

Nº 176938

Corrosão: o que é, tipos, como evitar ou mitigar, inspeção x monitoramento

Anna Ramus Moreira

Live realizada Webinar Aselco & COSACO

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

Corrosão – o que é, tipos, como evitar ou mitigar, inspeção x monitoramento

IPT – Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais
– Laboratório de Corrosão e Proteção

Anna Ramus Moreira

Sumário

Introdução

- Aspectos financeiros
- Importância

Conceitos básicos

- Metal e íon metálico
- Definição de corrosão
- Produtos de corrosão e estado da superfície
- Processo de oxirredução
- Elementos fundamentais de um processo corrosivo
- Taxa de corrosão

Sumário

Principais metais

Meios corrosivos

Principais tipos de corrosão

- Corrosão generalizada
- Corrosão localizada

Sumário

Formas de proteção contra a corrosão

- + Mudar o metal
- + Mudar ou condicionar o meio
- + Fornecer energia: proteção catódica
- + Interposição de barreira entre o metal e o meio

Monitoramento da corrosão

CORROSÃO



A corrosão pode incidir sobre materiais diversos: metais, plástico, cerâmica, concreto, vidro

Foco: corrosão de materiais metálicos

A corrosão consome de 3% a 3,5% do PIB de um país por ano (PIB brasileiro em 2015 foi R\$5,9 trilhões e em 2019 foi R\$7,3 trilhões)



Para o Brasil representa custo de cerca de R\$210 bilhões/2015 e R\$256 bilhões/2019



20% a 30% poderiam ser evitados com o conhecimento já existente: R\$63 bilhões/2015 e R\$77 bilhões/2019

Como são calculados os custos causados por corrosão?

Custos diretos

Custos indiretos

Custos diretos

- substituição



- reparo e manutenção



Custos indiretos

- Parada de processo



- Perda de água ou outro produto por vazamento



- Contaminação do produto ou do meio ambiente



- Acidentes fatais com perda de vidas humanas

A corrosão metálica está presente em todas as atividades que envolvem o uso de metais

- **Setor aeronáutico:** os materiais são cuidadosamente selecionados para minimizar a corrosão
- **Setor de telecomunicações**
- **Setores de eletroeletrônicos, eletrodomésticos e eletroportáteis**
- **Implantes ósseos e dentários**
- **Indústrias químicas**
- **Setor de petróleo e gás, ...**



Assim, a importância da corrosão vem do apelo econômico e estratégico



Conceitos básicos e definição de corrosão

1. Qual a diferença entre metal e íon metálico?

Metal



Íon metálico: metal perdeu elétrons e foi para o meio na forma de cátion (Fe^{++} , Zn^{++} , Ni^{++})



Me



Me^{n+} + ne

Definição mais aceita: corrosão é a transformação de um metal em íon metálico pela sua interação com o meio



Metal ou
liga
metálica

Fe
Zn
Al

Meio de
exposição

Íons metálicos

Fe^{2+}
 Zn^{2+}
 Al^{3+}

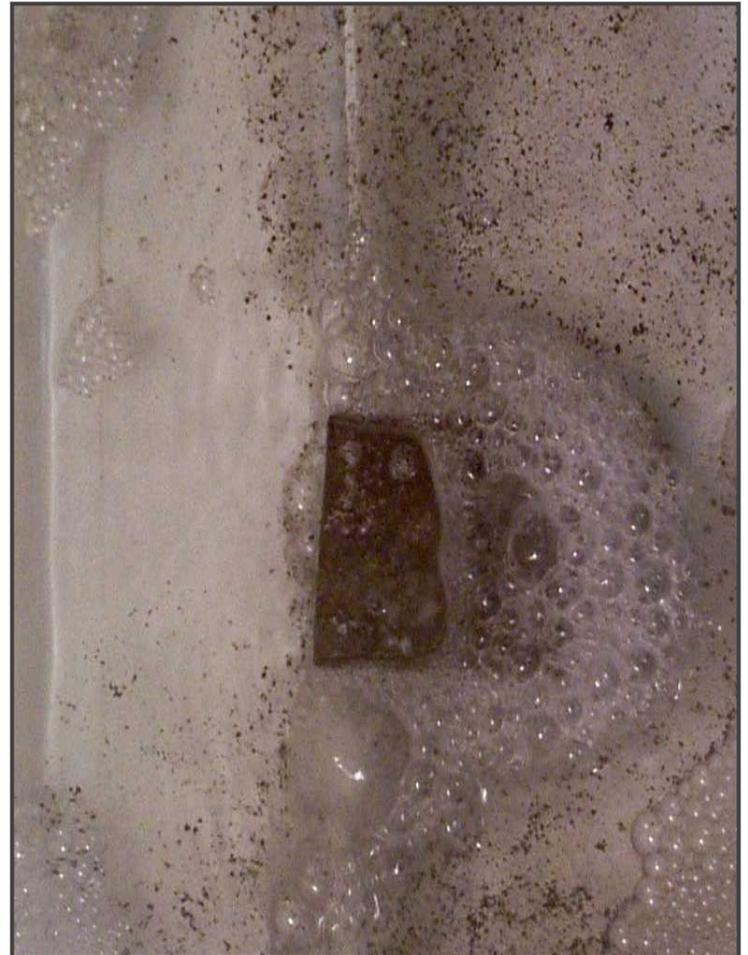
Reagem com espécies
presentes no meio

Produtos de
corrosão

Estes produtos de corrosão podem
ser solúveis ou insolúveis

Se forem solúveis, o problema é grave...

Tudo se passa como se fosse um produto efervescente ...



Se os produtos de corrosão forem insolúveis...



Corrói com produtos de corrosão insolúveis e não compactos



Corrói com produtos de corrosão insolúveis e compactos



Dependendo das características dos produtos de corrosão, a superfície apresentará um estado:

Corrói com produtos de corrosão solúveis no meio



Estado ativo



Corrói com produtos de corrosão insolúveis e não compactos (se soltam)



Estado ativo



Corrói com produtos de corrosão insolúveis, compactos, uniformes e aderentes



Estado passivo



Não corrói



Estado imune



A perda de elétrons é representada por uma reação de oxidação (corrosão):



Princípio geral das reações de oxirredução:

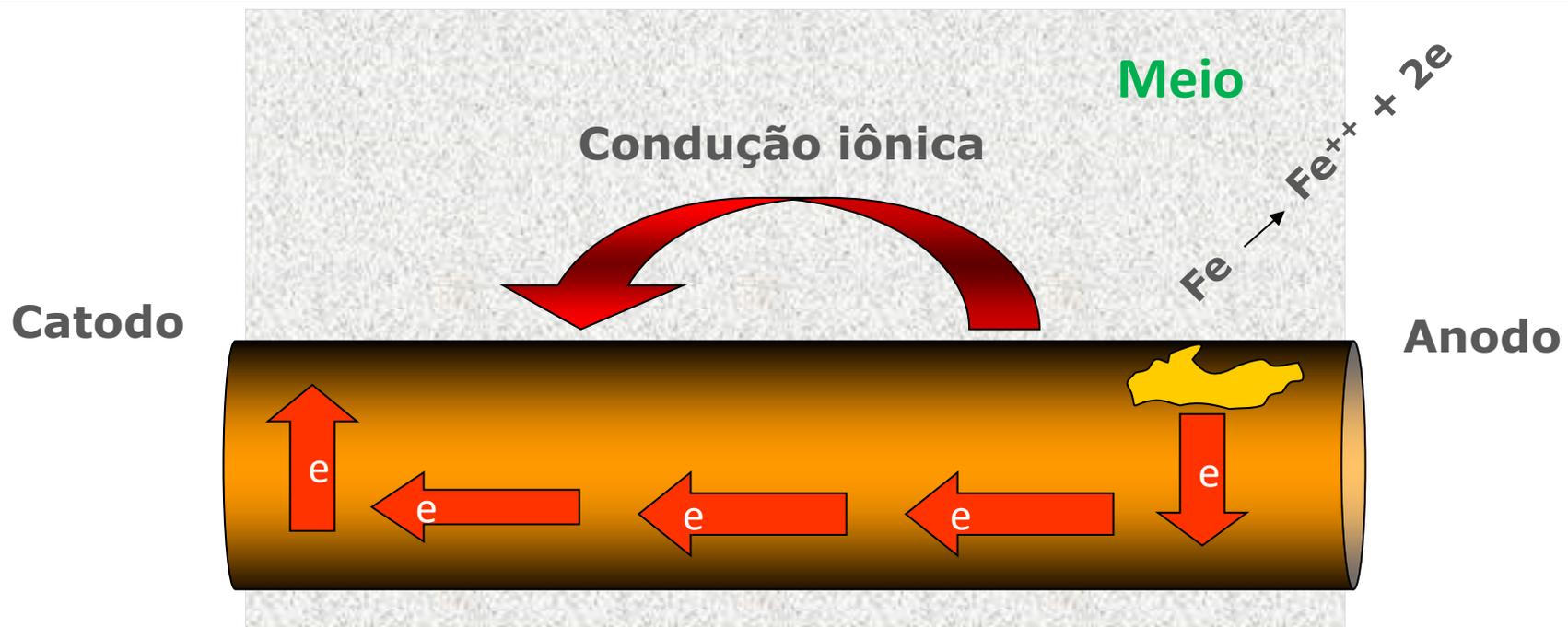
Sempre que há oxidação (perda de elétrons) deve haver necessariamente redução (ganho de elétrons)

de onde vem a espécie que sofre
redução?

DO MEIO

Elementos fundamentais de um processo corrosivo:

- anodo: local onde ocorre a reação de oxidação (corrosão)
- catodo: local onde ocorre a reação de redução
- eletrólito: meio em que se encontram o anodo e o catodo
- contato elétrico entre o anodo e o catodo



Célula de corrosão

Taxa de corrosão

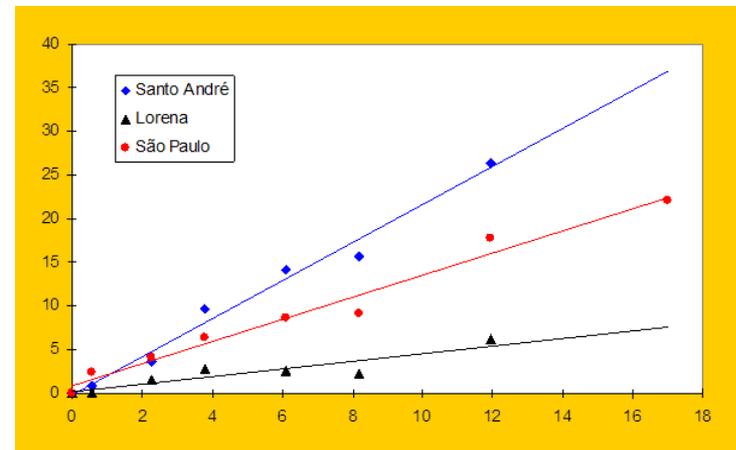
Quantidade de metal que passa para o meio na forma de íon metálico, em função da área metálica exposta e do tempo de exposição

Pode ser expressa em perda de espessura por unidade de tempo ou perda de massa por unidade de área e de tempo:

Taxa de corrosão (**espessura**): milímetros por ano = mm/a
micrometros por ano = $\mu\text{m/a}$
polegadas por ano = mpy

Taxa de corrosão (**massa/(área.tempo)**) = $\text{mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{dia}) = \text{mdd}$

São muito úteis porque
podem ser utilizados
para prever a vida útil
do material



Principais metais:

Aço carbono

Aço inoxidável

Aço aclinável

Cobre e suas ligas

Zinco e suas ligas

Alumínio e suas ligas

Meios:

Atmosfera ou ar ambiente

Solo

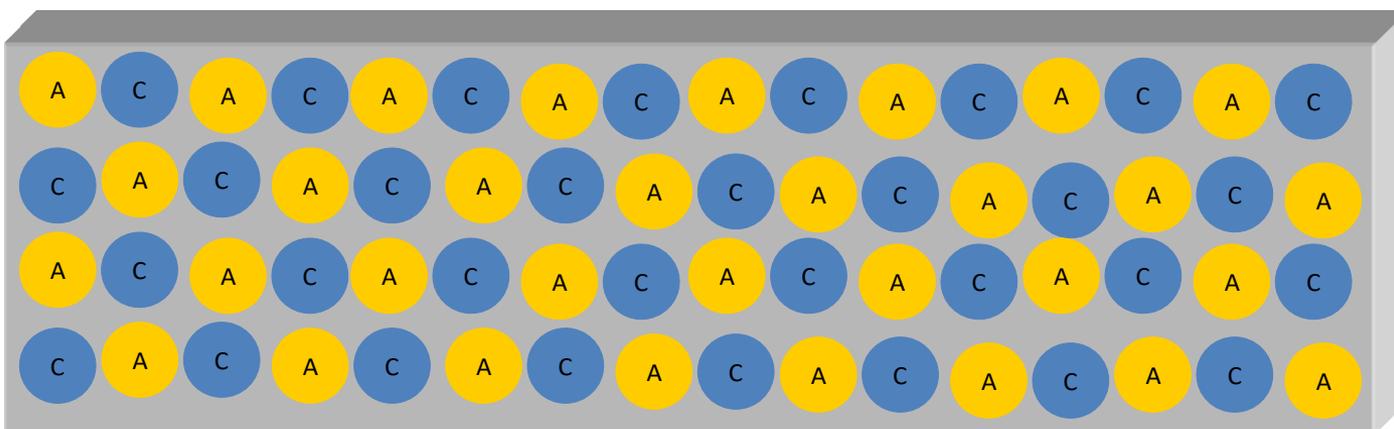
Águas naturais (rio, lago, chuvas, orvalho, mar)

Produtos químicos

Principais tipos de corrosão

1. Corrosão generalizada ou uniforme

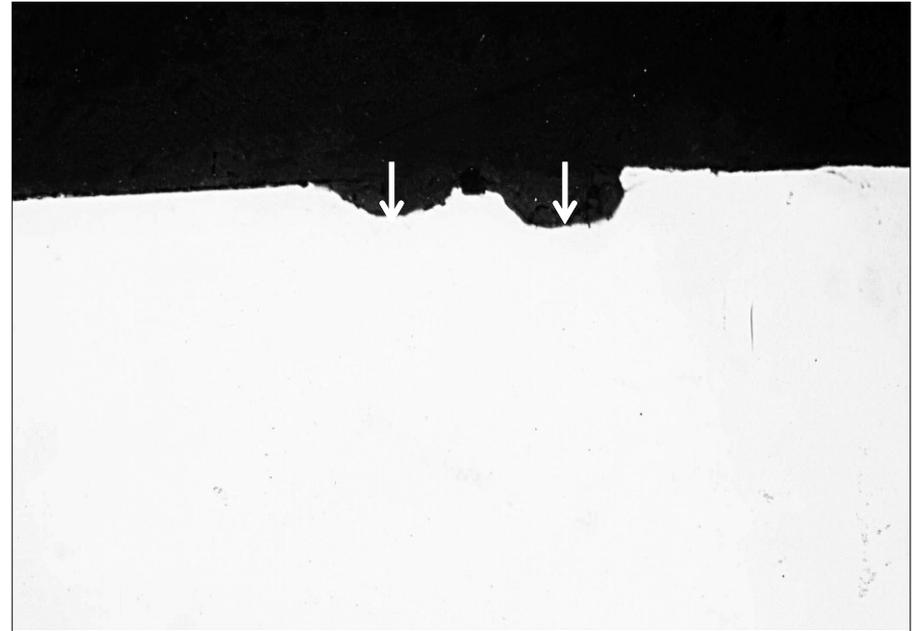
A = anodo C = catodo



- Ocorre em toda a extensão do metal
- Não há local preferencial para as regiões anódicas e catódicas
- Ocorre diminuição de espessura

2. Corrosão localizada

2.1 Corrosão por pites



2.2 Corrosão em frestas

As frestas podem se formar por diferentes fatores:

- fatores geométricos



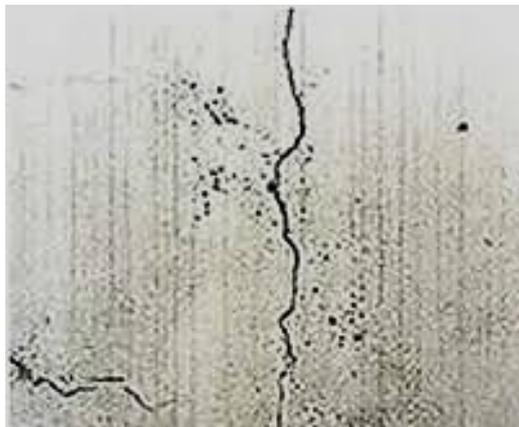
- contato metal/metal e metal/não-metal



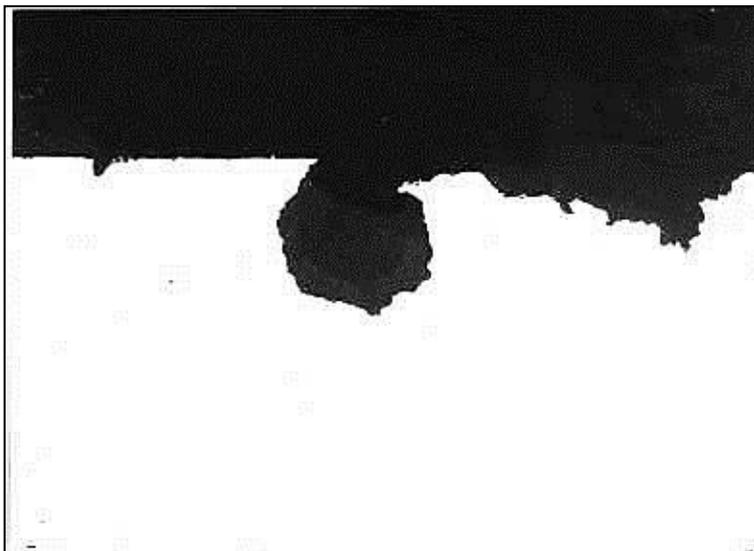
- depósitos

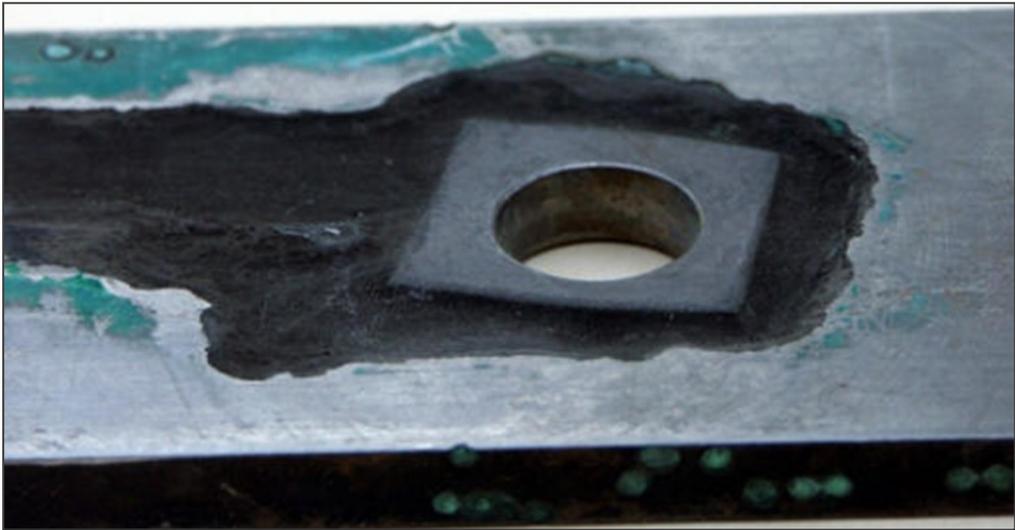


- trincas



- pites



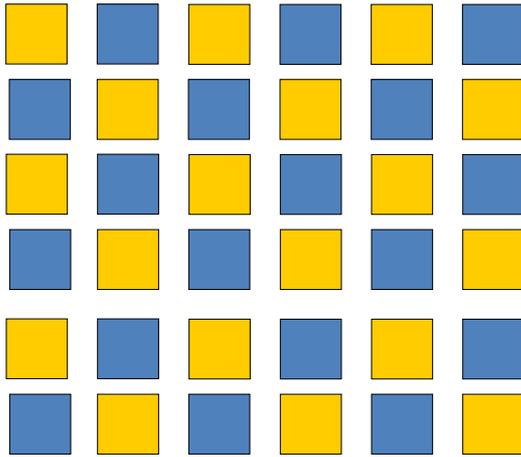


2.3 Corrosão galvânica: metais diferentes num mesmo meio e em contato elétrico

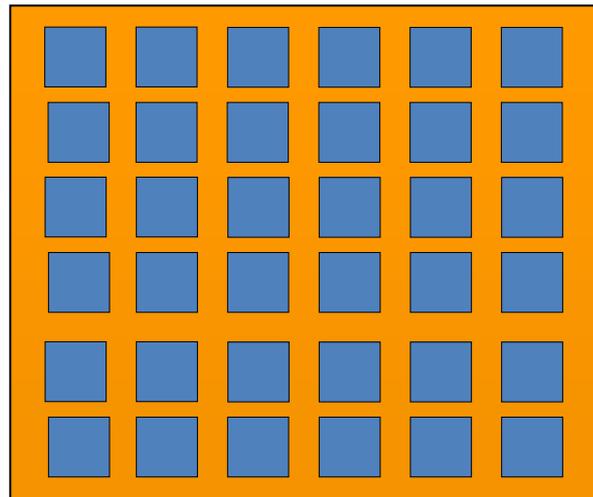
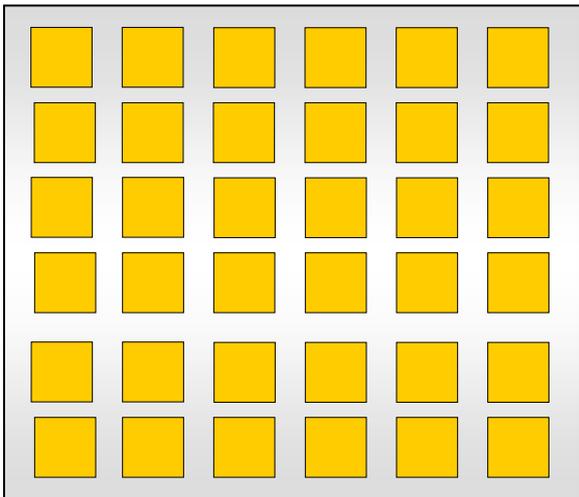
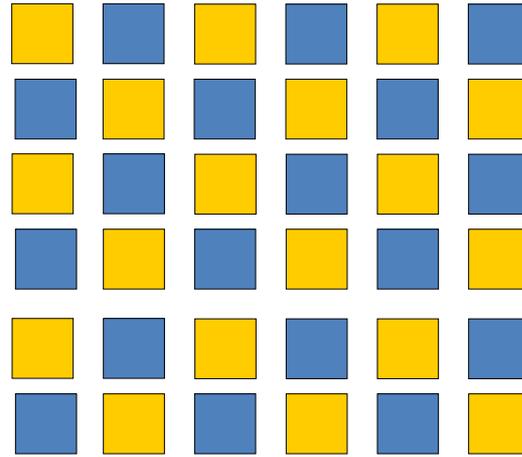
MAIS NOBRE: significa que tem menos tendência à corrosão

MENOS NOBRE: significa que tem mais tendência à corrosão

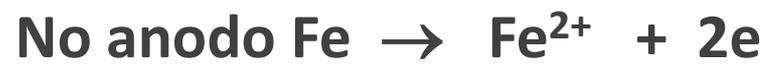
Liga
ferro



Liga
cobre



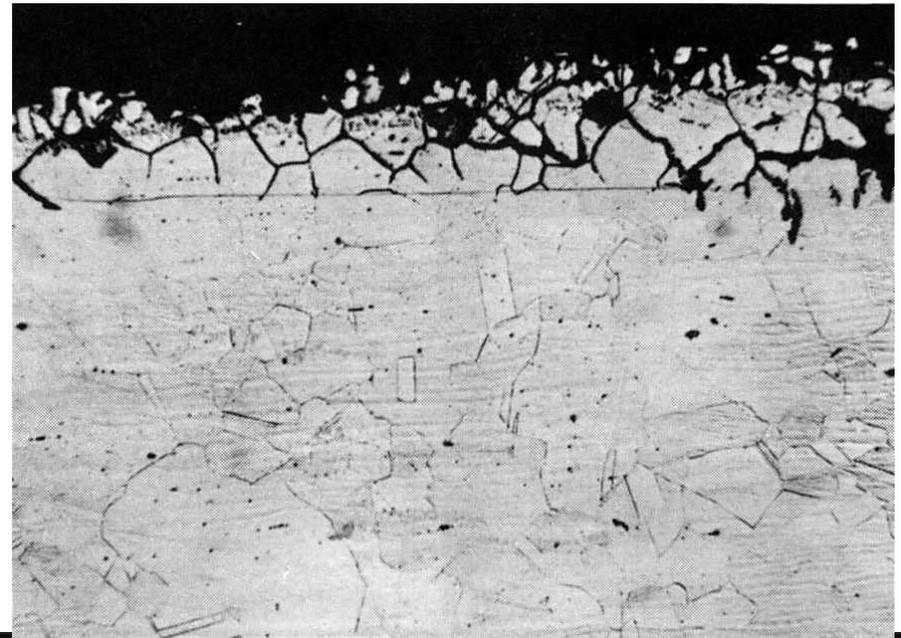
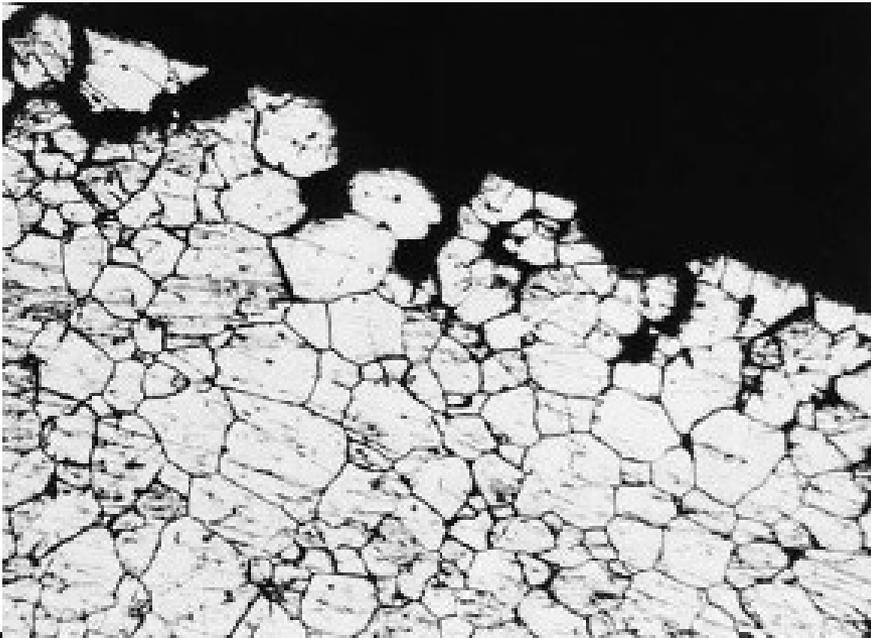
Liga de
ferro em
contato
com liga de
cobre



2.4 Corrosão intergranular

A corrosão intergranular acontece quando existe um caminho preferencial na região de contornos de grão, causado por uma diferença de composição entre a matriz (centro do grão) e o contorno do grão, causando uma diferença de potencial.

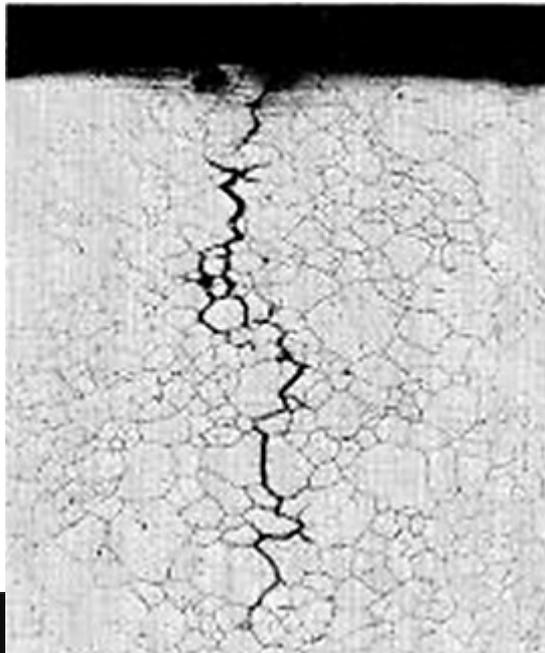
Os grãos vão sendo destacados à medida que a corrosão se propaga.



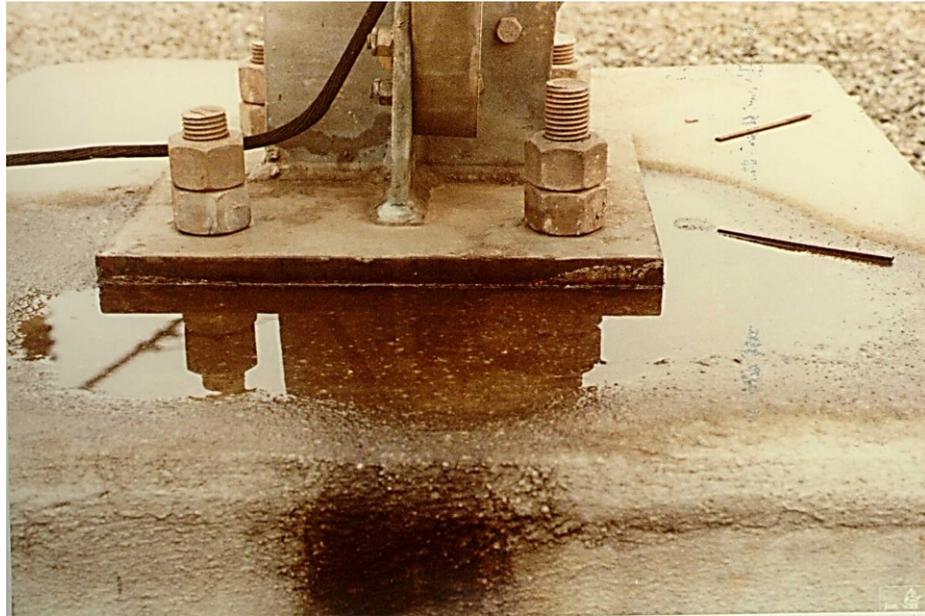
2.5 Corrosão sob tensão

A corrosão sob tensão acontece quando um material metálico, submetido a tensão de tração, aplicada ou residual do processo de fabricação, é colocado em contato com um meio corrosivo (meio corrosivo + tensão de tração).

As trincas podem ser intergranulares (direção preferencial da corrosão é o contorno de grãos) ou transgranulares.



2.6 Corrosão sob descuido

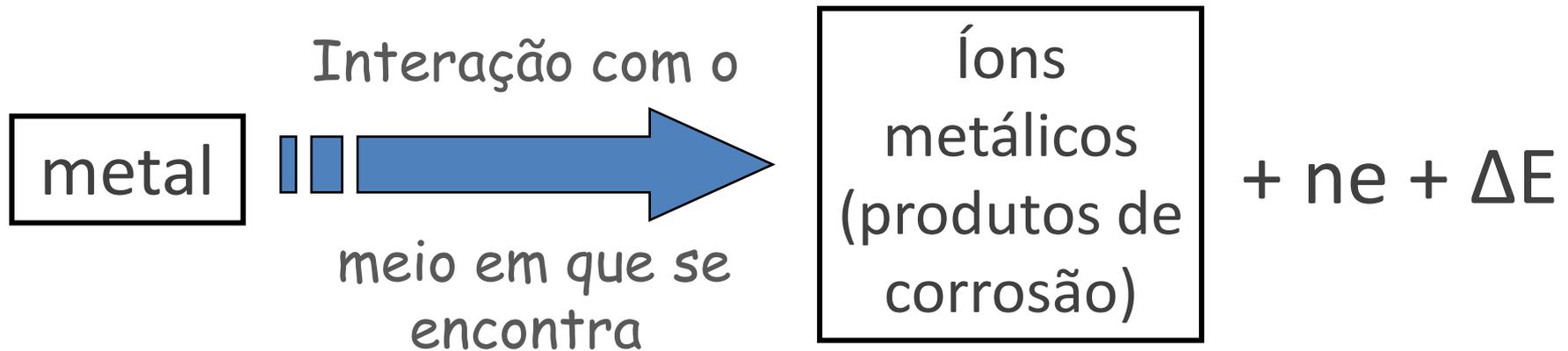


O parafuso era tipo *Halen* e foi apertado com chave de fenda

FORMAS DE PROTEÇÃO CONTRA A CORROSÃO

A partir da definição:

Podemos achar as quatro formas de combate à corrosão

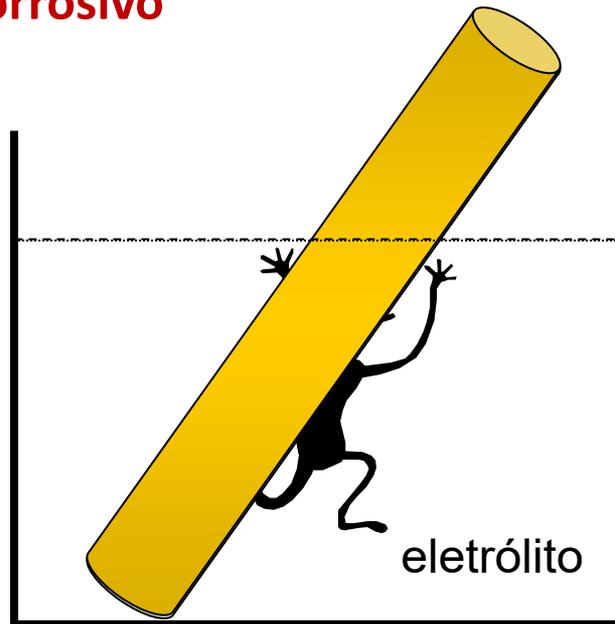


Metal



Íons metálico + energia

**Meio
corrosivo**



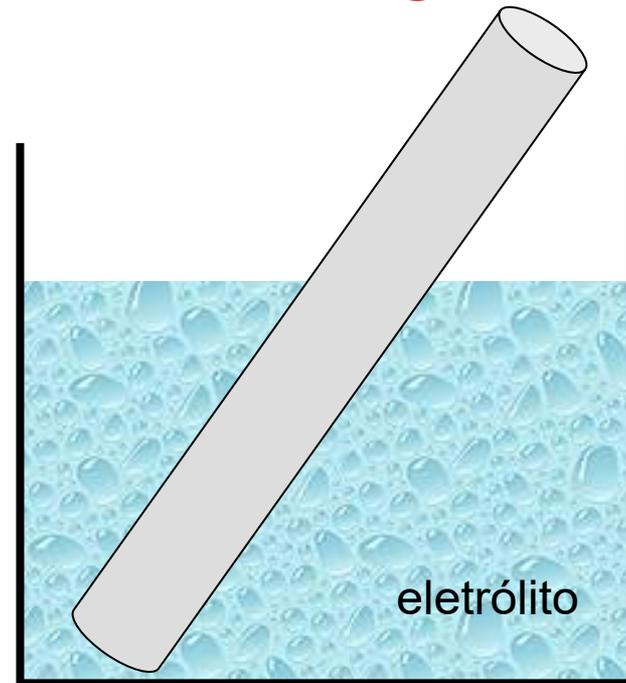
1. Mudar o material (metal): substituir o metal (ou liga) por um que não reaja com o meio ou que reaja com velocidade desprezível

Metal



**Meio
corrosivo**

Íons metálico + energia



2. Mudar ou condicionar o meio: controle de pH, mudança da temperatura, adição de inibidores, ...

Cabe ressaltar que este tipo de procedimento é adequado para sistemas fechados (caldeiras, embalagens herméticas etc.), não se aplicando a sistemas abertos.

Inibidor de corrosão é uma substância ou mistura de substâncias que eliminam ou reduzem significativamente a velocidade de corrosão.

Inibidores anódicos: reagem com os produtos de corrosão inicialmente formados, resultando em uma película aderente e insolúvel.

Inibidores Catódicos: fornecem íons metálicos que precipitam compostos insolúveis envolvendo o catodo.

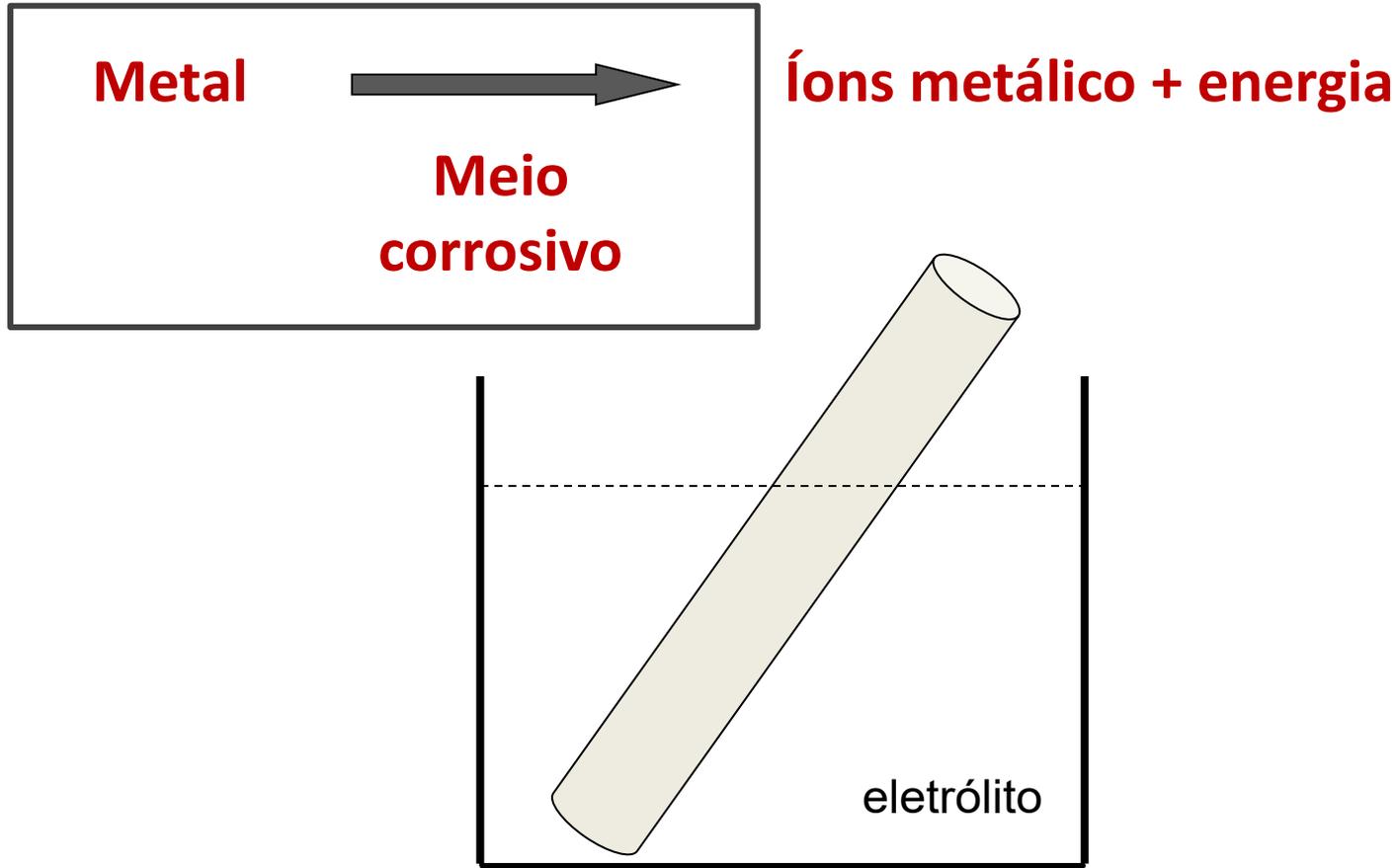
Inibidores Voláteis de Corrosão – IVC: substâncias voláteis que quando colocadas em espaços hermeticamente fechados saturam a atmosfera com vapores que inibem a corrosão



Material Protegido com embalagem VCI



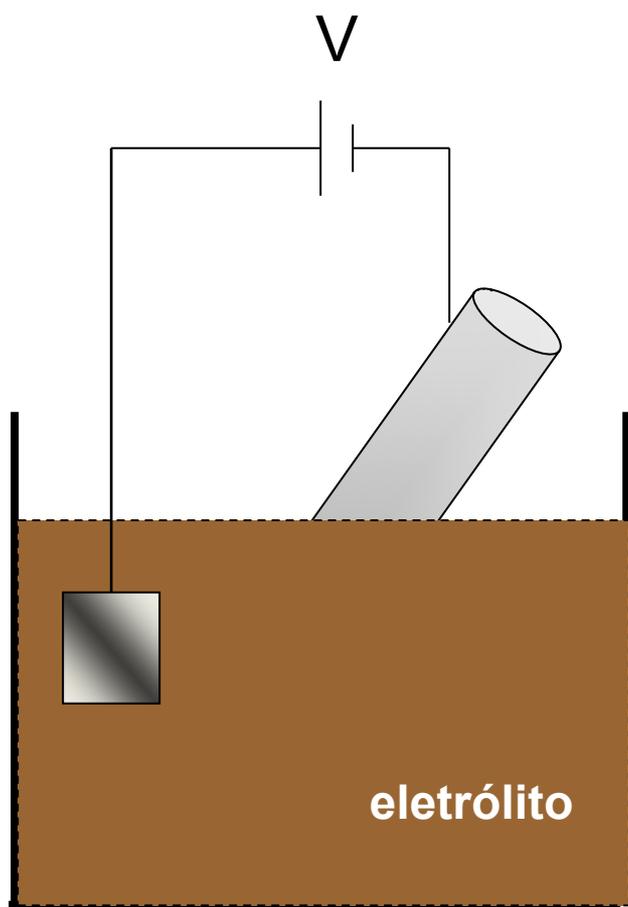
Material com embalagem comum



3. Aplicar revestimento: interposição de barreira entre o metal e o meio (separar metal do meio)

Metal \longrightarrow **Íons metálico +** **energia**

**Meio
corrosivo**



4. Fornecer energia: proteção catódica

Campo de aplicação



Tubulações enterradas e submersas
Tanques de armazenamento enterrados

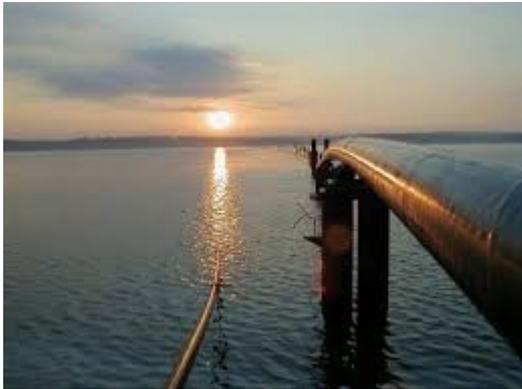
Plataformas

Embarcações

Partes internas de equipamentos

Tubulações

Concreto armado



A **corrosão interna** é um dos principais problemas relacionados à integridade de tubulações, sendo sua ocorrência função do material utilizado em sua fabricação e da composição dos fluidos transportados.

Para escolher o método de controle mais adequado é necessário ter-se informações sobre o processo de corrosão: inspeções e por meio de monitoramento.

Inspeção

x

Monitoramento

- Por oportunidade
- Significativos intervalos de tempo
- Dependente da experiência do inspetor
- Remediação do dano

- Gerenciamento contínuo
- Sensibilidade dos métodos
- Prevenção do dano
- Acompanhamento do efeito de mudanças na rotina de operação

Monitoramento da corrosão interna



Técnicas tradicionais – intrusivas

Alta precisão, mas custos operacionais elevados, (segurança, meio ambiente e saúde).

1. Método gravimétrico

2. Sondas de resistência elétrica (SER ou SRE)

3. Resistência de polarização linear (LPR)

1. Método gravimétrico: inserção de cupons de perda de massa

Normalmente confeccionados com o mesmo material metálico usado na confecção da estrutura de interesse. Por gravimetria tem-se a perda de massa (massa final menos inicial).

Dividindo-se a perda de massa pelo produto da densidade, por área e tempo de exposição tem-se a taxa de corrosão. Demandam tempos consideravelmente extensos para consolidação dos resultados.

O exame visual dos cupons permite ainda a identificação do tipo de ataque: generalizado ou localizado.

Cupons e suportes



Cupons em conexões de acesso



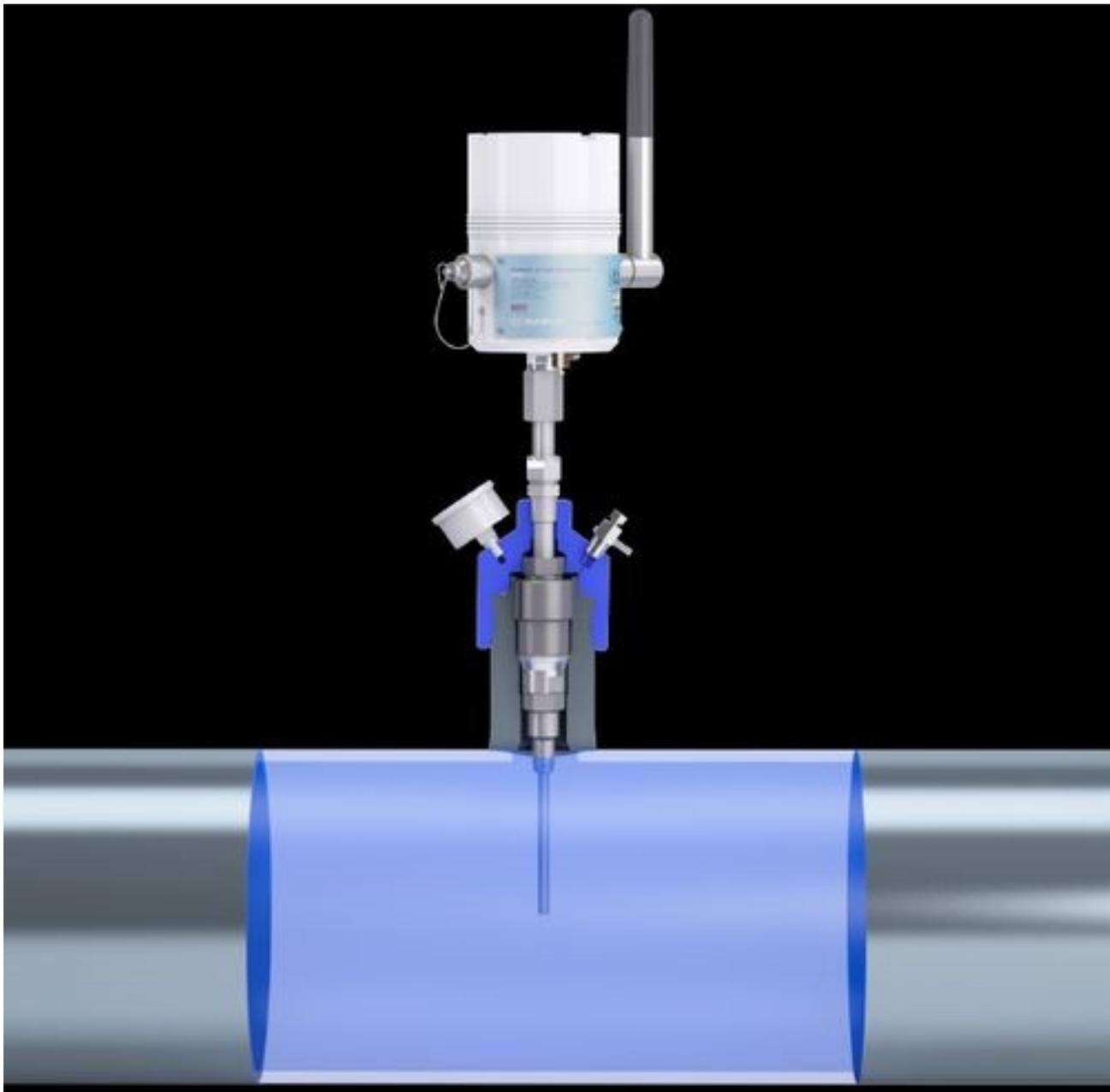
2. Sondas de resistência elétrica

Funcionam como cupons *online*, uma vez que um elemento metálico é exposto ao meio e, em intervalos regulares de tempo, é imposta uma corrente a esse elemento e registrada sua resistência à passagem de corrente. Conforme o elemento metálico perde massa, a área para a passagem de corrente diminui e, conseqüentemente, a resistência à sua passagem aumenta. O aumento da resistência é diretamente convertido em redução da seção transversal por corrosão.

A grande vantagem da sonda RE em relação aos cupons de perda de massa é a possibilidade de acompanhamento da evolução em tempo real, correlacionando-as com rotinas operacionais.

Sondas RE





3. Resistência de polarização linear

2 eletrodos metálicos

Aplica-se um pequeno potencial e mede-se a corrente resultante:

- alta corrente (baixa resistência à polarização), alta taxa de corrosão;
- baixa corrente (alta resistência à polarização), baixa taxa de corrosão.



VANTAGENS

- Resposta rápida
- Taxa de corrosão informada diretamente
- Não há necessidade de realização de cálculos e envio de material para laboratório
- Elementos de reposição de baixo custo

DESVANTAGENS

- Aplicável a fluidos condutivos
- Temperatura de operação até 150°C
- Eletrodos devem estar 100% imersos no fluido (condutivo)
- Não aplicável à medição em gases

Técnicas não intrusivas

Devido aos problemas de custo, logística e segurança inerentes à instalação e troca de cupons e de sondas de resistência elétrica (RE) é importante ter-se alternativas aos métodos intrusivos convencionais.

Assim surgiram os equipamentos não intrusivos (NIE) de monitoramento da corrosão interna. Estes são de fácil instalação na parte externa das tubulações, fácil manutenção, apresentam resultados rápidos, estimam a tendência da taxa de corrosão e, por não necessitarem de tomadas de acesso, minimizam riscos operacionais. Além disso, podem ser usados mesmo em sistemas que operam em alta pressão.



Tecnologias de monitoramento da corrosão



Intrusivo

Microcor® High Speed
Electrical Resistance

- **Perda de espessura física (SRE)**, medida pelo aumento da resistência do elemento sensor ao longo do tempo, por redução da seção transversal pela corrosão
- Opera em qualquer ambiente



Não intrusivo

- **Método ultrasônico**, medida direta da perda de espessura da parede
- Opera em qualquer ambiente



Intrusivo

Linear Polarization Resistance
(LPR)

- **Taxa de corrosão (LPR)** medida por interação eletroquímica dos eletrodos sólidos
- Opera somente em sistemas aquosos

Agradecemos a atenção,



celso@aselco.com.br



anna@ipt.br