

## **NATUREZA DO TRABALHO: TRABALHO DE PERÍCIA**

**Resumo:** *Este trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de corrosão de um sistema de montagem metálica em função da ocorrência de processo corrosivo no sistema após instalação. Trata-se de uma subestrutura em peças metálicas para recebimento de revestimento externo em pele de vidro instalado na cidade de Belém. O estudo foi realizado através de inspeção visual com vista desarmada, análise metalográfica e espectroscopia de energia de elétrons para avaliação da composição química e natureza da peça metálica, microscopia eletrônica de varredura e teste acelerado de corrosão. Os resultados mostram a ocorrência de contato entre metais de natureza e composição muito distintas, resultando em um potencial de corrosão inquestionável. Reduz a possibilidade de ocorrência da corrosão o fato de algumas peças apresentarem um sistema de proteção/revestimento superficial, desde que estes revestimentos apresentem-se íntegros, sem exposição do metal de base, em função da ocorrência de riscos, fissuras e outros danos físicos durante transporte, montagem e uso.*

**Palavras-chave:** *Patologias, Sistema de revestimento, Microscopia eletrônica de varredura, Corrosão, Metalografia.*

## 1. Introdução

Corrosão é um processo natural e resulta da inerente tendência dos metais reverterem para sua forma mais estável normalmente óxidos. A maioria dos metais são encontrados na natureza na forma de compostos estáveis como óxidos, sulfetos, silicatos etc. . denominados minérios. Durante o processo de extração e refino, é adicionada uma quantidade de energia ao minério para extrair o metal ou metais nele contido. É esta mesma energia que possibilita o aparecimento de forças capazes de reverter o metal à sua forma primitiva de composto mais estável.

São várias as formas que podem ocorrer. Algumas são mais freqüentes que outras e depende muito do ambiente e processos usados. Os tópicos seguintes descrevem as formas mais comuns.

..Corrosão pelo ar:

A maioria dos metais tende a se combinar com o oxigênio do ar, produzindo os respectivos óxidos. Não considerando a ação de vapores contidos no ar (de água, etc), este processo se dá de forma lenta para o ferro em temperaturas usuais de ambientes. Entretanto, em alguns metais como o alumínio a corrosão é rápida mas acontece um interessante fenômeno: a camada de óxido formada na superfície isola o oxigênio e impede a continuação do processo. Isso é chamado passivação. A presença de vapor de água acelera o processo e ainda mais se tais vapores contém substâncias agressivas como sais ou ácidos. Ocorre em muitos ambientes industriais, locais próximos ao mar, etc.

A prevenção e o combate dependem de cada caso. Métodos comuns são, por exemplo, uso de tintas protetoras, tratamentos superficiais como niquelagem, cromagem, fosfatização, etc. É evidente que em alguns casos pode ser viável o uso de materiais mais adequados. Exemplo: alumínio ou plástico no lugar do aço.

.. Corrosão por ação direta:

Pode-se incluir neste item os casos em que o metal está diretamente em contato com substâncias que o atacam. É comum em processos industriais. Exemplos: soluções químicas, sais ou outros metais fundidos, atmosferas agressivas em fornos, etc.

A prevenção e controle são específicos para cada caso.

.. Corrosão biológica:

Microorganismos também podem provocar corrosão em metais. Isto é particularmente importante em indústrias alimentícias e similares.

.. Corrosão por corrente de fuga:

Corrosão causada por fuga de corrente elétrica contínua devido a aterramento elétrico mal executado.

.. Corrosão galvânica:

É provavelmente o tipo mais comum. Isto porque a corrosão devido à presença de água quase sempre se deve ao processo galvânico. Seja um metal exposto ao tempo e, portanto, sujeito à ação da umidade e da chuva ou submerso ou sob o solo. É o caso típico de reservatórios, tubulações, estruturas.

O fenômeno pode ser visto no modelo de uma célula galvânica conforme Figura 1, onde dois eletrodos de materiais diferentes são imersos em um eletrólito e são eletricamente ligados entre si.

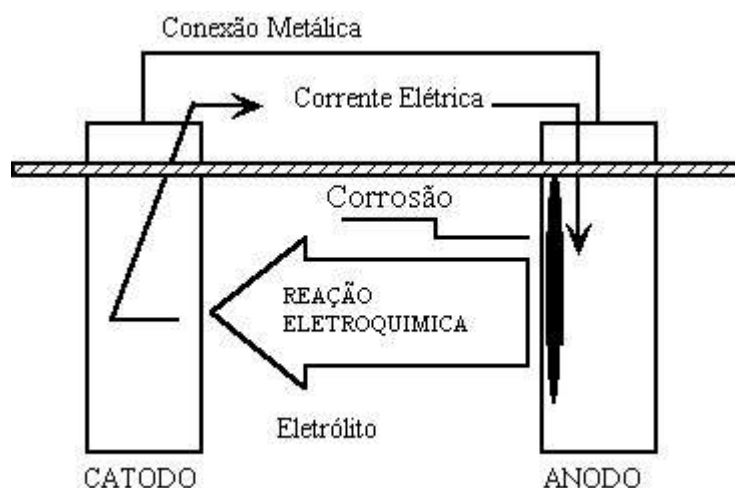


Figura 1 – Célula eletrolítica.

Um modelo prático do sistema de corrosão está mostrado na Figura 2.

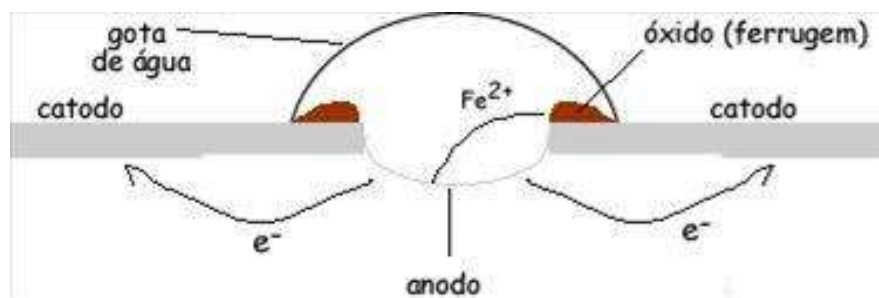
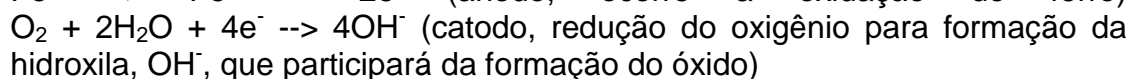
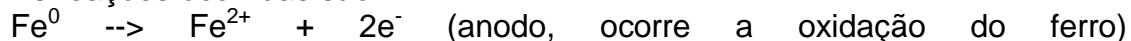


Figura 2 – Célula galvânica mostrando o ferro como anodo em presença de gota de água.

As reações ocorridas são:



Somando as semi-equações, tem-se:



O  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  será oxidado à  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , ferrugem, pelo oxigênio atmosférico, pois o  $\text{Fe}^{3+}$  é mais estável do que o  $\text{Fe}^{2+}$ .

Assim, no anodo ocorre uma reação de oxidação (corrosão do material) e no catodo, uma reação de redução. Para que a célula galvânica ocorra, é necessário que os materiais do anodo e catodo sejam diferentes, ou melhor, apresentem potenciais de oxidação (tensão gerada por cada em relação a um eletrodo neutro de referência) diferentes.

A Tabela 1 dá os valores práticos de potenciais de vários metais medidos em relação a um eletrodo de referência. Quanto mais negativo o potencial, mais anódico será a sua condição, ou seja, mais sujeito à corrosão.

Tabela 1 – Potenciais de oxidação de diferentes metais.

Material	Pot (volts)
Magnésio comercialmente puro	- 1,75
Liga de Mg (6% Al, 3% Zn, 0,15% Mn)	- 1,60
Zinco	- 1,10
Liga de alumínio (5% Zn)	- 1,05
Alumínio comercialmente puro	- 0,80
Aço estrutural (limpo e brilhante)	- 0,50 / - 0,80
Aço estrutural (enferrujado)	- 0,40 / - 0,55
Ferro fundido branco, chumbo	- 0,50
Aço estrutural no concreto	- 0,20
Cobre, latão, bronze	- 0,20

Na prática, as células galvânicas se formam devido às diferenças de materiais existentes como soldas, conexões ou simples diferenças superficiais no mesmo metal. O eletrólito pode ser a água contida no solo, em contato direto ou presente na atmosfera na forma de umidade ou chuva.

Diversos processos são utilizados para eliminar ou reduzir a corrosão galvânica. Como regra geral, deve-se evitar, dentro das possibilidades do projeto e da operação, o contato galvânico entre metais que apresentem grande diferença de potencial eletroquímico.

Isso se obtém pelo uso de materiais isolantes como borracha, por um rearranjo do projeto e pela aplicação de camadas protetoras de revestimento (com tintas, plásticos, etc). Os revestimentos normalmente têm a finalidade de formar um filme contínuo, constituído de material isolante, sobre uma superfície metálica que se pretende isolar. Um revestimento será um meio efetivo de interrompimento de corrosão se:

- .. o material de revestimento for um efetivo isolante elétrico.
- .. puder ser aplicado sem interrupções ou descontinuidades, e resistir íntegro durante o transporte, instalação e operação de enterramento.
- .. o revestimento prover inicialmente um filme quase perfeito e assim permanecer ao longo do tempo.

Os revestimentos variam em qualidade quando inicialmente aplicados, e na resistência durante o manuseio e instalação. As inspeções de controle de material, aplicação, fornecimento da tubulação e instalação afetam tanto a qualidade quanto o custo.

Em metais revestidos e instalados pode-se esperar que apresente pontos danificados ou imperfeições no revestimento (furos, falhas) que permitem que o metal mantenha contato com a atmosfera. Qualquer célula de corrosão deve estar

numa área de furo, falha ou se constituir de dois furos - um furo catódico e outro anódico.

Outro sistema de medidas consiste na remoção do eletrólito, sobretudo quando de natureza incidental (água de chuva ou de condensação, acúmulos de agentes corrosivos, etc).

Em algumas aplicações é necessário o uso de proteção catódica. Este processo é complexo e requer a assistência de especialistas.

Este trabalho tem por objetivo avaliar potencial de corrosão de sistema de montagem metálica, com identificação química das partes e análise de corrosão, em função da ocorrência de processo corrosivo no sistema após instalação.

## 2. Materiais

Este estudo foi desenvolvido com peças metálicas utilizadas para montagem de sistema de revestimento “pele de vidro” a ser utilizado na cidade de Belém.

Os materiais encaminhados pelo interessado formam um sistema de suporte, conforme mostrado na Figura 3, cujos componentes estão identificados e mostrados na Figura 4.



Figura 3 – Sistema de montagem metálica utilizado para fixação de revestimento em pele de vidro.



Figura 4 – Peças componentes do sistema metálico avaliado: (1) Perfil “U”; (2) Parafuso; (3) Cilindro; (4) Arruela; (5) Porca; (6) Trilho.

### 3. Avaliações Realizadas

#### 3.1. Inspeção Visual

- .. Objetivo: identificar as principais características macroscópicas das peças encaminhadas para o estudo;
- .. Preparo das amostras: foram analisadas as amostras conforme encaminhadas pelo contratante;
- .. Equipamentos: inspeção realizada com a vista desarmada
- .. Resultados e Discussões:

A inspeção do Perfil “U” permitiu identificar a presença de uma proteção contra corrosão na forma de pintura. No entanto, identificou-se a ocorrência muitas regiões em que o sistema de proteção havia sido danificado com remoção da

película de tinta (Figura 5), bem como espessura irregular deste recobrimento protetor (Figura 6).



Figura 5 – Regiões com remoção da película de tinta protetora.



Figura 6 – Imagem mostrando aplicação irregular do recobrimento protetor.

Ainda nesta amostra, a presença de pontos falhos na pintura favoreceu o desenvolvimento de corrosão na peça especialmente em regiões de quinas, superfícies arredondadas e pequenos pontos falhos (Figura 7).



Figura 7 – Pontos de corrosão observados no Perfil “U”.

Visualmente, pode-se, ainda, identificar a similaridade de material que constituem o conjunto parafuso, arruela e porca, bem como sua dissimilaridade em relação ao cilindro. O material do trilho também é diferente dos demais aparentemente sendo constituído de alumínio com tratamento de anodização.

### **3.2. Análise Composicional e Análise Química através de Microscopia Ótica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) Acoplada com Espectroscopia de Energia de Elétrons (EDS)**

.. Objetivo: obtenção de imagens e de espectros de composição química elementar permitindo a identificação das características microestruturais das amostras, bem como obter análise química do metal.

.. Preparo das amostras: inicialmente, as amostras retiradas das peças em estudo foram embutidas em acrílico a quente. Em seguida, uma seção plana foi definida através do polimento da amostra com lixas de carbetto de silício grana 240, 320, 400, 600 e 1000. O acabamento final da seção foi obtido através de polimento com pasta de diamante de tamanhos 9  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$  e 1  $\mu\text{m}$ . A possível revelação da microestrutura foi feita através de aplicação de Nital com algodão por 5 segundos o que permitiria a avaliação de microestrutura de aços-carbono, fundamental para determinação do teor de carbono. Antes da avaliação através de MEV as amostras



foram recobertas com uma fina camada de ouro para tornar o material do embutimento condutor;

.. Equipamentos: imagens de microscopia ótica foram formadas em microscópio de luz refletida Metalux Z e capturadas através de câmera CCD. A análise microestrutural e química foi complementada no microscópio eletrônico de varredura JSM 6360LV, Jeol/Noran. Imagens foram obtidas utilizando elétrons secundários (SE – Secondary Electrons) e energia do feixe de 15 kV. Espectros de energia de elétrons, que permitem a avaliação da composição química elementar, foram obtidos através da captura dos raios X característicos.

..Resultados e Discussões:

A avaliação da metalografia obtida através de microscopia ótica, após o ataque com Nital, permitiu identificar que, apenas as peças identificadas como Perfil “U” e Cilindro, são correspondentes a ligas de ferro-carbono. Para as demais peças não foi possível revelar a microestrutura com o ataque realizado.

Imagens obtidas para o Perfil “U” e o Cilindro, em ampliações de 100x e 200x, estão mostradas nas Figuras 8 e 9 a seguir. As imagens apresentam características bem diferenciadas apesar de ambas estarem associadas à ligas de ferro-carbono. As diferenças observadas são decorrentes ao ataque químico utilizado para a revelação da microestrutura. O nital não ataca nem a ferrita, nem a cementita, mas delinea os seus contornos e colore de escuro a perlita. Ferrita, cementita e perlita são as fases possíveis de serem verificadas em ligas de ferro carbono simples resfriadas lentamente, sendo a quantidade de cada uma delas decorrente do teor de carbono presente no material.

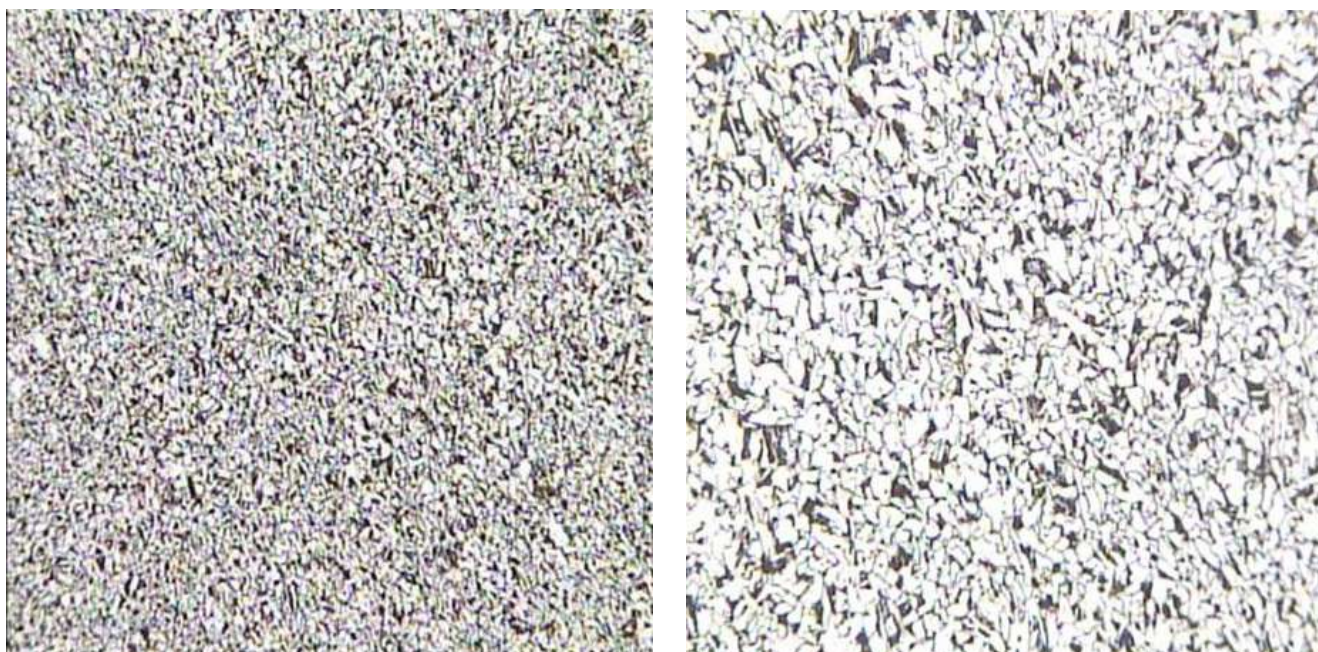


Figura 8 – Imagens de microscopia ótica obtidas para o Perfil “U”, em ampliações de 100x e 200x.



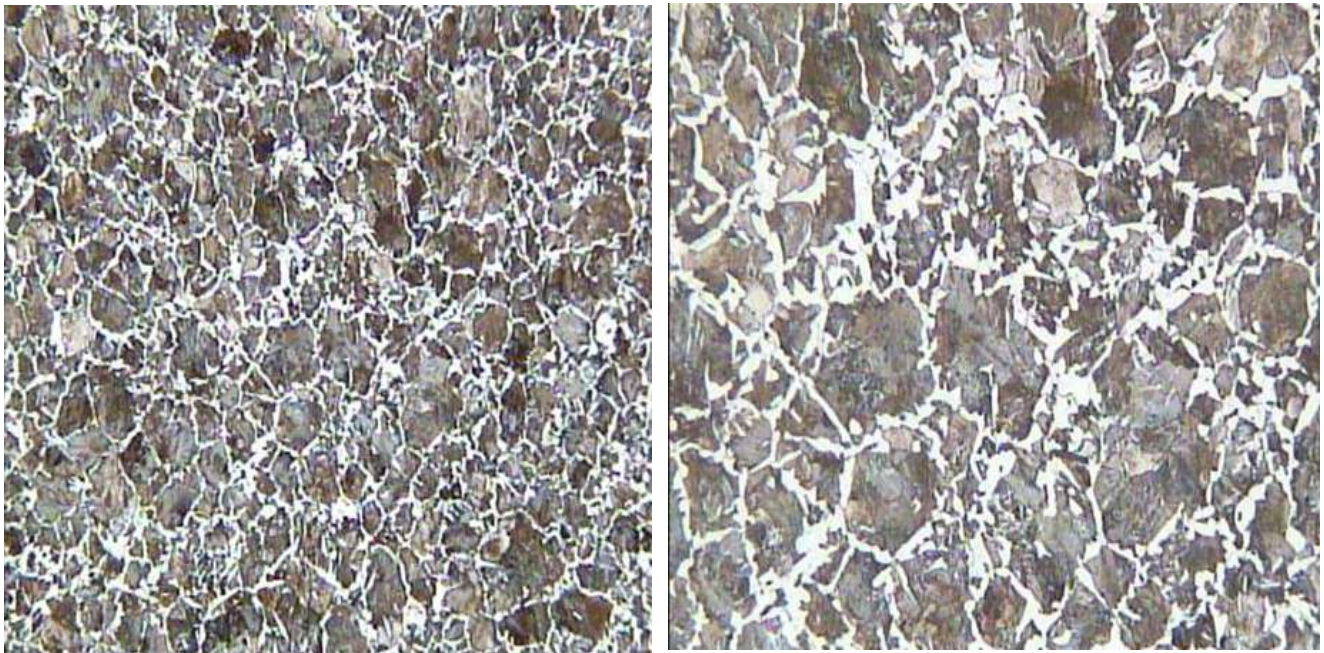


Figura 9 – Imagens de microscopia ótica obtidas para o Cilindro, em ampliações de 100x e 200x.

A partir das imagens obtidas e da comparação com padrões, pode-se estimar que o metal de base do Perfil “U” é um aço carbono com teor de carbono da ordem de 0,1 a 0,3% enquanto que no Cilindro o teor de carbono é da ordem de 0,6%.

Fotomicrografias destas duas amostras constituídas de ferro-carbono obtidas através de microscopia eletrônica de varredura estão mostradas nas Figuras 10 e 11. Novamente, as diferenças microestruturais se tornam evidentes, especialmente pela textura lamelar da perlita (Figura 11) presente em maior quantidade na amostra do Cilindro devido ao seu maior teor de carbono.

Espectros de EDS obtidos para estas duas amostras estão mostrados nas Figuras 12 e 13, para o Perfil “U” e Cilindro, respectivamente.

A análise química destes materiais revelou o ferro como principal constituinte da amostra, conforme esperado. O teor de carbono, já avaliado através da microestrutura, não pode ser quantificado através desta técnica devido ao baixo peso molecular deste elemento, mas sua presença foi detectada. Os demais elementos identificados foram silício (Si) e manganês (Mn) são impurezas usuais nos aços carbonos desde que presentes em pequenas quantidades, como as observadas neste caso.

Para a amostra do Cilindro foi também obtida imagem próxima à superfície da amostra de modo a verificar a presença de eventual camada protetora contra corrosão (Figura 14), não tendo sido observada a presença de qualquer recobrimento com esta finalidade, apenas o início de processo de corrosão.

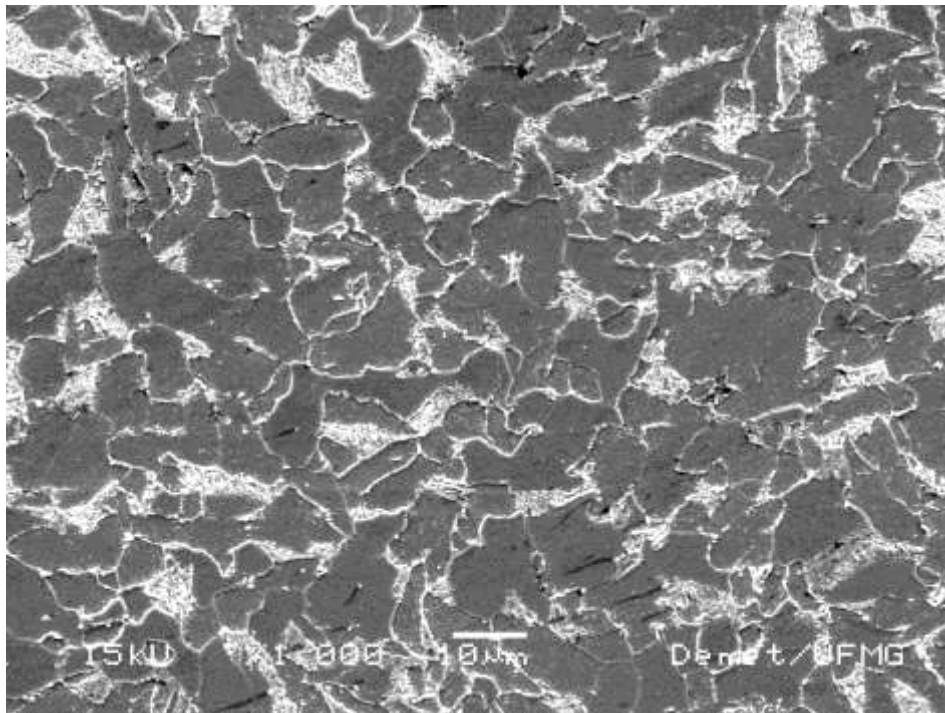


Figura 10 – Fotomicrografia obtida para amostra retirada do Perfil “U” (SE, 1000x).

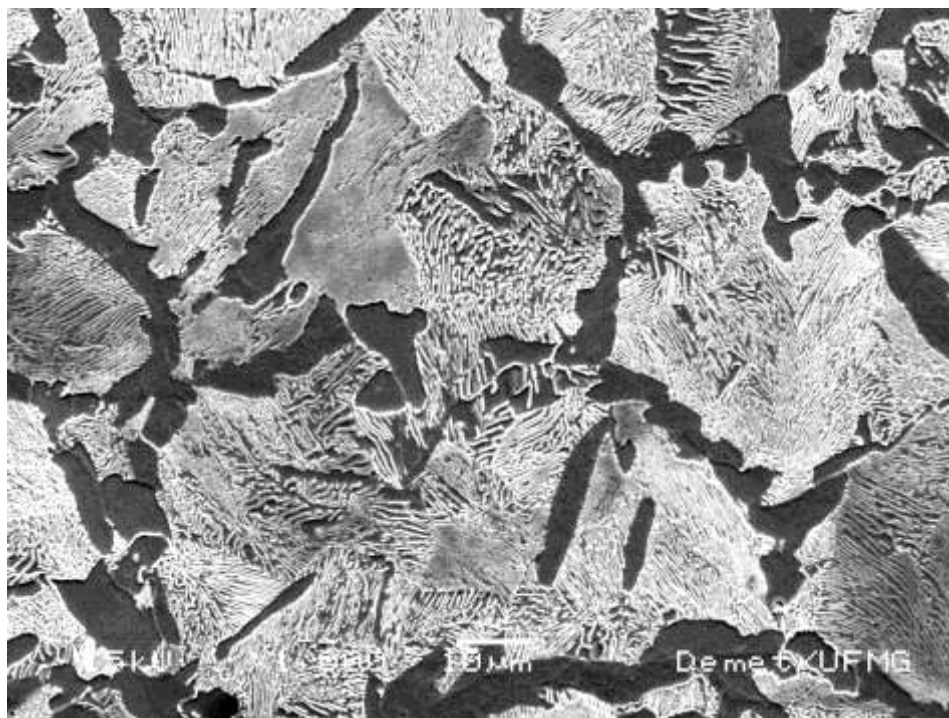
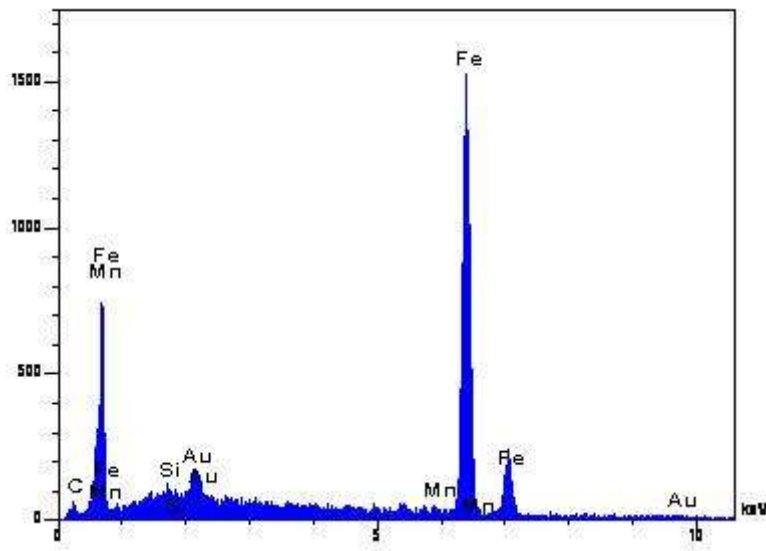
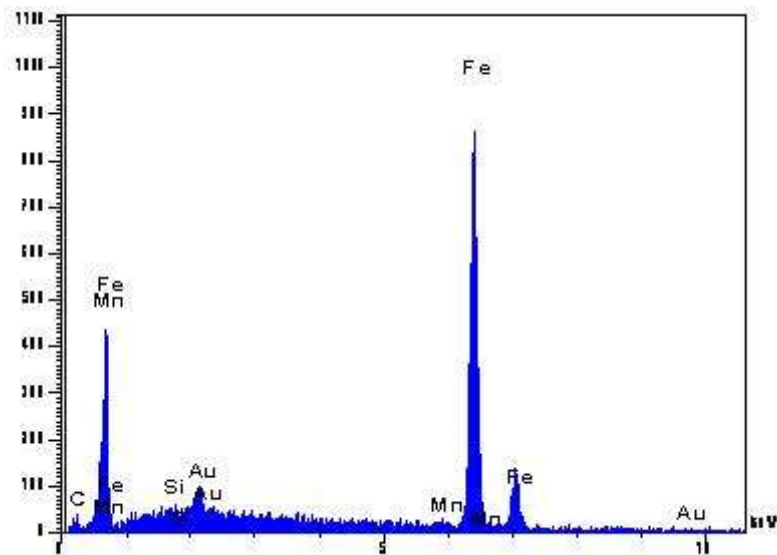


Figura 11 – Fotomicrografia obtida para amostra retirada do Cilindro (SE, 1000x).



Elemento	% Peso	% Atômico
Fe	0,6	1,2
Si	0,7	0,7
Mn	98,7	98,1

Figura 12 – EDS obtido a partir de amostra do Perfil “U”.



Elemento	% Peso	% Atômico
Fe	0,4	0,9
Si	0,4	0,4
Mn	99,2	98,7

Figura 13 – EDS obtido a partir de amostra do Cilindro.



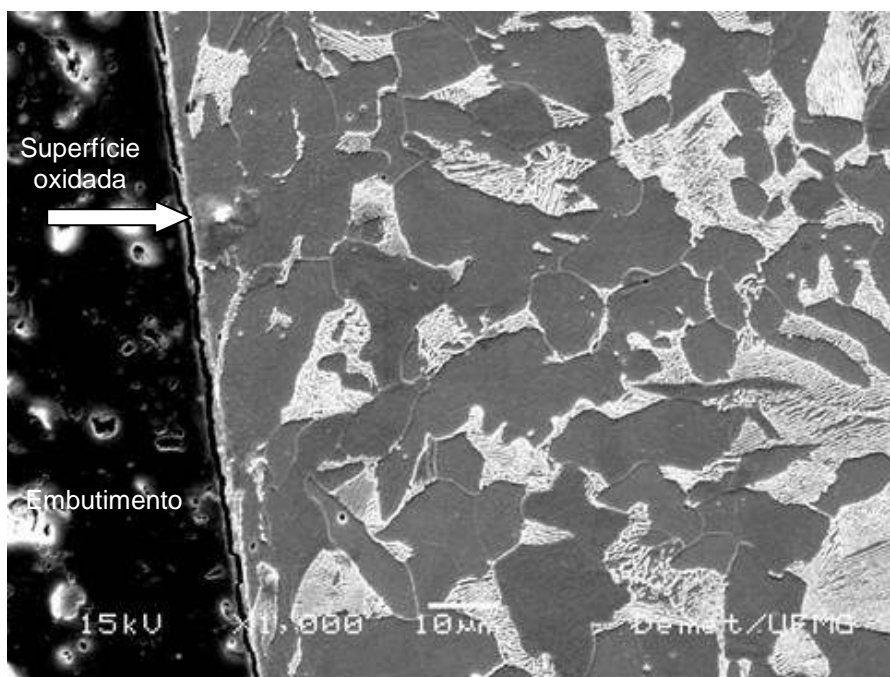
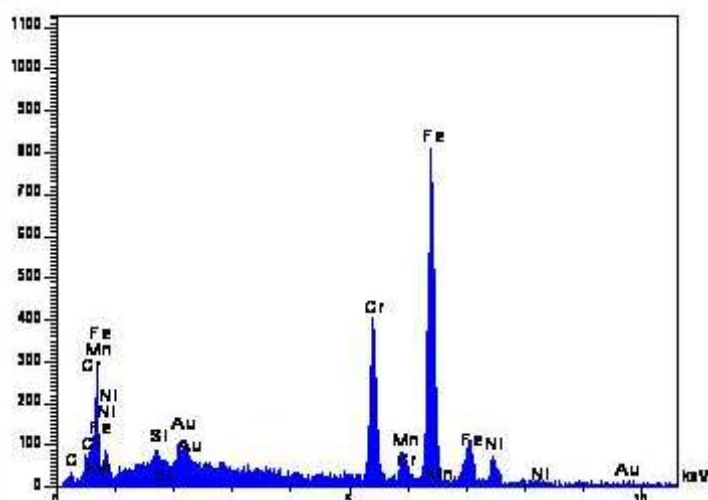


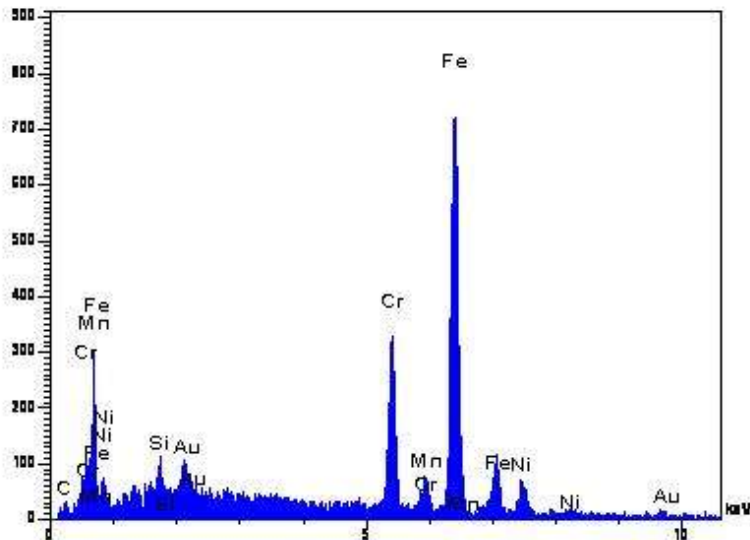
Figura 14 – Fotomicrografia obtida na região da superfície do Cilindro para avaliar a presença de eventual camada protetora contra corrosão (SE, 1000x).

Análises químicas obtidas para o Parafuso, a Arruela e a Porca estão mostradas nas Figuras 15, 16 e 17, respectivamente. Em todos os casos, a partir da composição elemental, pode-se identificar que as peças são constituídas por aço inoxidável austenítico 304 (Cr: 17-19%; Ni: 8-11%; Mn < 2%).



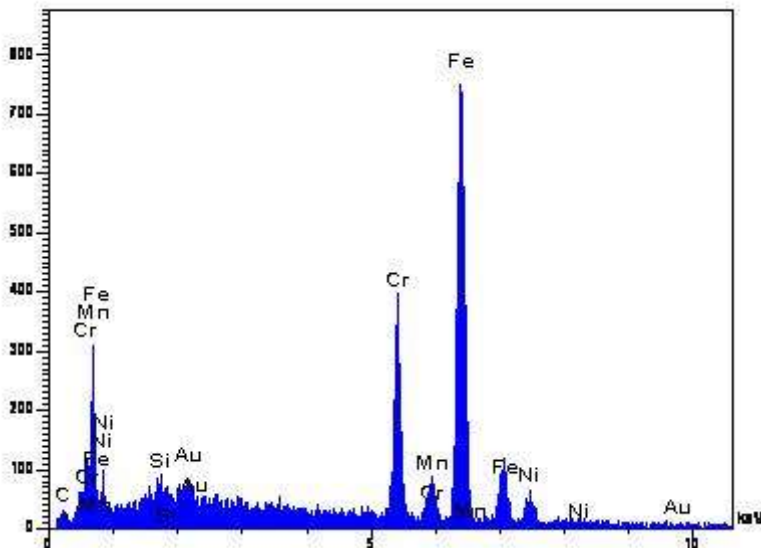
Elemento	% Peso	% Atômico
Cr	18,6	19,6
Mn	0,8	0,8
Fe	70,9	69,7
Ni	8,8	8,3

Figura 15 – EDS a partir de amostra do Parafuso.



Elemento	% Peso	% Atômico
Si	0,5	1,0
Cr	19,4	20,5
Mn	0,9	0,9
Fe	70,7	69,6
Ni	8,6	8,0

Figura 16 – EDS a partir de amostra da Arruela.



Elemento	% Peso	% Atômico
Si	0,5	1,1
Cr	18,8	19,9
Mn	0,9	0,9
Fe	71,7	70,6
Ni	8,0	7,5

Figura 17 – EDS a partir de amostra da Porca.

Aços inoxidáveis são aqueles que possuem cromo e níquel como principais componentes de liga apresentando Alguns outros elementos como manganês, molibdênio, cobre, titânio, alumínio, silício, nióbio, nitrogênio e selênio podem ser adicionados para a obtenção de características mecânicas particulares. A resistência à corrosão dos aços inoxidáveis depende basicamente, da composição química e da microestrutura, e de um modo geral pode-se afirmar que os aços inoxidáveis martensíticos são os menos resistentes e os austeníticos os mais resistentes à corrosão. A passivação nos aços inoxidáveis é obtida pela presença de uma fina película de óxido hidratado de metal na superfície. A presença da película depende da natureza do meio ambiente e ela condiciona o comportamento mais ou menos

nobre do aço; quando está presente, o aço inoxidável se aproxima do comportamento dos metais nobres, caso contrário se assemelha à atividade do aço comum. A destruição da película num determinado ponto pode conduzir rápida corrosão da peça.

Para a amostra do trilho, o EDS revelou que o material é uma liga de alumínio (teor > 97%) com outros elementos de liga usualmente verificados. O processo de proteção do alumínio é a anodização. A anodização é um processo industrial eletroquímico aplicado ao alumínio e suas ligas para artificialmente tornar mais espessa, mais uniforme e mais resistente à abrasão a camada de óxido que se forma naturalmente. A camada de óxido aumentada artificialmente, sendo parte do material, é de difícil remoção. Ela melhora a natural resistência do alumínio à corrosão, garante aspecto uniforme e longa vida útil para janelas, portas, fachadas cortina e outras aplicações do metal em arquitetura e construção civil.

### 3.3. Teste Acelerado de Avaliação de Corrosão

.. Objetivo: avaliar a ocorrência de corrosão nas diferentes peças componentes do sistema metálico em estudo em condições aceleradas;

.. Preparo das amostras: amostras foram retiradas das peças originalmente fornecidas que foram submersas em três meios diferentes conforme anotados na Tabela 2. Inspeção visual nas amostras foi realizada após 3 e 5 dias de imersão.

Tabela 2 – Meios de Imersão das peças metálicas.

Meio	Finalidade
Água da Copasa	Ação de umidade do ar, chuva
Solução 1% de NaCl	Desestabilização de camada protetora por complexação e eletrólitos para tornar o meio condutor
Solução 1 M de NaOH	Catalisador e Desestabilização de camada protetora

.. Resultados e Discussões:

Imagens obtidas para as amostras, antes do ensaio e após imersão nos diferentes meios avaliados, estão mostradas nas Figuras 18 a 21.

A inspeção a olho nu revelou a ocorrência de corrosão nas peças de aço carbono (Perfil “U” e Cilindro) em presença de água e da solução de NaCl (Figuras 22 e 23). Não foi identificada corrosão (macroscópica) na peça de aço galvanizado (Parafuso).

Oxidação generalizada foi verificada no trilho de alumínio na condição de imersão em NaOH. Este aspecto é decorrente da desestabilização do filme de alumina (formado na superfície do alumínio no processo de anodização) em ambiente alcalino. O alumínio puro ou em ligas (sem qualquer camada protetora) apresenta elevado potencial de oxidação, superior ao do aço-carbono resultando na elevada corrosão identificada apenas neste meio de imersão.

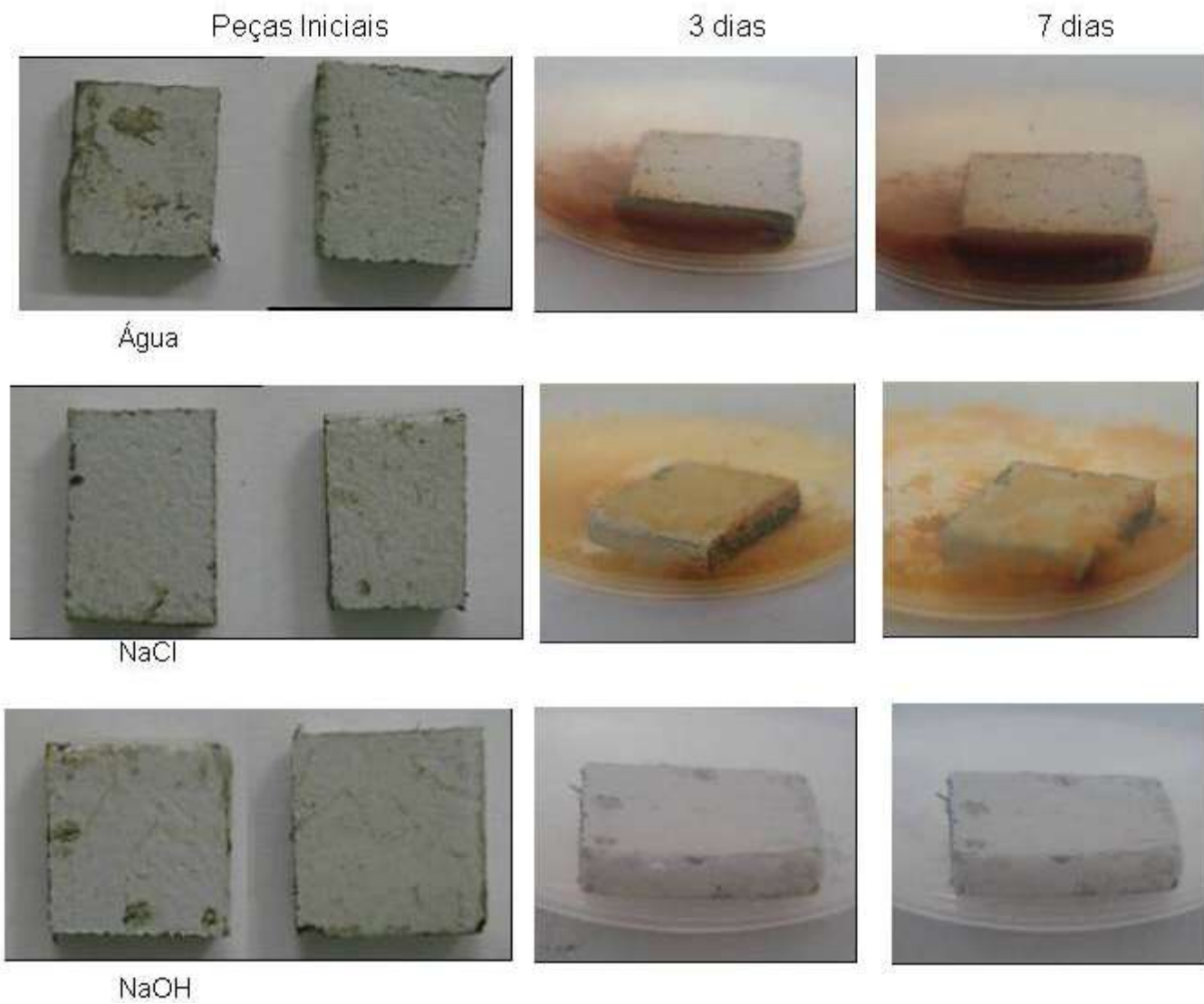


Figura 18 – Imagens obtidas para o Perfil “U” após imersão nos meios de estudo de corrosão acelerada.



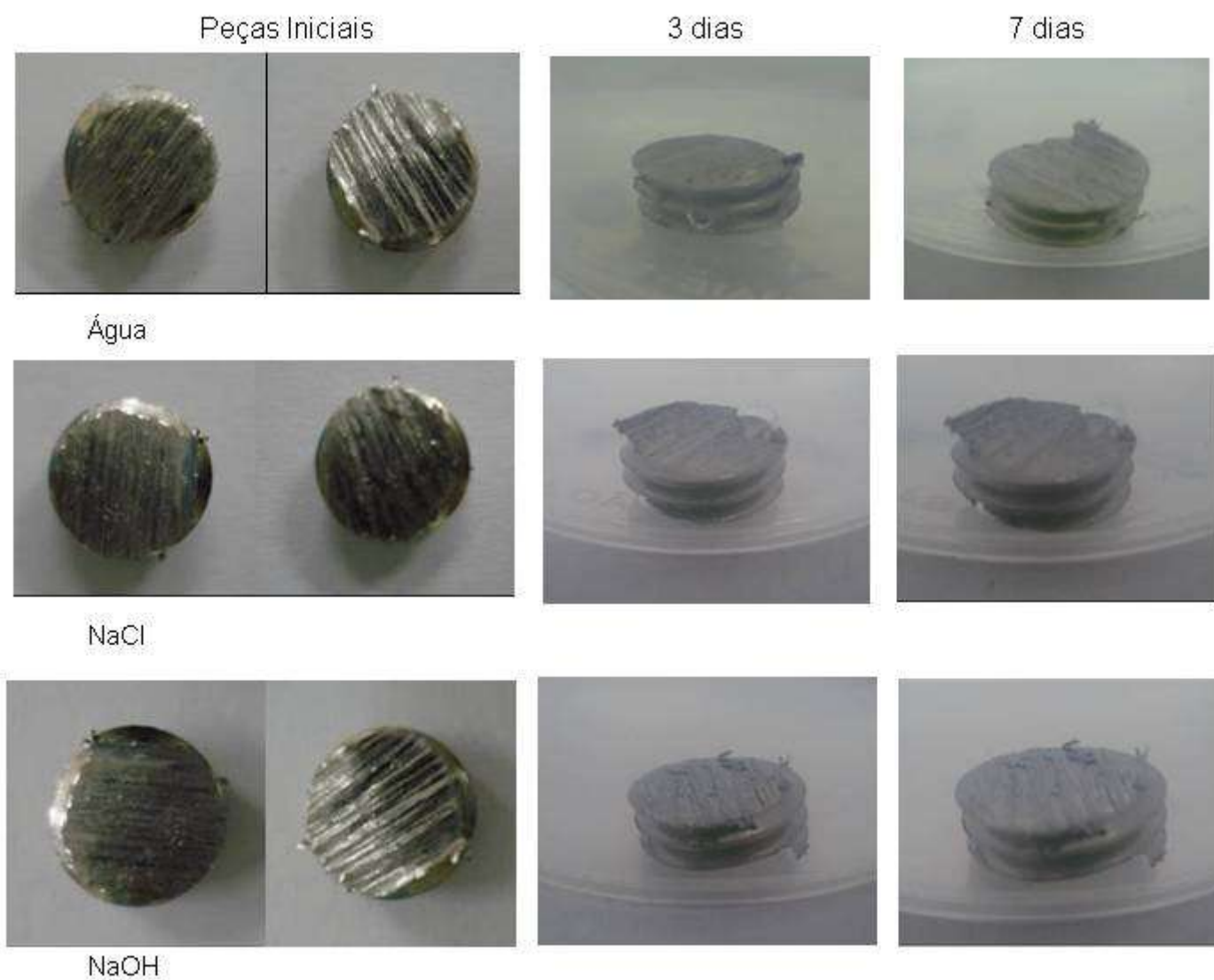


Figura 19 - Imagens obtidas para o Perfil "U" após imersão nos meios de estudo de corrosão acelerada.

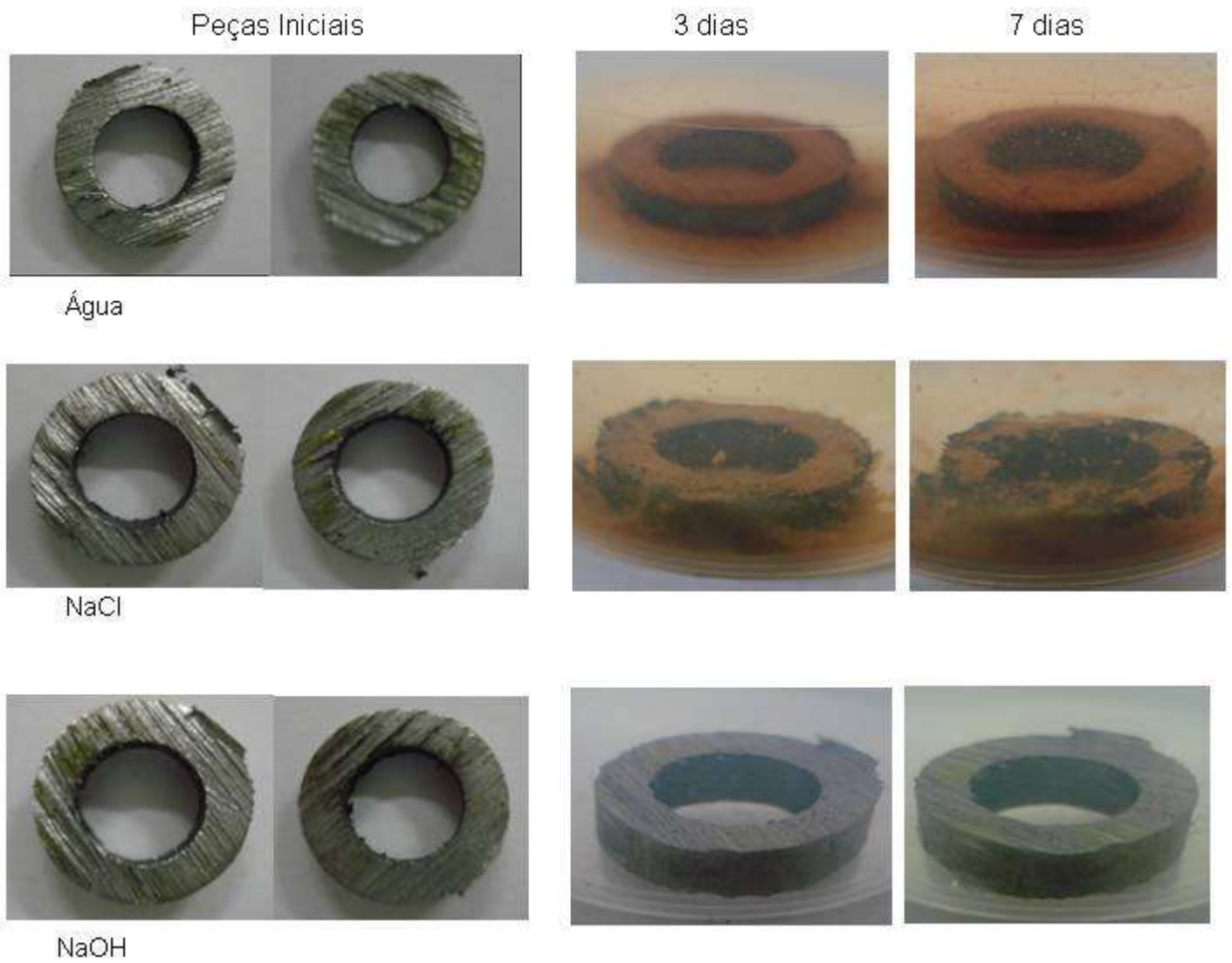


Figura 20 – Imagens obtidas para o Cilindro após imersão nos meios de estudo de corrosão acelerada.

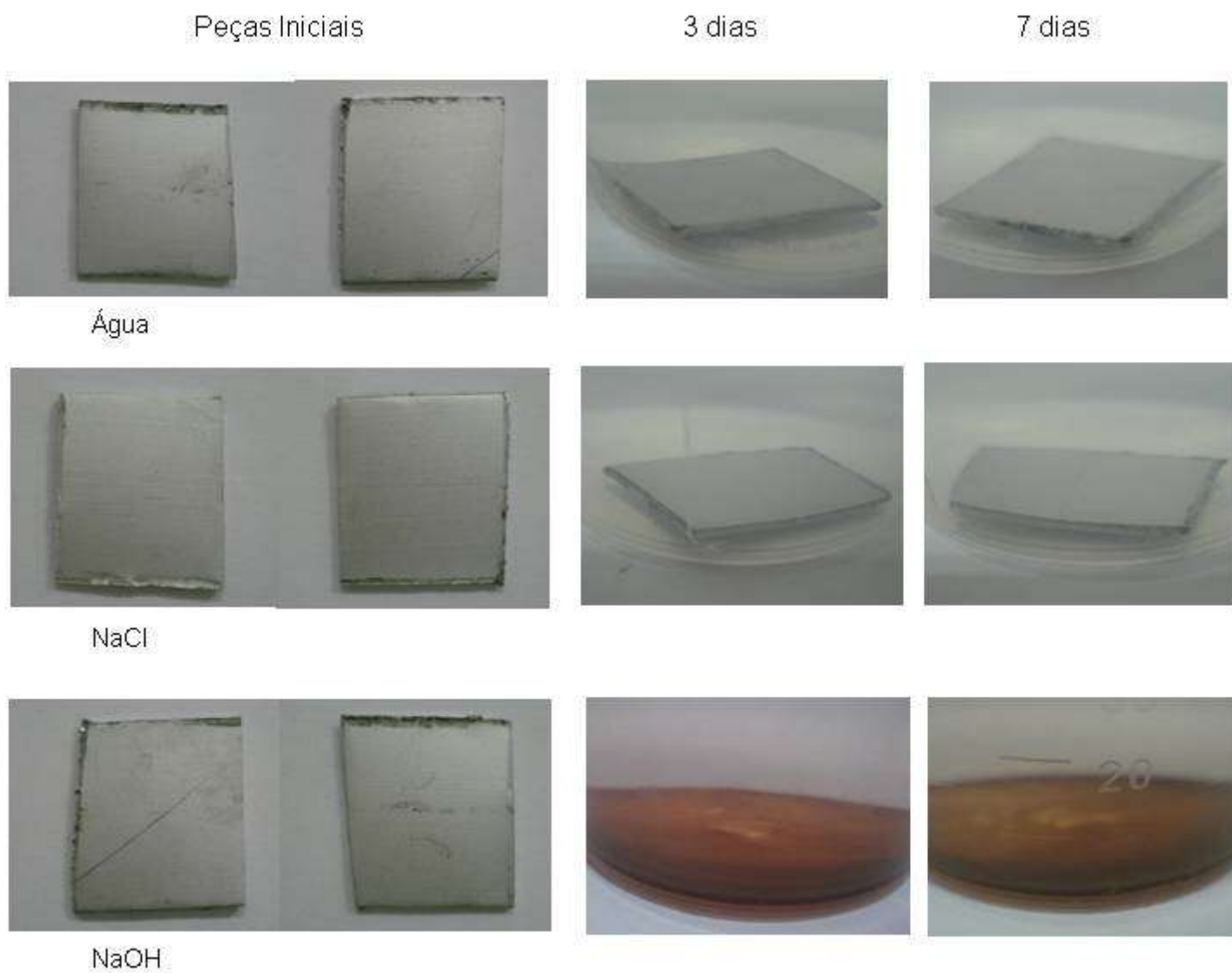


Figura 21 – Imagens obtidas para o Trilho após imersão nos meios de estudo de corrosão acelerada.



Água



NaCl

Figura 22 – Imagens do Perfil “U” em que foi observada corrosão macroscópica após 5 dias.



Água



NaCl

Figura 23 –Imagens do Cilindro em que foi observada corrosão macroscópica após 5 dias.

#### 4. Conclusões

A partir das análises realizadas, as seguintes considerações são possíveis:

..No sistema em questão estão em contato metais de natureza e composição muito distintas. Resultado: potencial de corrosão inquestionável.

.. Os recobrimentos identificados em algumas peças metálicas asseguram um bom comportamento na aplicação (Perfil “U”: pintura; Parafuso, Arruela e Porca: aço galvanizado: camada de óxido passivante; Trilho: anodização: camada de alumina). No entanto, o Cilindro não apresentou qualquer tipo de camada protetora de revestimento, estando sujeito à corrosão imediata e prolongada.

.. Do lado negativo, deve-se salientar, que tais recobrimentos podem (e geralmente são!) alvo de riscos, fissuras, e outros danos físicos ou mesmo mecânicos que na montagem ou no próprio uso que expõem o metal de base, iniciando o processo de corrosão do sistema. Aí, a corrosão é mais acelerada do que se não houvesse o recobrimento!

.. Em resumo, existe o potencial de corrosão nos metais usados para o sistema, mas com redução de possibilidade de ocorrência pela proteção dos recobrimentos utilizados.

Considerando, ainda, a situação em que será utilizado o sistema de metálico (fachada de pele de vidro na cidade de Belém), além da compatibilização dos metais e proteção através de revestimentos, outros aspectos de projeto devem ser observados:

.. Todo o cuidado deve ser tomado para prevenir o ingresso de água em áreas onde ela pode ficar retida por longos períodos. Frestas potenciais devem ser preenchidas com selantes, furos de drenagem devem ser previstos e ventilação de todo o conjunto deve ser garantida.

.. Materiais porosos e absorventes (materiais utilizados em isolamentos térmicos e acústicos) usualmente retêm elevada quantidade de água e devem ser

evitados em contato direto com os metais, especialmente quando a umidade relativa do ambiente exceda, normalmente, os 60%.

### **5. Referências bibliográficas**

H. Colpaert. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 2ª Edição. Edgard Blucher: São Paulo, 1959.

O. W. Siebert, J. G. Stoecker. Materials of construction – Corrosion and its control. Digital Engineering Library @ McGraw-Hill. 2004.