

HISTÓRIA, COMPORTAMENTO E USOS DOS AÇOS PATINÁVEIS NA ENGENHARIA ESTRUTURAL BRASILEIRA

Fabio Domingos Pannoni, M.Sc., Ph.D.¹

INTRODUÇÃO

Todos os aços contêm pequenas quantidades de elementos de liga, tais como carbono, manganês, silício, fósforo e enxofre, seja porque estes integravam as matérias-primas (minérios e coque) com que foram fabricados, seja porque lhes foram deliberadamente adicionados, para lhes conferirem determinadas propriedades. De modo geral, as adições são pequenas, de no máximo 0,5 a 0,7% da massa total do metal, proporção em que tais elementos não tem qualquer efeito apreciável sobre a resistência deste à corrosão atmosférica. As pequenas variações de composição que inevitavelmente ocorrem durante o processo de fabricação do metal tampouco afetam significativamente suas características [Pannoni e Wolyneec (1989)].

Entretanto, existem exceções. Sabe-se há mais de 80 anos, por exemplo, que a adição de pequenas quantidades de cobre, fósforo e outros elementos tem um efeito benéfico sobre os aços, reduzindo a velocidade em que são corroídos, quando expostos ao ar. Mas o grande estímulo ao emprego de aços enriquecidos com esses elementos – chamados aços de baixa liga – foi dado pela companhia norte-americana United States Steel Corporation que, no início da década de 1930, desenvolveu um aço cujo nome comercial era Cor-Ten.

O aço Cor-Ten foi desenvolvido originalmente para a indústria ferroviária, e sua grande virtude aparente era permitir a construção de vagões mais leves. A propriedade de resistir à corrosão foi alcançada por casualidade, embora desde o fim do século XIX já se conhecessem as influências benéficas do cobre e do fósforo.

Em 1958, o arquiteto norte americano Eero Saarinen utilizou-o na construção do edifício administrativo da Deere & Company, em Moline, no estado de Illinois. O aço foi deixado aparente nessa obra, tendo o arquiteto considerado que a ferrugem que sobre ele se formava constituía por si mesma um revestimento não só aceitável, como atraente. A partir daí, os aços patináveis foram utilizados com sucesso em inúmeras obras de arquitetura. Os

¹ Especialista em Engenharia de Proteção Estrutural da Gerdau Açominas S.A.

engenheiros seguiram os passos dos arquitetos e as aplicações dos aços de alta resistência e baixa liga resistentes à corrosão atmosférica foram se expandindo.

Desde o lançamento do Cor-Ten até os nossos dias, desenvolveram-se outros aços com comportamentos semelhantes, que constituem a família dos aços conhecidos como patináveis. Enquadrados em diversas normas, dentre as quais as norte-americanas ASTM A242, A-588, A-606 e A-709, que especificam limites de composição química e propriedades mecânicas, estes aços tem sido utilizados no mundo todo na construção de edifícios de múltiplos andares, pontes, viadutos, passarelas, defensas, torres de transmissão, edifícios industriais, telhas, etc. Sua grande vantagem, além de dispensarem a pintura em certos ambientes, é possuírem uma resistência mecânica maior que a dos aços estruturais comuns. Em ambientes extremamente agressivos, como regiões que apresentam grande poluição por dióxido de enxofre ou aquelas próximas da orla marítima, a pintura lhes confere uma proteção superior àquela conferida aos aços comuns.

No Brasil, aços desse tipo encontram também grande aceitação entre os arquitetos. Além de inúmeras pontes e viadutos espalhados por todo o país, formam, por exemplo, a estrutura da catedral de Brasília e do edifício-sede da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), em São Paulo.

DESEMPENHO DOS AÇOS PATINÁVEIS

O que distinguia o novo produto dos aços comuns, no que diz respeito à resistência à corrosão, era o fato de que, sob certas condições ambientais de exposição, ele podia desenvolver em sua superfície uma película de óxidos aderentes e protetores, chamada de pátina, que atuava reduzindo a velocidade do ataque dos agentes corrosivos presentes no meio ambiente. A figura 1 mostra as curvas típicas de avaliação da resistência à corrosão de um aço patinável e de um aço carbono comum expostos às atmosferas industrial, urbana, rural e marinha [Pannoni et al. (1993)]. Durante os primeiros anos de exposição à atmosfera, a perda de massa metálica por unidade de superfície cresce segundo uma função potência do tipo $\Delta m = kt^{1-n}$ onde Δm é a perda de massa por unidade de superfície (mg/cm^2), k e n são constantes e t é o tempo de exposição, em meses. A tabela 1 traz os valores experimentais dessas constantes experimentais.

DO QUE DEPENDE A FORMAÇÃO DA PÁTINA?

A formação da pátina é função de três tipos de fatores. Os primeiros a destacar estão ligados à composição química do próprio aço. Os principais elementos de liga que contribuem para aumentar-lhe a resistência frente à corrosão atmosférica, favorecendo a formação da pátina, são o cobre e o fósforo. O cromo, o níquel e o silício também exercem

efeitos secundários [Pannoni e Marcondes (1991)]. Cabe observar, no entanto, que o fósforo deve ser mantido em baixos teores (menores que 0,1%), sob pena de prejudicar certas propriedades mecânicas do aço e sua soldabilidade.

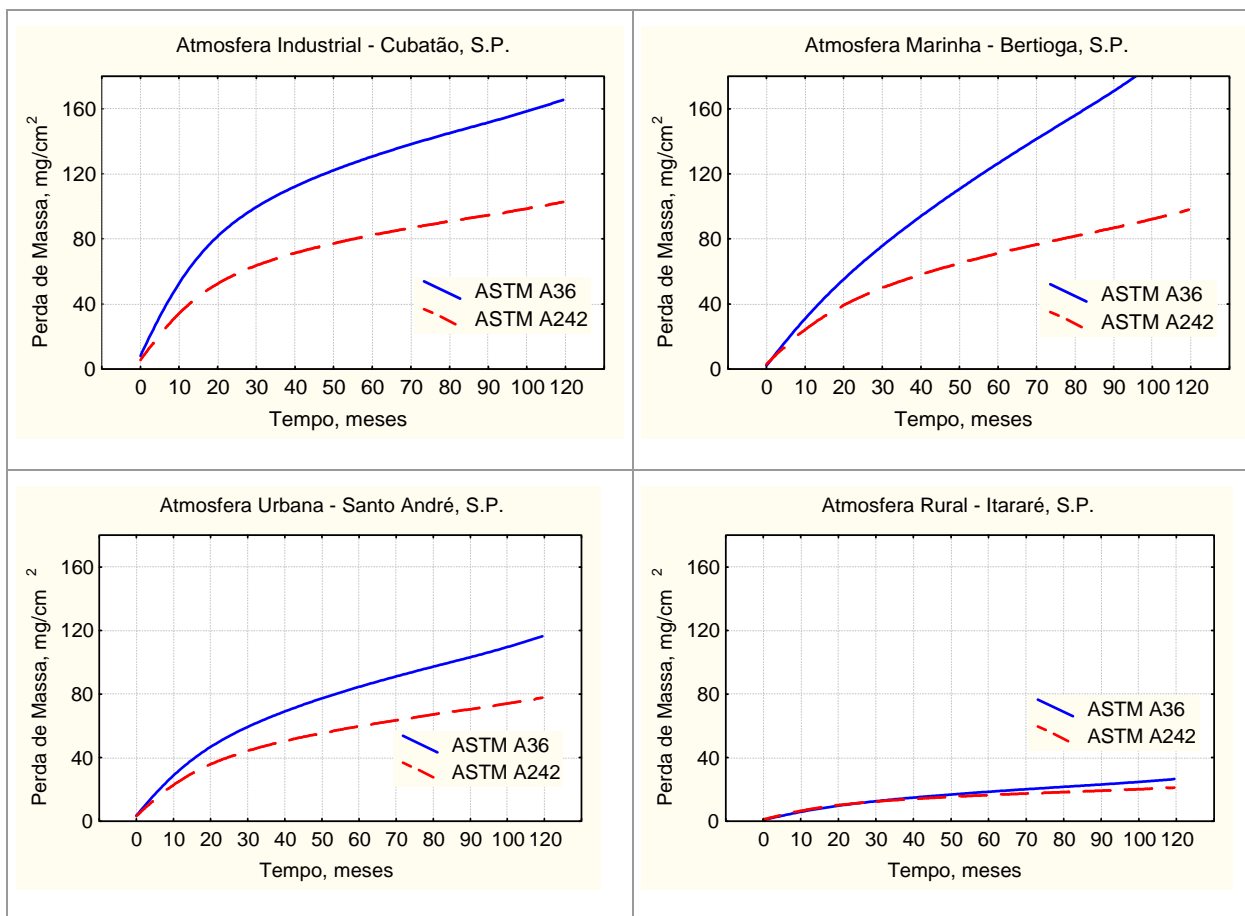


Figura 1. Resistência à corrosão de um aço patinável (ASTM A242) e de um aço carbono comum (ASTM A36) expostos às atmosferas industrial (Cubatão, S.P.), marinha (Bertioga, S.P.), urbana (Santo André, S.P.) e rural (Itararé, S.P.) [Pannoni et al. (1993)]. A medida é feita em termos da perda de massa metálica em função do tempo de exposição em meses.

Tabela 1. Constantes k e n , obtidas através da exposição atmosférica, por três anos, de um aço carbono (ASTM A36) e um aço patinável (ASTM A242) em atmosfera industrial, marinha, urbana e rural [Pannoni et al. (1993)]. Durante os primeiros anos de exposição à atmosfera, a perda de massa metálica por unidade de superfície cresce segundo uma função potência do tipo $\Delta m = kt^{1-n}$ onde Δm é a perda de massa por unidade de superfície (mg/cm^2), k e n

AÇO	MEIO	k	n
ASTMA36	industrial	28,991	0,634
ASTMA36	marinho	6,462	0,274
ASTMA36	urbano	11,450	0,513
ASTMA36	rural	2,038	0,462
ASTMA242	industrial	19,886	0,655
ASTMA242	marinho	9,583	0,512
ASTMA242	urbano	11,257	0,594
ASTMA242	rural	3,414	0,618

são constantes e t é o tempo de exposição, em meses.

Em segundo lugar vêm os fatores ambientais, entre os quais sobressaem a presença de dióxido de enxofre e de cloreto de sódio na atmosfera, a temperatura, a força (direção, velocidade e frequência) dos ventos, os ciclos de umedecimento e secagem, etc. Assim, enquanto a presença de dióxido de enxofre, *até certos limites*, favorece o desenvolvimento da pátina, o cloreto de sódio em suspensão nas atmosferas marítimas prejudica suas propriedades protetoras. Não se recomenda a utilização de aços patináveis não protegidos em ambientes industriais onde a concentração de dióxido de enxofre atmosférico seja superior a $250\mu\text{g}/\text{m}^3$ e em atmosferas marinhas onde a taxa de deposição de cloretos exceda $300\text{mg}/\text{m}^2/\text{dia}$ [Corus (2001)]. As figuras 2 e 3, retiradas de CETESB (2001), mostram os valores médios anuais medidos de dióxido de enxofre atmosférico na cidade de São Paulo e em algumas localidades do interior do estado. Pode-se observar que os valores encontrados estão bem abaixo do limite de $250\mu\text{g}/\text{m}^3$.

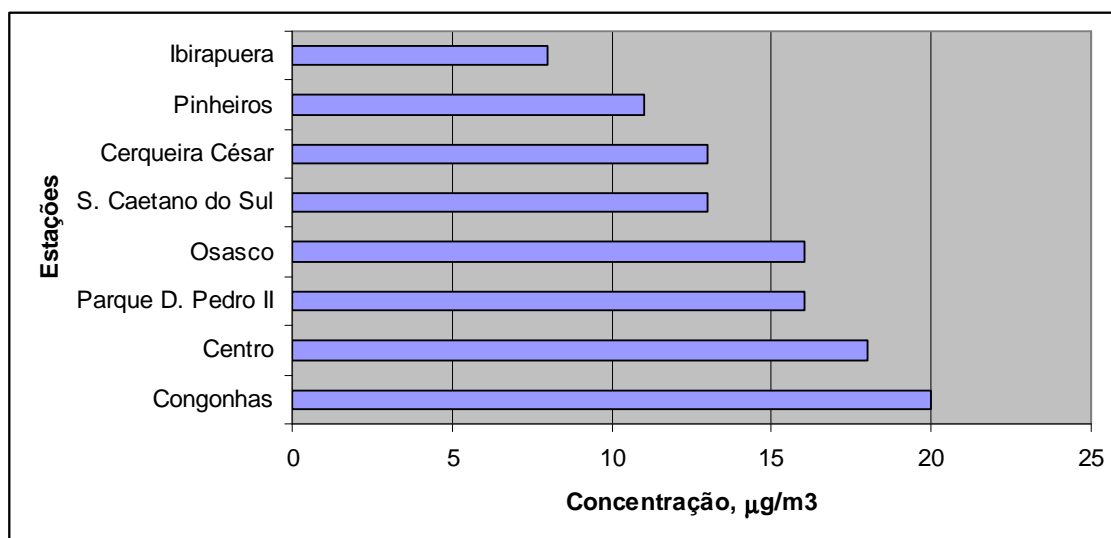


Figura 2. Média aritmética anual (2001) de $[\text{SO}_2]$ atmosférico na cidade de São Paulo [CETESB(2001)].

Os ventos, que carregam agentes agressivos até o local em que se encontra o metal, tem importante efeito sobre os ciclos de umedecimento e secagem, considerados essenciais no desenvolvimento de películas protetoras. O efeito da temperatura, embora provável, ainda não foi claramente caracterizado.

Finalmente, há fatores ligados à geometria da peça, que explicam por que diferentes estruturas do mesmo aço dispostas lado a lado podem ser atacadas de maneira distinta. Esse fenômeno é atribuído à influência de seções abertas/fechadas, drenagem correta das

águas de chuva e outros fatores que atuam diretamente sobre os ciclos de umedecimento e secagem. Assim, por exemplo, sob condições de contínuo molhamento, determinadas por secagem insatisfatória, a formação da pátina fica gravemente prejudicada. Em muitas destas situações, a velocidade de corrosão do aço patinável é semelhante àquela encontrada para os aços carbono comuns. Exemplos incluem aços patináveis imersos em água, enterrados no solo² ou recobertos por vegetação.

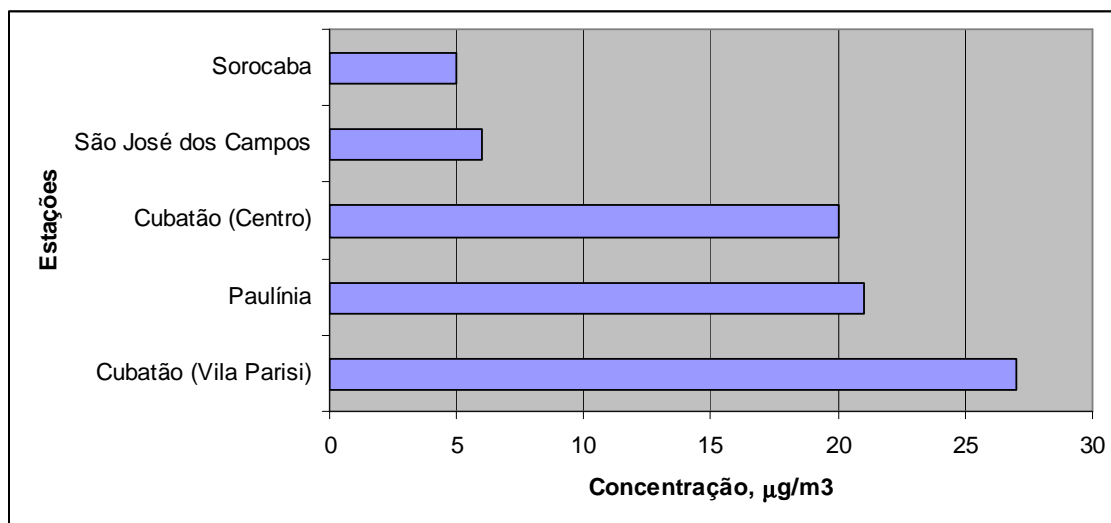


Figura 3. Média aritmética anual (2001) de [SO₂] atmosférico no interior do Estado de São Paulo [CETESB(2001)].

Regiões particulares tais como juntas de expansão, articulações e regiões superpostas tem comportamento crítico quanto à corrosão, tal como ocorre com os aços carbono tradicionais. Os elementos de ligação (chapas, parafusos, porcas, arruelas, rebites, etc.) devem apresentar não só resistência mecânica compatível com o aço patinável, mas também compatibilidade de composição química, para evitar a formação de células galvânicas. Os cordões de solda produzidos na soldagem dos aços patináveis devem possuir composição química semelhante à dos aços patináveis, evitando a formação de pares galvânicos.

A tabela 2 traz alguns pontos que devem ser observados para a maximização dos benefícios proporcionados pelos aços patináveis, e sua comparação aos aços estruturais de alta resistência.

² O autor verificou, recentemente, uma situação em que, mesmo na falta de ciclos alternados de umedecimento e secagem (adutora d'água enterrada no solo, bem acima do nível do lençol freático) o aço patinável apresentava desempenho superior ao aço carbono comum [Pannoni(2001)].

Tabela 2: Pontos a serem observados para a maximização das propriedades dos aços patináveis, e a comparação com os aços estruturais de alta resistência.

	AÇO PATINÁVEL (ex. ASTM A588 Grau K)	AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA (ex. ASTM A572 Grau 50)
ELEMENTOS ENTERRADOS NO SOLO	Deverão ser pintados.	Deverão ser pintados.
ELEMENTOS DE LIGAÇÃO	<p>Elementos de ligação (chapas, parafusos, porcas, etc.) devem ter compatibilidade química com o aço patinável. Utilizar parafusos do tipo ASTM A325 Tipo 3 Grau A, ou equivalente. Parafusos galvanizados devem ser evitados.</p> <p>Os cordões de solda devem possuir composição química semelhante à dos aços patináveis, evitando a formação de pares galvânicos. Utilizar, em soldagem com arco elétrico, os eletrodos E7018 W ou E 7018 G (eletrodo revestido), ER 8018 S-G (Mig/Mag), F 7AO-EW (arco submerso) e E 71T8 Ni1 ou E 80T1 W (eletrodo tubular). Para soldagem de múltiplos passes, pode-se utilizar eletrodos de composição química especial nos dois últimos filetes, que ficam, em contato com a atmosfera. Para passe simples (1 cordão), pode-se utilizar eletrodos convencionais (haverá diluição na poça de fusão).</p>	<p>Utilizar parafusos do tipo ASTM A 325.</p> <p>Utilizar, em soldagem com arco elétrico, os eletrodos E 7018 (eletrodo revestido), ER 70 S6 (Mig/Mag), F 7AO EM12K (arco submerso) e E 70T-1, E 71-T1 ou E 70T-4 (eletrodo tubular).</p>
PINTURA	<p>É aconselhável o jateamento da superfície (mínimo Sa 2), independente da utilização ou não de pintura.</p> <p>A pintura é dispensável em atmosferas pouco agressivas, onde a pátina é formada com facilidade.</p> <p>A pintura é indispensável onde a concentração de dióxido de enxôfre atmosférico é superior a 250 µg/m³, onde a taxa de deposição de cloretos é superior a 300 mg/m²/dia, ou onde houver acúmulo permanente de líquidos.</p>	Requer tratamento de superfície e pintura adequadas à cada tipo de ambiente.

COMO A PÁTINA É FORMADA?

A INICIAÇÃO DO PROCESSO DE CORROSÃO – OXIDAÇÃO À BAIXA TEMPERATURA

O produto de oxidação ao ar e à temperatura ambiente do ferro monocristalino, policristalino ou de aços carbono estruturais consiste de duas camadas, uma, interna, contendo Fe²⁺ e outra, externa, contendo Fe³. É interessante observar que os aços patináveis desenvolvem, já nos primeiros estágios de oxidação, películas mais espessas, de composição distinta daquelas formadas sobre os aços estruturais comuns [Pannoni (1990)] .

ROOSENDAAL (1999) mostra que a oxidação do ferro, quando feita em presença de vapor de água, acontece muito mais lentamente do que em atmosfera de oxigênio puro, provavelmente devido à baixa dissociação das moléculas de água adsorvidas.

Baseado na mudança de entalpia que acompanha a adsorção dissociativa ou a adsorção molecular do vapor d'água, PANNONI (2002) propõe que a adição de cobre e níquel (e molibdênio) ao aço carbono estrutural acarreta alterações sensíveis na dinâmica de quimissorção dissociativa da molécula de água. Desse modo, não somente o decréscimo do efeito túnel retarda o crescimento da película, mas também a formação de misturas de Fe^{2+}/Fe^{3+} na camada de óxido. Os resultados sugerem que, após a quimissorção do oxigênio, há a formação de uma camada de FeO que recobre toda a superfície. Após este estágio, um outro óxido cresce sobre o óxido original, e contém Fe^{3+} , mas, possivelmente, algum Fe^{2+} . A estequiometria que melhor se ajusta aos dados experimentais corresponde à formação, na camada superior, de uma mistura de $\gamma-Fe_2O_3$ com FeO. Como resultado, a incorporação de fragmentos de moléculas de água na película de óxido pode fornecer o potencial termodinâmico para o aumento da corrente iônica, levando ao aumento da velocidade de oxidação dos aços patináveis em seus primeiros estágios de exposição.

O MECANISMO MACROSCÓPICO DA CORROSÃO ATMOSFÉRICA DOS AÇOS PATINÁVEIS

A etapa seguinte à formação das películas finas, isto é, o seu crescimento e transformação em camadas macroscópicas não tem sido um campo muito estudado, talvez em função das inúmeras dificuldades experimentais encontradas.

Alguns autores julgam que as películas formadas sejam catódicas em relação ao metal-base. Desse modo, uma trinca na película iniciaria o processo eletroquímico da corrosão.

Outra possibilidade, seria a existência de regiões catódicas superficiais, tais como certas inclusões ou partículas carbonáceas, que provocariam a dissolução anódica do metal.

Embora haja grande falta de informação sobre a transição microscópico - macroscópico, a formulação de mecanismos que pudessem explicar satisfatoriamente os fatos observados na corrosão atmosférica de aços não é um fato recente. Já no início do século, BUCK (1913) anunciava o efeito benéfico do cobre adicionado aos aços e, em um seu trabalho posterior, BUCK (1919) atribuiu ao cobre a função de combinar-se com o enxôfre do aço, tornando-o inócuo.

Basicamente, a ferrugem é constituída por cinco diferentes compostos de ferro: $\alpha-FeOOH$ (goethita), $\beta-FeOOH$ (akaganeíta), $\gamma-FeOOH$ (lepidocrocita), $\delta-FeOOH$ e Fe_3O_4 (magnetita).

Os óxidos predominantes costumam ser α - e γ -FeOOH, e suas quantidades relativas dependem do tipo de atmosfera e do tempo de exposição do espécime. Nas ferrugens formadas recentemente sobre aços expostos a atmosferas que contêm dióxido de enxofre, o óxido predominante é a lepidocrocita. À medida que a exposição se prolonga, a razão γ/α decresce. Em atmosferas marinhas, em que o eletrólito contém cloretos, está presente a akaganeíta, que pode conter na sua constituição mais de 5% em peso de íons cloreto. Além destes, outros produtos de corrosão tem sido encontrados na ferrugem, como géis solúveis e insolúveis, sulfatos e outros.

A ferrugem que se produz sobre a superfície dos aços comuns compõe-se, de modo geral, de duas regiões distintas: uma interna, próxima à interface aço/ferrugem, constituída principalmente de FeOOH denso, e outra externa, que apresenta cristais pouco agregados de lepidocrocita, de goethita ou de ambas.

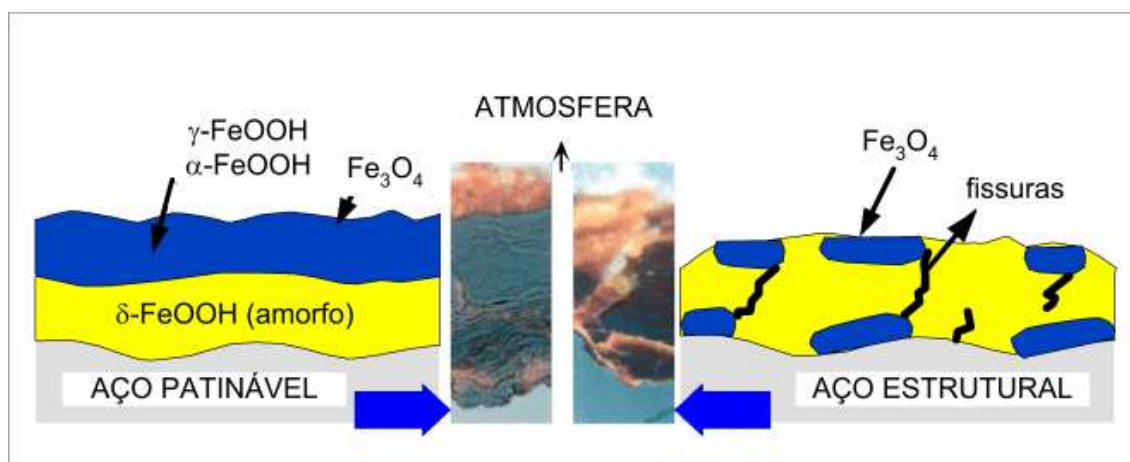


Figura 4: A morfologia da ferrugem formada sobre um aço patinável (ASTM A242) é diferente daquela formada sobre um aço carbono comum (ASTM A36). A figura mostra, em corte, ferrugens formadas sobre os dois aços. Os aços patináveis desenvolvem, após alguns anos de exposição, uma fase amorfa rica em cobre, fósforo, cromo e silício que isola de modo eficiente o substrato metálico do ingresso de oxigênio e da água, constituintes necessários à manutenção da corrosão. A ferrugem formada sobre o aço carbono comum possui trincas macroscópicas, que não impedem a entrada dos constituintes mantenedores do processo corrosivo.

A composição e a estrutura cristalográfica da ferrugem que se forma sobre os aços patináveis são similares às da ferrugem gerada sobre o aço carbono. A goethita e a lepidocrocita estão presentes em ambos, em proporções similares. Nos primeiros, contudo, constata-se a presença, na interface metal/ferrugem, de uma nova fase, amorfa, rica daqueles elementos de liga neles presentes, como o cobre, o fósforo e outros. É justamente essa camada que, limitando o suprimento de água, oxigênio e estimuladores de corrosão à superfície metálica, inibe a dissolução desta, reduzindo drasticamente a velocidade com que

sua corrosão se processa. Segundo vários autores, δ -FeOOH é o principal constituinte da película interna, que se forma ao longo de exposições prolongadas do material à atmosfera.

O mecanismo de corrosão dos aços patináveis ainda é objeto de intensas pesquisas no mundo todo e também no Brasil. Uma teoria proposta por um pesquisador brasileiro, bem aceita sobre esse processo, que encontrou grande receptividade [Miranda (1974)] admite que, quando o aço patinável é exposto à uma atmosfera sulfurosa, a ciclos de umedecimento/secagem e temperaturas relativamente baixas (aproximadamente 20°C), a camada de ferrugem é constituída essencialmente de lepidocrocita. A exposição a temperaturas mais elevadas (35 – 60°C) favorece a formação, sob a camada de lepidocrocita, de uma camada interna isotrópica, constituída essencialmente de δ -FeOOH amorfo. Quando submetido a essas temperaturas, os elementos de liga (notadamente o cobre) começam a se dissolver no interior das células de corrosão. Esses elementos inibem a formação da magnetita, que não é protetora, ao mesmo tempo em que catalizam a formação do óxido amorfo, protetor, na interface metal/ferrugem. Essa camada, muito pouco porosa, isola o metal dos constituintes agressivos existentes na atmosfera, como a água, o oxigênio e íons exógenos.

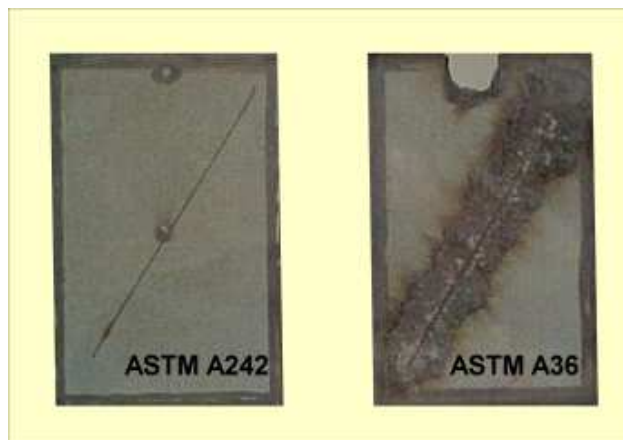
Portanto, quando os elementos de liga não podem penetrar na ferrugem (isto é, sob temperaturas baixas), ou quando o aço não os contém – caso do aço carbono comum – ocorre a formação da magnetita, e não do δ -FeOOH protetor, e a corrosão prossegue.

A PINTURA DOS AÇOS PATINÁVEIS

O desempenho de um sistema de pintura aplicado sobre o aço patinável costuma ser superior ao mesmo sistema aplicado sobre os aços carbono estruturais tradicionais, desde que o ambiente promova a formação da pátina. A durabilidade desse sistema costuma ser superior à soma das durabilidades propiciadas isoladamente pela proteção do revestimento e pela natureza do material, isto é, há sinergia dos mecanismos. Uma eventual falha no revestimento levará à formação de produtos de corrosão bem menos volumosos do que aqueles formados sobre os aços comuns, o que diminui em muito o problema do destacamento da película de pintura, aumentando a durabilidade do revestimento.

A figura abaixo mostra dois espécimes de aço laminados a quente, um ASTM A36 e um ASTM A242 expostos por 48 meses em atmosfera industrial de Cubatão, S.P.. Estes aços foram jateados com granalha de aço (padrão Sa 3) e pintados com duas demãos de tinta epóxic (300µm de espessura); após a secagem, foi feito o entalhe na tinta e subsequente exposição atmosférica.

Podemos observar que o aço carbono comum produziu um grande volume de produtos de corrosão e danificou a pintura. Já o aço patinável, no mesmo período, produziu menor volume. A tinta está íntegra e continua a oferecer proteção contra a corrosão. O aço é protegido pela tinta e, mesmo quando alcançado pelo oxigênio e água atmosféricos (por difusão), acaba por



produzir um volume de óxidos consideravelmente menor do que o gerado sobre o aço carbono, e que não chega a destruir a película. Por esse motivo, mesmo formando óxidos, a durabilidade da proteção é maior do que no caso do aço carbono. A corrosão no aço patinável ficou circunscrita à região dos cortes.

CONDIÇÕES PARA A FORMAÇÃO DA PÁTINA PROTETORA

Conforme dito anteriormente, a formação da pátina protetora é função de vários fatores tais como os parâmetros climáticos e níveis de poluição do local onde a estrutura está exposta, do grau de abrigo de uma dado componente estrutural e da própria composição química do aço. De modo geral, a velocidade de corrosão dos aços patináveis é estabilizada na maior parte das atmosferas após três ou quatro anos de exposição.

Uma condição importante para a formação da pátina protetora é a existência de períodos de umedecimento e secagem alternados. Em áreas abrigadas da chuva, a pátina marrom escura avermelhada não é normalmente obtida e a superfície metálica fica recoberta por uma camada de ferrugem de coloração marrom amarelada que, menos protetora do que a pátina bem formada, mas mais compacta e aderente do que aquela formada sobre o aço carbono comum na mesma condição. Quando mencionamos os aços carbono, referimo-nos aos aços carbono estruturais de alta resistência (por exemplo, o ASTM A572) equivalentes aos aços patináveis em resistência mecânica, usados para a mesma finalidade

Em exposições internas (tais como aquelas existentes no interior de uma edificação), nenhuma diferença sistemática tem sido observada entre os aços patináveis e os aços carbono estruturais comuns. As baixas velocidades de corrosão observadas em ensaios comparativos entre aços patináveis e aços estruturais comuns são devidas primordialmente à baixa corrosividade do meio e não devido à composição química diferenciada do aço. Em áreas rurais a velocidade de corrosão também é normalmente pequena tanto para os aços

carbono estruturais quanto para os aços patináveis e o período de tempo necessário para o desenvolvimento de uma pátina protetora e de boa aparência pode ser muito longo.

Em áreas urbanas onde os teores de dióxido de enxofre não excedem cerca de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, os aços patináveis apresentam, muitas vezes, velocidades de corrosão estabilizadas em valores muito próximas daquelas observadas para estes aços quando expostos em atmosferas rurais. Nesta condição, os aços carbono estruturais apresentam velocidades de corrosão significativamente maiores do que aquela observada para os aços patináveis. Em áreas industriais mais poluídas com os óxidos de enxofre (isto é, em regiões contendo mais do que 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), podemos observar velocidades de corrosão significativamente maiores para os aços patináveis, indicando que a película formada já não mais é protetora. Embora a superfície possa ter uma aparência agradável, marrom escura, de aparência semelhante àquela formada sobre o aço patinável, ela pode não ser considerada uma pátina verdadeira, pois não isola de modo eficiente o metal do meio.

Segundo GULLMAN et al. (1985), atmosferas marinhas são consideradas críticas para o desenvolvimento de boas pátinas protetoras. A pátina não é plenamente desenvolvida em ambientes marinhos agressivos, onde a velocidade de corrosão pode ser bastante alta. Isto é especialmente válido quando a estrutura se encontra próxima da praia e também para superfícies abrigadas da chuva, onde o acúmulo de cloretos (que nunca são lavados pela chuva) acaba promovendo um grande ataque. A experiência prática sueca mostra que, a partir de 1 km da praia, a deposição de cloretos já não afeta de modo significativo a formação da pátina. Esta condição tem sido verificada no Brasil pelo autor.

Sob condições de longos tempos de umedecimento (ou umedecimento permanente), como na exposição ao solo ou à água, a velocidade de corrosão dos aços patináveis é aproximadamente a mesma daquela encontrada para o aço carbono estrutural.

Como regra geral, aços patináveis tem sido utilizados em seu estado natural, isto é, sem pintura, em ambientes que propiciem o aparecimento da pátina protetora. Exceções acontecem quando, por motivos estéticos, o aço deva apresentar certa coloração desejada ou nas condições em que o aço não pode desenvolver a pátina, como já visto anteriormente.

Em resumo, podemos afirmar que em situações onde a formação da pátina não é adequada, exigindo o uso de sistemas de proteção (p.ex., a pintura), os aços patináveis e os aços carbono tornam-se praticamente equivalentes na sua aplicação.

BIBLIOGRAFIA

- Buck, D.M.. "Copper in Steel – The Influence on Corrosion". Annual Meeting of the American Chemical Society, Milwaukee, (1913).
- Buck, D.M.. "Proc. Am. Soc. Test. Mater., 19, 224 (1919).
- CETESB. "Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2001". Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2002).
- CORUS Construction Centre. "Weathering Steel Bridges" .Publicação Corus (2001).
- Gullman, J. et al.. "Corrosion Resistance of Weathering Steels – Typical Cases of Damage in Building Context and Their Prevention", Bull. 94, Swedish Corrosion Institute, Stockholm, (1985).
- Gnecco, C.. "A Pintura do Aço Patinável". Publicação da Sherwin-Williams do Brasil – Divisão Sumaré (2001).
- Miranda, L.R.. Rapp. Tech. CEBELCOR, RT 221, v.125 (1974).
- Pannoni, F.D. e Marcondes, L.. "COS-AR-COR – Aços de Alta Resistência Mecânica Resistentes à Corrosão Atmosférica". Relatório interno de número RT/17 da Coordenadoria de Pesquisa Tecnológica da COSIPA (1987).
- Pannoni, F.D. e Wolyneq, S. "Ellipsometric Investigation of Room Temperature Oxide Films Formed on a Carbon and a Weathering Steel". Proceedings 11th International Corrosion Congress, Florence, Italy, vol. 5, p.5.67 (1990).
- Pannoni, F.D. e Wolyneq, S.. "A Ferrugem que Protege". Ciência Hoje (Revista de divulgação científica da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC), vol.10, no.57 p.54-59 (1989).
- Pannoni, F.D. e Marcondes, L.. "Efeito da Composição Química da Liga Sobre o Comportamento Frente à Corrosão Atmosférica de Aços Determinado Pela Análise Estatística do Dados Publicados". Anais do 16^o Congresso Brasileiro de Corrosão da ABRACO, p.67-83 (1991).
- Pannoni, F.D. et al.. "Investigação da Corrosão de um Aço Carbono e de um Aço Patinável Submetidos à Diferentes Condições Ambientais". Anais do 48^o Congresso Anual da ABM, p.135-154 (1993).
- Pannoni, F.D.. "São Francisco Citrus/Adutora Principal/Projeto de Irrigação do Platô de Neópolis: AVALIAÇÃO DAS ATUAIS CONDIÇÕES DA TUBULAÇÃO". Relatório enviado à Alvenius Equipamentos Tubulares (2001).
- Pannoni, F.D.. "Efeito do Cobre, do Fósforo, do Níquel e do Molibdênio Sobre a Resistência à Corrosão Atmosférica de Aços Carbono". Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Metalurgia e Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2002).
- Roosendaal, S.J.. "Passivation Mechanisms in the Initial Oxidation of Iron by Oxygen and Water Vapour". Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Física da Universidade de Utrecht (1999).