

PROBLEMAS EM CONTROLE DE CORROSÃO<sup>(1)</sup>

T.03

Lalgudi V. Ramanathan<sup>(2)</sup>Isolda Costa<sup>(3)</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e  
Nucleares - IPEN-CNEN/SP

Caixa Postal 11049-Cidade Universitária

RESUMO

Este trabalho apresenta um resumo dos problemas na área de controle de corrosão focalizando os problemas que surgem devido a razões econômicas e de limitações técnicas dos vários métodos de controle. Métodos aperfeiçoados para cálculo de custo total podem ajudar na apresentação do controle de corrosão como uma proposta econômica e viável. Problemas técnicos que surgem, devido a solicitações cada vez maiores no comportamento dos materiais e a restrições toxicológicas, podem ser superados pelo uso adequado do conhecimento existente e por meio de esforços crescentes no desenvolvimento de novas ligas, revestimento e processos.

## PROBLEMS IN CORROSION CONTROL

ABSTRACT

This paper presents a summary of the problems in the area of corrosion control and focusses on problems that arise due to reasons of economy, and as a result of technical limitations of certain control measures. Improved prediction and costing methods can help present corrosion control as an economical and viable proposition. Technical problems arising from increasing demands on materials performance and from ecological and toxicological restrictions can be overcome by adequate use of existing know-how and by increasing efforts in the development of new alloys, coatings and processes.

---

(1) Contribuição técnica a ser apresentada no 14º SEMINÁRIO NACIONAL DE CORROSÃO.

(2) Membro da ABRACO, Engenheiro Metalurgista, M.Sc., Ph.D., IPEN-CNEN/SP.

(3) Membro da ABRACO, Engenheira Química, Mestre, IPEN-CNEN/SP.

## I. INTRODUÇÃO

Corrosão é a deterioração de metais ou ligas pela reação química ou eletroquímica, com perda de suas propriedades físicas e ou mecânicas, em áreas específicas ou em geral (Vide figura 1). A cada ano em países industrializados as perdas devido à corrosão são enormes - cerca de 3,5 a 4,2% do produto interno bruto de um país. Uma parte significativa dessas perdas podem ser evitadas, colocando-se em prática medidas de controle da corrosão existentes de uma maneira sistemática.

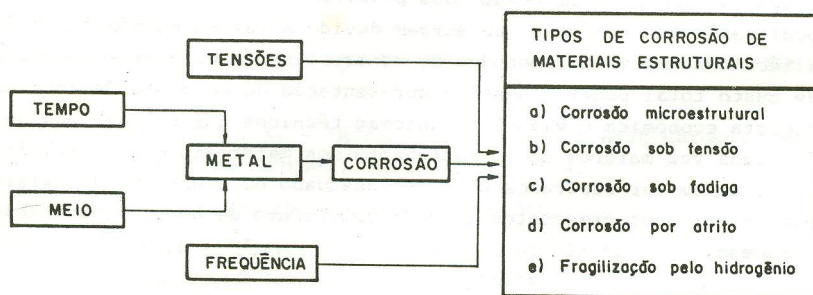


FIGURA 1: Diagrama esquemático de fatores envolvidos na corrosão de materiais estruturais.

O controle real da corrosão refere-se a todas medidas, incluindo idéias e esforços, que levam à prevenção da corrosão, e à diminuição das perdas que surgem delas. Os diferentes métodos de controle da corrosão são mostrados na tabela I, e estes métodos podem ser agrupados de acordo com:

1. Controle através de projeto apropriado.
2. Controle através da influência no metal.
3. Controle através da influência no meio.
4. Controle por revestimentos (1).

Os diferentes métodos de controle da corrosão têm sido usados, quer seja individualmente ou em combinação, por muito tempo. Não obstante, há vários problemas na execução bem sucedida dos procedimentos de controle da corrosão nas indústrias. Este trabalho descreve e discute os problemas existentes no controle da corrosão, de natureza técnica e não-técnica e como estes podem ser evitados.

TABELA I. MÉTODOS DE CONTROLE DA CORROSÃO

GRUPO	CONTROLE DA CORROSÃO	MÉTODOS
1	ATRAVÉS DO PROJETO APROPRIADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Evitar configurações geométricas que facilitem as condições corrosivas.</li> <li>B. Prover configurações geométricas que permitam manutenção e inspeção.</li> <li>C. Fazer provisões para permitir o uso de proteção catódica ou outros sistemas de acabamento superficial.</li> <li>D. Evitar contacto com outros materiais metálicos ou não metálicos que facilitem a corrosão.</li> <li>E. Evitar tensões que levem a corrosão sob tensão fraturante, corrosão por fadiga ou por atrito.</li> <li>F. Especificar procedimentos de operação de união de materiais (soldagem, fixação mecânica ou adesão).</li> <li>G. Especificar acabamentos superficiais.</li> </ul>
2	ATRAVÉS DA INFLUÊNCIA NO METAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Seleção do material.</li> <li>B. Desenvolvimento de liga.</li> <li>C. Tratamento térmico.</li> <li>D. Proteção catódica.</li> <li>E. Proteção anódica.</li> </ul>
3	ATRAVÉS DA INFLUÊNCIA NO MEIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Variar pH e composição do meio aquoso.</li> <li>B. Remover oxigênio dissolvido.</li> <li>C. Adição de inibidores.</li> <li>D. Diminuir a temperatura.</li> <li>E. Diminuir a velocidade.</li> </ul>
4	COM O USO DE REVESTIMENTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Produtos da reação do metal.</li> <li>B. Revestimentos metálicos.</li> <li>C. Revestimentos orgânicos.</li> <li>D. Revestimentos cerâmicos.</li> </ul>

## II. PROBLEMAS NÃO TÉCNICOS

### II.1. Comunicação

Problemas de comunicação surgem muito frequentemente. O engenheiro ou cientista de corrosão geralmente é consultado após o dano ter ocorrido, e também é solicitado para fazer recomendações com base em informações insuficientes e objetivos mal definidos. A ausência de comunicação também existente entre os fabricantes de equipamentos e usuários. Embora muitos fabricantes melhorem os procedimentos de controle da corrosão de uma maneira adequada, raramente orientam usuários sobre os procedimentos que necessitam ser observados durante transporte, estocagem, instalação e/ou uso dos equipamentos. Parte do problema de comunicação pode ser atribuído à falta de atenção por parte do usuário de um equipamento, principalmente no que diz respeito a manuais de instrução ou manutenção.

### II.2. Economia

Poucos empresários que estão começando novos projetos preocupam-se, eles mesmos, com o controle de corrosão. Nas decisões de ordem econômica, o investimento e o retorno do capital empregado são cuidadosamente analisados. Os responsáveis pelas decisões também não são normalmente inclinados a considerar o possível impacto da corrosão. Na atmosfera de otimismo que predomina durante os estágios iniciais da maioria dos novos projetos, é difícil tomar uma resolução em favor do controle da corrosão, desde que isto é considerado refletir um grau de pessimismo. Posteriormente durante a operação quando a corrosão ocorre, um investimento adicional é requisitado para incorporar as medidas de controle da corrosão e retornos substanciais a partir destes novos investimentos são mostrados. O fato que a proteção quase completa poderia ter sido conseguida muito mais economicamente, caso a decisão correta tivesse sido tomada antes, é frequentemente negligenciado.

Políticas de taxaço também influenciam as decisões concernentes ao controle da corrosão. Quando enfrenta-se o problema de ter que substituir ou reparar o equipamento corroído (o primeiro envolvendo custos mais altos) a decisão pode ser influenciada pela política de taxaço do país. Custos de reparos e manutenção são geralmente provenientes do faturamento, enquanto que o investimento inicial vem do dinheiro que já foi taxado. Abatimentos em juros que serão pagos por algumas firmas ou indústrias sobre gastos com equipamentos novos, variam consideravelmente. Em alguns casos estes abatimentos podem ser uns poucos por cento do custo do equipamento, por ano e durante vários anos. Nestes casos ao invés de usar várias técnicas de con

trole da corrosão, é preferível reparar ou substituir componentes críticos após alguns anos de uso do equipamento. Nos casos onde os juros são altos, é financeiramente mais vantajoso ter um custo inicial de instalação baixo, e ter um custo posterior de manutenção mais alto, o último sendo abatível dos juros a serem pagos.

Outros tipos de juros que também pesam são os juros sobre a folha de pagamento. Estes também aumentam o custo de manutenção, principalmente em áreas onde é necessária muita mão de obra especializada para sistemas de controle de corrosão durante a manutenção (2).

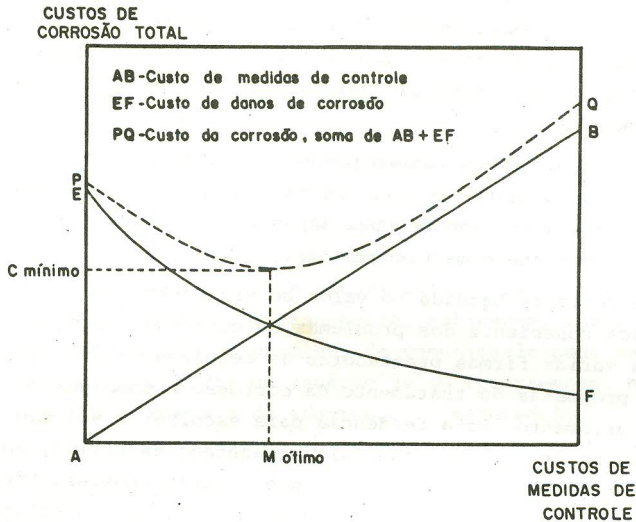
A tomada de decisões baseada no valor do orçamento é outro problema. Uma usina ou fábrica consciente dos problemas de corrosão, frequentemente pede orçamentos de várias firmas prestadoras de serviços na área de corrosão, compara suas propostas do tratamento da corrosão e toma uma decisão baseada no valor do orçamento. Esta tendência para escolher a solução mais barata para o problema de corrosão que foi apresentado às firmas, não resolve necessariamente o problema que existe ou que poderia ocorrer. Embora o tratamento preventivo possa produzir algumas economias, uma investigação detalhada por um engenheiro de corrosão poderia resultar em economia em uma escala consideravelmente maior.

Problemas do tipo onde engenheiros recomendam medidas de controle sem considerar seu custo em relação ao benefício, pode ser superado realizando-se estudos de otimização entre o custo da adoção de medidas de controle e o custo previsível de corrosão devido à falha, se o componente não fosse protegido.

O custo de corrosão total inclui:

- a. custos devido a danos diretos (por exemplo: redução na disponibilidade de equipamentos devido à corrosão).
- b. custos devido a danos indiretos (por exemplo: redução na produção).
- c. custos de medidas protetoras, e
- d. custos de manutenção.

Em geral pode ser visto que um aumento no gasto com medidas de controle da corrosão, pode levar a uma redução nos custos de danos de corrosão. Isto é entretanto verdade até certo ponto; além do qual as vantagens financeiras devidas a gastos adicionais com controle de corrosão, diminuem por causa do aumento nos custos de proteção e manutenção, como é mostrado na figura 2. Um nível otimizado de controle de corrosão pode ser definido como



**FIGURA 2: Otimização dos custos de controle de corrosão.**

o custo mínimo dentro do período de operação especificado de um componente, maquinário ou indústria (3).

Problemas de levantamento de custo do controle da corrosão também surgem devido a ausência de dados confiáveis sobre custos de operação e manutenção, (especialmente os que surgem da decisão entre métodos alternativos de controle, de valor técnico similar).

### III. PROBLEMAS TÉCNICOS

O progresso tecnológico está aumentando gradualmente as demandas no desempenho específico do equipamento e dos materiais. O aumento de temperatura nas usinas de processos, velocidades de fluxo mais altas em equipamentos hidráulicos, níveis crescentes de tensões, atrito, abrasão, e outros, estão levando a demandas crescentes nas medidas de controle da corrosão. Restrições ecológicas e toxicológicas, por outro lado têm também reduzido o uso de certos métodos padrões de controle da corrosão na indústria. Relacionado com estes aspectos, alguns problemas em cada uma das quatro áreas de controle de corrosão são mencionados e discutidos.

### III.1. Controle da corrosão através do projeto apropriado

A etapa mais importante no controle da corrosão bem sucedido, é o projeto apropriado dos componentes. As geometrias dos componentes devem ser simples e eficientes para capacitar condições ambientais uniformes tão bem como excluir ou incluir oxigênio dependendo do metal. A localização e o "lay-out" devem facilitar a manutenção e a limpeza. Somente projetos adequados possibilitam a aplicação de revestimentos ou a utilização bem sucedida de outras medidas de controle da corrosão em um estágio subsequente. Exigências geométricas têm que ser consideradas se a proteção eletroquímica tiver que ser usada. Se fluidos estarão em movimento, cuidados com a geometria diminuirão os efeitos de cavitação e/ou erosão. Cuidados com a geometria em casos onde deve haver união de materiais também é importante. Procedimentos de soldagem e fixação mecânica bem definidos podem levar a baixas tensões durante operação, evitar corrosão sob tensão e prevenir o ataque intergranular em zonas afetadas pela solda. Embora vários projetos de equipamentos sejam bem pensados em termos de geometria e materiais a atenção inadequada com o posicionamento do equipamento pode impedir a inspeção e manutenção apropriada.

O controle da corrosão no estágio de projeto também envolve o uso de dados disponíveis de ensaios de laboratório e adoção de fatores de segurança para prever o comportamento em serviço. A confiabilidade na previsão aumenta quando o fator de segurança aumenta. Fatores de segurança são geralmente aceitos se o custo é baixo. Se entretanto como consequência de altos fatores de segurança, o custo aumenta influenciando as margens de lucro, é geralmente, pedido ao engenheiro de corrosão que os custos sejam justificados com dados quantitativos ao invés de que com opinião pessoal. O problema que surge neste estágio é devido frequentemente à inexistência de tais dados. O comportamento de corrosão não é uma propriedade como o limite de escoamento ou expansão térmica, que podem ser medidos, tabelados, e usados no projeto. A corrosão sendo um processo e a velocidade de corrosão ou a maneira na qual ocorre sendo dependente da natureza do material e variáveis importantes como pH, teor de oxigênio, temperatura, pressão, etc, é de difícil cálculo com precisão, e mais ainda existe o efeito combinado de todas as variáveis. Estas variáveis também variam com o tempo e de um equipamento para o outro. Sob estas circunstâncias, um nível de certeza pode ser conseguido assumindo-se grandes fatores de segurança, embora de custo alto. Melhorias podem provavelmente ser esperadas na forma de registros apropriados, nos quais o início da corrosão ou efeitos relacionados e sua frequência podem ser registrados. O processamento eletrônico de dados de corrosão e dados de custo podem encontrar uso crescente não somente na avaliação eco

nômica mas também na redução nos fatores de segurança caros (4).

### III.2. Controle da corrosão através da influência no metal

A seleção apropriada do material e escolha dos procedimentos de tratamento térmico são de importância fundamental. O critério principal durante a seleção do material é a consideração da sua conformidade funcional e capacidade para manter sua função seguramente por um período de tempo a um custo razoável. Neste método de controle da corrosão, o potencial do metal no meio aquoso também é variado, o que consiste basicamente na modificação do material por formação de suas ligas ou, através de proteção catódica ou anódica. Em termos da disponibilidade de metais e ligas para uso em escala comercial, o número não tem aumentado consideravelmente. Considerando-se as ligas Fe-Cr muito usadas, pode ser dito que em termos de formação de ligas, os aços inoxidáveis já alcançaram quase totalmente os seus limites. Fatores metalúrgicos e econômicos também tornam remoto o desenvolvimento de novas ligas com maior resistência à corrosão em um futuro próximo. Melhorias podem ser esperadas em termos de maiores resistências mecânicas e maior resistência das ligas à corrosão localizada pelo uso de maiores teores de molibdênio.

A proteção catódica embora largamente usada para controlar a corrosão, também apresenta problemas quando usada sozinha ou quando combinada com revestimentos. Nem todos os componentes são apropriados para proteção catódica, e sistemas contendo metais diferentes são difíceis de serem protegidos. A tendência para reduzir os custos de operação da proteção catódica reduzindo-se o consumo de corrente leva a problemas de proteção incompleta. O posicionamento de ânodos de sacrifício continua a ser mais uma arte que uma ciência. O estudo sistemático e o uso de projeto auxiliado por computador (CAD- computer aided design) podem ajudar a melhorar a localização do ânodo. Problemas que surgem devido a interrupção do fornecimento de energia para proteção catódica e anódica, podem ser contornados com a ajuda de unidades de reforço à base de energia solar e que contenham baterias acumuladoras.

A proteção anódica é aplicável somente a metais passíveis em meios específicos e também está sujeita à disponibilidade de corrente controlada. Uma falha na disponibilidade de corrente poderia levar ao problema de velocidades de corrosão aumentada.

### III.3. Controle da corrosão através da influência no meio

O objetivo neste método de controle da corrosão é a redução na agressividade do meio, e pode envolver variações no pH, na velocidade de escoamento do líquido, reduções na temperatura, remoção de oxigênio dissolvido, ou adição de inibidores.

Com relação ao pH e variações da composição, os diagramas Pourbaix têm levado a uma maior compreensão de suas influências sobre o comportamento de corrosão. Entretanto, estes diagramas não ajudam muito quando meios ou ligas complexas são envolvidos. Dados empíricos da literatura continuam a ser a principal fonte de informação. Variações na velocidade de um fluido podem afetar a corrosão, dependendo da natureza do fluido, velocidade, presença de sólidos, e a dependência da corrosão ou mecanismos de proteção com a disponibilidade de oxigênio. Similarmente, efeitos de temperatura não são diretos, mas sim indiretos, e dependem de se a velocidade de corrosão é influenciada pelo suprimento de oxigênio e por variações na estequiometria da película superficial.

A remoção do oxigênio de sistemas fechados de circulação de água e vapor, pode ser realizada termicamente ou pela adição de substâncias químicas. A hidrazina que tem sido usada eficientemente atualmente é considerada como uma substância cancerígena e seu uso está sendo restringido. Sulfeto de sódio, usado como uma alternativa para remoção de oxigênio, tem a desvantagem de ser menos eficiente e também formar sais como um produto de reação. Outros métodos para remoção de oxigênio, como recombinação catalítica de oxigênio e hidrogênio formando água, estão ainda em estágio de desenvolvimento.

O uso de inibidores é mais difundido em circuitos de refrigeração de água, abertos e fechados. Os mais comuns, mais eficientes e, relativamente baratos são os cromatos, nitritos e outras misturas sinérgicas contendo estes dois íons. O uso destes inibidores está encontrando restrições crescentes devido à toxicidade. Além disto, os sistemas de refrigeração contendo partes galvanizadas são propensos ao ataque pelos nitritos. Nenhum novo inibidor orgânico ou inorgânico que possa substituir adequadamente os cromatos é disponível atualmente. Alguns inibidores orgânicos que têm boas propriedades inibidoras não possuem estabilidade térmica, e os produtos químicos aceitáveis ecologicamente e toxicologicamente são frequentemente os menos efetivos. Inibidores para várias formas de corrosão localizada e corrosão conjunta, não são disponíveis comercialmente embora a literatura tem indicado que eles possam ser produzidos.

O uso difundido de dispersantes e microbiocidas sem considerar seus efeitos colaterais, tem levado frequentemente ao aumento de corrosão em muitos sistemas fechados de recirculação de água. O uso de dispersantes ou microbiocidas em quantidades insuficientes ou em excesso, principalmente em sistemas de metais mistos, tem provocado frequentemente a corrosão de metais que normalmente mostram resistência à corrosão adequada na ausência total de aditivos. Um dos principais problemas relacionados com o uso crescente de inibidores de corrosão temporários e/ou voláteis, é o da escolha inapropriada de inibidores, especialmente onde metais mistos estão envolvidos.

#### III.4. Controle da corrosão com revestimentos

O método de controle de corrosão mais usado tem sido a aplicação de um fino revestimento de um material mais resistente, seja metálico, de conversão, sintético, ou cerâmico para prevenir o contacto direto entre o metal e seu meio. Os principais problemas relacionados com o uso de revestimentos metálicos são:

1. Falta de atenção no projeto de equipamentos que requerem pré-tratamentos antes da aplicação dos revestimentos.
2. Atenção inadequada nos procedimentos de preparação da superfície ou demora entre a preparação da superfície e a aplicação do revestimento.
3. Custo crescente de certos metais de revestimento simples e eféticos como Cr, Ni e Mo, devido principalmente a baixas reservas mundiais e políticas estratégicas.
4. Tendência para reduzir as espessuras dos revestimentos por razões de economia, e por outro lado expectativas de vida mais prolongada dos componentes.
5. Uso inadequado da informação eletroquímica existente para obter revestimentos com maior compatibilidade metal-revestimento, e resistência à corrosão e ao desgaste melhorado.
6. Atenção inadequada a variações dimensionais ou variações no peso em consequência da aplicação de revestimentos.
7. Absorção de hidrogênio pelo metal substrato em muitos processos eletroquímicos de revestimento.
8. Uso inadequado de métodos para testar revestimentos existentes.

Outros problemas inerentes aos revestimentos orgânicos e cerâmicos podem ser superados concentrando-se esforços no desenvolvimento de:

1. Revestimentos orgânicos para suportar temperaturas mais altas e com maior resistência à permeabilidade pelo vapor de água.
2. Técnicas aperfeiçoadas para unir revestimentos orgânicos a substratos metálicos.
3. Revestimentos com maior resistência ao desgaste.
4. Revestimentos cerâmicos dúcteis e livres de poros.
5. Sistema aperfeiçoado para seleção de tintas e métodos de aplicação para requisições específicas.

#### REFERÊNCIAS

- (1) Shreir, L.L., (ed), Corrosion, Vol. 2, Newnes Butterworths, 1976, 4.
- (2) Morgan, J., Materials Performance, June 1981, 9.
- (3) Weber, J., Proc. 8th Int. Congr. Met. Corr., Mainz, W. Germany, Vol. 3, 1981, 2241.
- (4) Edeleanu, C. and Hines, J.G. British Corrosion Journal, 18, 1983, 6.