CLR para o aço ASTM A1018.

3.6. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica

As figuras 10 e 11 apresentam, respectivamente, a resposta de impedância em função do tempo de imersão do aço ASTM A1018 em solução de NaCl 3,5% e com $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR. Na solução com cloreto os diagramas de Nyquist (fig. 10a) são compostos por um único arco capacitivo achatado, cujo ângulo de fases se apresenta alargado (fig. 10b), indicando uma possível sobreposição de constante de tempo. Ocorre uma queda contínua do módulo da impedância com o tempo de imersão, indicando que não são formados produtos de corrosão protetores.

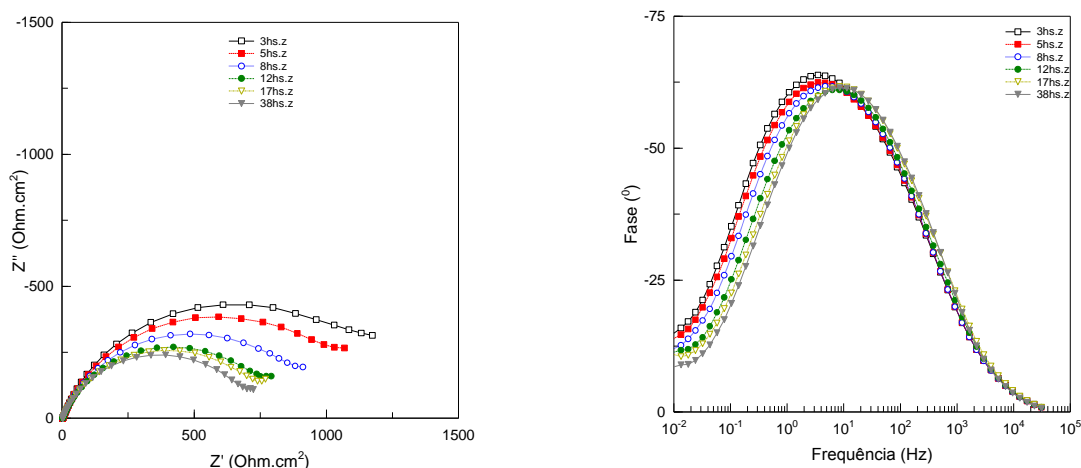


Figura 10 – Diagramas de impedância em função do tempo de imersão em solução de NaCl 3,5% para o aço ASTM A1018: (a) diagramas de Nyquist, (b) diagramas de ângulo de fases.

No eletrólito contendo $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR, a resposta de impedância do substrato foi mais complexa (fig. 11). Desde o início do período de imersão os diagramas são achatados e compostos por duas constantes de tempo, indicando mecanismo de corrosão mais complexo que na solução contendo cloreto. Com o tempo de ensaio a constante de tempo em altas frequências torna-se mais definida, indicando uma melhor separação entre os dois processos. Observa-se também que, para as primeiras horas de ensaio, o módulo da impedância apresenta uma pequena queda, tendendo à estabilização e crescimento no final do período de teste. Verifica-se ainda que o módulo da impedância nesta solução é ligeiramente inferior ao obtido na solução com 3,5% de NaCl, e que a resistência do eletrólito é superior, em virtude da menor concentração do eletrólito. No atual estágio de desenvolvimento do projeto uma discussão sobre a origem das constantes de tempo seria prematura.

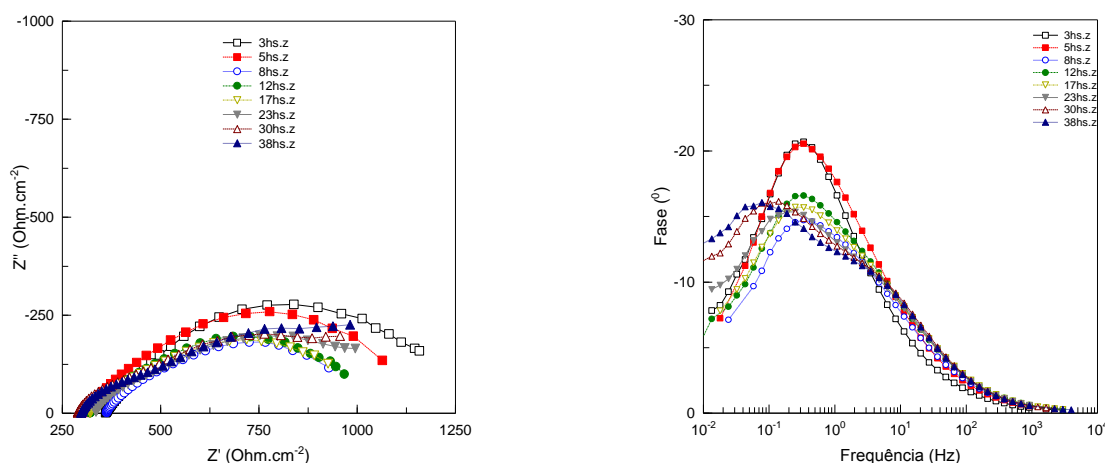


Figura 11 – Diagramas de impedância em função do tempo de imersão em solução com $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR para o aço ASTM A1018: (a) diagramas de Nyquist, (b) diagrama de ângulo de fases.

3.7. Aspecto Visual das Amostras

Uma característica peculiar observada em todos os ensaios foi a formação de uma camada de óxido pouco aderente sempre na parte inferior do eletrodo de trabalho, indicando uma clara separação entre áreas catódica e anódica (fig. 12). Na célula eletroquímica a superfície metálica foi sempre posicionada verticalmente, totalmente submersa, com o lado superior do corpo de prova a uma distância de aproximadamente 3 mm da superfície do eletrólito teste, o qual está em equilíbrio com a atmosfera. A concentração de oxigênio dissolvido em solução é igual a $2,5\cdot 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ [7], o que é cerca de seis vezes maior que a CLR ($3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, que corresponde a $4,2\cdot 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR). A maior disponibilidade de oxigênio nas proximidades da interface da lâmina d'água, consequência da proximidade do oxigênio atmosférico, pode gerar uma região

catódica que preserva a superfície do metal, em contraste com a região inferior que se transforma em uma região anódica, favorecendo a dissolução do metal.

Os depósitos formados na superfície do metal são resultantes da reação entre os íons ferrosos, formados na área anódica (reação 6) e íons hidroxila formados na área catódica (reações 3, 4 e 7). A formação da camada de produtos de corrosão também foi observada nos ensaios dinâmicos, porém em regiões diferentes devido ao movimento da solução.

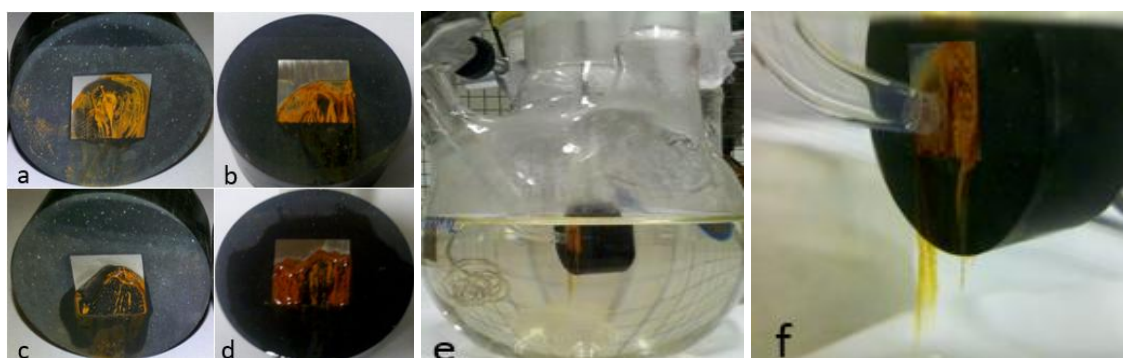
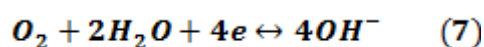
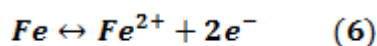


Figura 12 – (a, b, c, d) Aspecto visual das amostras após ensaios estáticos, (e) Condições de ensaio, (f) Produtos de corrosão na superfície.

3.8. Microscopia

A superfície da amostra foi observada por MO e por MEV após os ensaios de polarização (fig. 13). A imagem por MO (fig. 13a) mostra uma clara separação entre as zonas não corroída (parte superior) e corroída. As micrografias obtidas por MEV demonstram a ocorrência de corrosão generalizada (fig. 13b), caracterizada pelo ataque uniforme com diminuição da espessura da peça e com o aparecimento de montículos convexos na superfície. Realizando a ampliação da imagem (fig. 13c e 13d) pode-se perceber ataques nos contornos de grãos e ataques diferenciados entre os grãos, possivelmente justificável pela a orientação cristalográfica individual de cada grão.

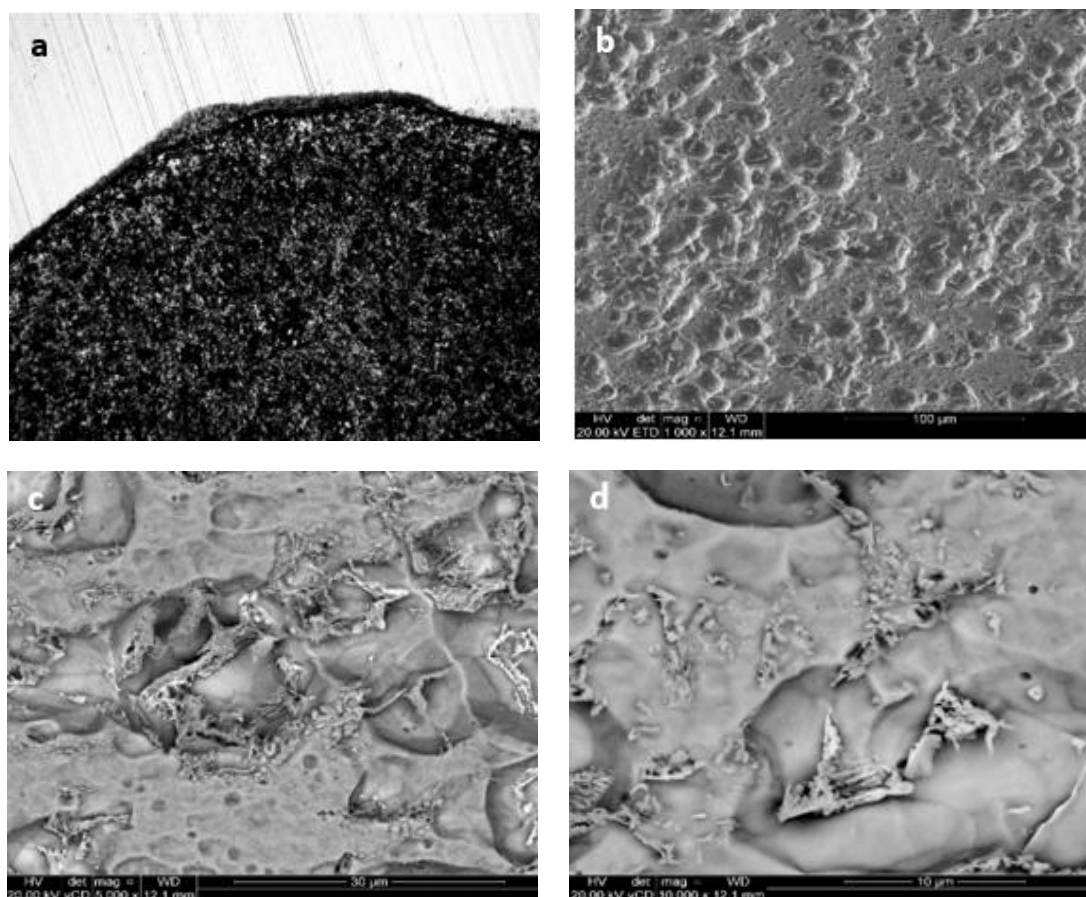


Figura 13 – Imagens da superfície da amostra após o ensaio de polarização na solução com $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR: (a) M.O - 1.000X; MEV (b) 1.000X, (c) 5.000X, (d) 10.000X

O EDS dos produtos de corrosão na superfície da peça indicou a presença de ferro e oxigênio (tab. 3), caracteristicamente ferrugem, entretanto por este método não é possível detectar qual tipo de óxido de ferro foi formado ou suas respectivas parcelas. A ferrugem possui uma composição complexa [8], porém é basicamente constituída por compostos da forma FeOOH e Fe_3O_4 sendo mais conveniente a aplicação de técnicas de difração de raios X, o que será realizado em trabalho futuro.

Elemento	% Massa	% Atomica
Mn	0,95	0,90
Fe	96,14	90,43
O	2,65	8,66

Tabela 3 – Composição de um precipitado na superfície do metal.

4. Conclusão

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que:

- A composição do aço utilizada no estudo consiste de uma matriz ferrítica com ilhas de austenita, com percentagem de perlita próxima à prevista pela regra da alavanca para um aço com 0,18% de C;

- Os resultados dos ensaios eletroquímicos mostraram que a agressividade do eletrólito contendo $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CLR adicionado como NaOCl para o aço ASTM A1018 é semelhante àquela exibida por uma solução contendo 3,5% de NaCl, embora, existam indicações de que as etapas controladoras da corrosão em cada um dos meios é diferente;

- Os resultados dos ensaios de RP e de EIS indicam que até dois dias de imersão do aço ASTM A1018 na solução contendo $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ do eletrólito não ocorre formação de produtos de corrosão protetores que possam retardar o processo corrosivo;

- A observação da superfície dos corpos de prova imersos verticalmente no meio em estudo indica uma grande importância da aeração diferencial nos processos corrosivos.

Bibliografia

- [1] SABESP, “sabesp,” 21 Setembro 2015. [Online]. Available: www.sabesp.com.br.
- [2] IBNET, “Water loss by country,” IBNET, 2011.
- [3] SNIS, “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto,” SNIS, 2013.
- [4] H. G. D. MELO, *Conceitos básicos de corrosão*, São Paulo: PMT USP, 2015.
- [5] D. HINCAPIE, “Corrosão, Absorção e Danos Provocados por Hidrogênio em Aços Microligados,” São Paulo, 2014.
- [6] S. RIBEIRO, R. SAMPAIO e L. CASTRO, “Refino Secundário dos Aços,” 1996.
- [7] I. FRATEUR, C. DESLOUIS, L. KIENE, Y. LEVI e B. TRIBOLLET, “Free Chlorine Consumption Induced by Cast Iron Corrosion in Drinking Water Distribution Systems,” Elsevier Science, Great Britain, 1998.
- [8] S. WOLYNEC, *Técnicas Eletroquímicas em Corrosão*, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013.
- [9] KURITA, *Handbook of Water Treatment*, Tokyo: KURITA, 1999.
- [10] IUPAC, *Compendium of Chemical Terminology*, International Union of Pure and Applied Chemistry, 2014.
- [11] F. PANNONI, *Princípios de Proteção de Estruturas Metálicas*, São Paulo: Gerdau Aço Minas, 2007.
- [12] W. CALLISTER, *Materials Science and Engineering*, Danvers: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [13] L. VAN VLACK, *Princípios de Ciência dos Materiais*, São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- [14] ASM, *Handbook Alloy Phase Diagrams*, U.S.A: ASM International, 1992.
- [15] J. M. WEST, *Basic Corrosion and Oxidation*, Ellis Horwood Ltd, 1986.
- [16] OIKAWA, K.; OHTANI, H.; ISHIDA, K., *The morphology of MnS inclusions in steel formed during solidification*, Sendai: Tohoku University, 1994.