



# DESEMPENHO À CORROSÃO ATMOSFÉRICA DOS AÇOS PATINÁVEIS COM BAIXO COBRE DA USIMINAS<sup>1</sup>

Adão Vieira de Faria<sup>2</sup>  
Geralda Cristina Durães de Godoy<sup>3</sup>  
Mônica M. A. M. Schwartzman<sup>4</sup>  
José Geraldo de Sousa<sup>5</sup>  
Rogério Augusto Carneiro<sup>6</sup>

## Resumo

Foi realizada uma avaliação comparativa do desempenho quanto à corrosão atmosférica do novo aço patinável da Usiminas denominado USI-SAC-300 que tem teor de cobre mais baixo do que o tradicional aço patinável USI-SAC-41. Amostras desses aços laminados a quente foram expostas por até três anos em atmosferas marinha e industrial. Após a realização do ensaio não acelerado de corrosão atmosférica, os 2 tipos de aço foram avaliados em laboratório através da técnica de Polarização Anódica Potenciodinâmica e da medida de espessura (profundidade corroída) utilizando a técnica de Perfilometria. Os resultados das avaliações permitiram concluir que o novo aço da Usiminas, o USI-SAC-300, com teor de cobre mais baixo, apresenta melhor desempenho frente à corrosão atmosférica do que o aço USI-SAC-41.

**Palavras-chave:** Aço patinável; Corrosão atmosférica.

## PERFORMANCE OF THE USIMINAS ATMOSPHERIC CORROSION RESISTANT STEEL WITH LOW COPPER CONTENT

### Abstract

A comparative evaluation of the atmospheric corrosion resistance of the new weathering steel USI-SAC-300, with low Cu addition, as compared with the traditional Usiminas USI-SAC-41 was carried out in marine and industrial environments. After exposure for up to 3 years the hot rolled samples of both steels were evaluated in laboratory carrying out anodic potentiodynamic curves and profilometry measurements. Laboratory evaluations results allowed to conclude that the new weathering steel USI-SAC-300 show better corrosion resistance than the traditional USI-SAC-41 steel.

**Key-words:** Weathering steel; Atmospheric corrosion resistance.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, M.Sc., CQE/CQA, Assistência Técnica da Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>3</sup> Membro da ABM, Engenheira Metalurgista, Dra., Professora do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG; Belo Horizonte, MG.

<sup>4</sup> Engenheira Química, Dra., Pesquisadora do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN; Belo Horizonte, Minas Gerais.

<sup>5</sup> Membro da ABM, Engenheiro Químico, M.Sc., Assistência Técnica da Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>6</sup> Membro da ABM, Engenheiro Químico, M.Sc., Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.

## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação do aço na construção civil é bastante difundida em países desenvolvidos por suas vantagens sobre o concreto, como, por exemplo, maior versatilidade, menor prazo para conclusão da obra, vãos livres maiores, melhor organização do canteiro de obras e mais soluções arquitetônicas.

Na Inglaterra as obras metálicas em aço já se equiparam, em volume, às de concreto, com um consumo de aço em torno de 15 kg/ano/hab; enquanto no Japão a aplicação do aço é ainda maior, atingindo 30 kg/ano/hab. No Brasil o consumo de aço na construção civil ainda encontra-se abaixo de 2 kg/ano/hab.<sup>(1,2)</sup>

A corrosão é um dos maiores problemas que ocorre com os aços carbono tradicionais. Dentre as medidas para a prevenção da corrosão, estão o emprego de revestimentos metálicos e/ou aplicação de pintura. A utilização de aços carbono resistentes à corrosão atmosférica, conhecidos como aços patináveis ou aclimáveis (*weathering steels*), é também uma forma de melhorar o desempenho das obras metálicas em aço através da redução da taxa de corrosão e da otimização do desempenho dos revestimentos metálicos e de pintura.

Os aços patináveis apresentam boa resistência à corrosão atmosférica devido à adição de elementos de liga, tais como cobre, cromo, níquel, silício e fósforo.<sup>(1)</sup> O cobre, mesmo em teor de 0,03%, tem um efeito significativo na redução da taxa de corrosão atmosférica dos aços carbono. O mecanismo da ação do cobre na resistência à corrosão atmosférica de chapas de aço fosfatizadas e pintadas é de natureza eletroquímica e se deve à ação conjunta da menor taxa de corrosão do aço e da melhor característica protetora da camada de óxido formada.<sup>(3)</sup>

O fósforo adicionado ao aço em conjunto com o cobre melhora as suas propriedades de resistência à corrosão. Na prática, teores de fósforo de 0,06% parecem melhorar de uma maneira considerável a resistência à corrosão sem afetar as propriedades mecânicas do material, porém teores acima de 0,1% afetam as propriedades mecânicas<sup>(1)</sup>. O silício, que sozinho tem um pequeno efeito na resistência à corrosão dos aços, pode ser bastante benéfico quando adicionado juntamente com o cobre, cromo e fósforo, fato confirmado pelas equações que definem o índice de corrosão descrito da norma ASTM G 101.<sup>(4)</sup>

Uma atualização permanente, buscando em especial agregar mais valor ao aço, é uma atividade constante da Usiminas e também de outras empresas siderúrgicas em todo mundo. Os tradicionais aços aclimáveis USI-SAC-41 e USI-SAC-50 da Usiminas tem agora novas versões, USI-SAC-300 e USI-SAC-350, respectivamente.

Estas novas versões foram idealizadas não só para proporcionar resistência extra à corrosão atmosférica quando comparadas aos aços tradicionais, mas também com o objetivo de obter melhor desempenho durante sua fabricação. Embora os aços USI-SAC-300 e USI-SAC-350 contenham maiores teores de silício e fósforo e menores teores de carbono, cobre e cromo, a soldabilidade não é prejudicada.

Estes dois tipos de aço já foram avaliados após ensaio não-acelerado de corrosão em atmosferas marinha e industrial, através de teste de perda de massa e avaliação da camada de óxidos por difratometria de raios-X e por luz polarizada. Os resultados obtidos mostram que o novo aço USI-SAC-300 tem desempenho igual ou superior ao tradicional aço patinável USI-SAC-41.<sup>(5,6)</sup>

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho frente à corrosão atmosférica do tradicional aço patinável da Usiminas USI-SAC-41 e do novo aço USI-SAC-300, em atmosferas industrial e marinha. Após a realização dos ensaios não acelerados de corrosão atmosférica, os 2 tipos de aço foram avaliados através das técnicas de Polarização Anódica Potenciodinâmica e de Perfilometria para caracterizar a camada protetora de óxidos formada na superfície dos aços.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Composição Química

A composição química das amostras referentes aos aços USI-SAC-300 (SiP), USI-SAC-41 (CuCr) e carbono comum (CC) estão na Tabela 1.

**Tabela 1** - Composição química típica das amostras dos aços USI-SAC-300 (SiP) e USI-SAC-41 (CuCr) e carbono comum (CC)

Aço	Composição química (% em massa)					
	C	P	Si	Cu	Cr	Ni
<b>USI-SAC-300 (SiP)</b>	0,08	0,035	1,13	0,07	0,20	0,06
<b>USI-SAC-41 (CuCr)</b>	0,08	0,017	0,34	0,32	0,54	0,02
<b>Carbono Comum (CC)</b>	0,04	0,015	0,09	0,01	0,02	0,06

### 2.2 Ensaio não Acelerado de Corrosão

Os ensaios não acelerados de corrosão foram realizados nas estações de corrosão atmosférica da Usiminas localizadas em Arraial do Cabo-RJ (atmosfera marinha) e de Ipatinga-MG (atmosfera industrial). Os corpos-de-prova (CP's) ficaram expostos nestas duas estações por até três anos, no período compreendido entre dezembro de 2002 e dezembro de 2005.

A estação de corrosão atmosférica industrial fica na área interna da Usiminas, em Ipatinga, na latitude de 19°29'38"S, longitude de 42°33'12"O e a 47,0 m acima do nível da planta industrial e a estação de corrosão atmosférica marinha está localizada na latitude de 23°00'49"S e longitude de 42°00'56"O, a 48,7 m de altitude em relação ao nível do mar na ilha de Cabo Frio, em Arraial do Cabo.<sup>(7)</sup>

O tempo de superfície úmida calculado em horas/ano (h/a) de acordo com a Norma ISO 9223:1992<sup>(8)</sup> situou-se na faixa de 2.500 h/a a 5.500 h/a. Tomando como referência os dados para o aço carbono comum, a corrosividade da estação de corrosão atmosférica industrial, foi classificada como média (C3) enquanto a da atmosfera marinha foi classificada como muito alta (C5).<sup>(7)</sup>

Os CP's dos aços SiP, CuCr e CC com dimensões de 100 mm x 150 mm e espessuras nominais de 4,90 mm, 3,16 mm e 4,90 mm respectivamente foram preparados a partir de bobinas laminadas a quente. A exposição dos CP's nas estações de corrosão atmosféricas foi feita de acordo com a norma NBR6209:1986.<sup>(9)</sup>

### 2.3 Perfilometria

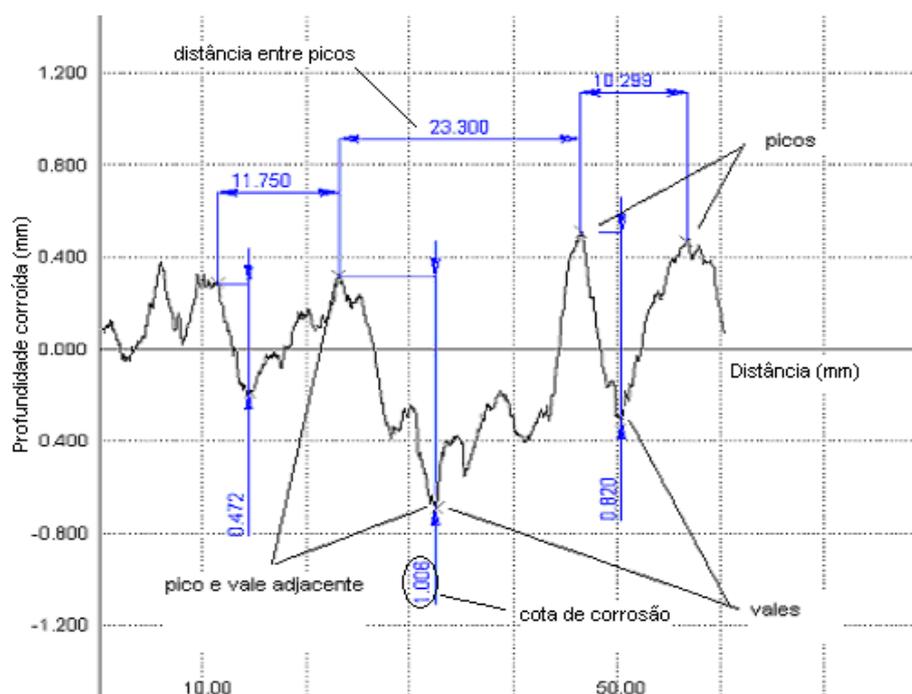
Utilizou-se o perfilômetro T4000 da HOMMEL WERKE, do Laboratório de Recobrimentos Tribológicos do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG. Por meio do apalpador PM 2000 foram realizadas 8.000 medições ao longo de 100 mm de comprimento, ou seja, com um



espaçamento entre cada medida de 0,0125 mm e com a velocidade de medição de 1 mm/s.

Os CP's denominados sem corrosão (SC) não foram expostos nas estações de corrosão e serviram como referência para medição da profundidade corroída dos CP's dos três aços. Os CP's após 2 anos de exposição nas estações de Arraial do Cabo (atmosfera marinha) e Ipatinga (atmosfera industrial) foram limpos mecanicamente com escova e espátula para retirar os produtos de corrosão não-aderentes. A seguir os CP's foram submetidos a limpeza química conforme NBR 6210<sup>(10)</sup> para retirar os produtos de corrosão aderentes. Depois de lavados e escovados com escova de pelo macio, em água corrente, foram mergulhados em acetona e secados com ar limpo antes de serem avaliados no perfilômetro.

Os CP's foram avaliados no perfilômetro, obtendo-se diagramas da profundidade corroída versus distância ao longo de 90 mm em linha reta sobre as faces superior (FS) e inferior (FI) de cada CP dos aços SiP, CuCr e CC, nas condições sem corrosão e após 2 anos de ensaio não acelerado de corrosão nas estações de Arraial do Cabo e Ipatinga. Os diagramas que descrevem, para cada varredura do perfilômetro, a profundidade corroída versus distância ao longo do corpo-de-prova e as cotas de corrosão (distância entre picos e vales adjacentes a profundidade corroída), como representadas na Figura 1, foram obtidos através do software Turbo Contour da UFMG.



**Figura 1** - Diagrama da profundidade corroída (mm) versus distância (mm) e de cotas de corrosão para cada varredura do perfilômetro ao longo de 100 mm de cada corpo-de-prova, obtido através do software Turbo Contour.

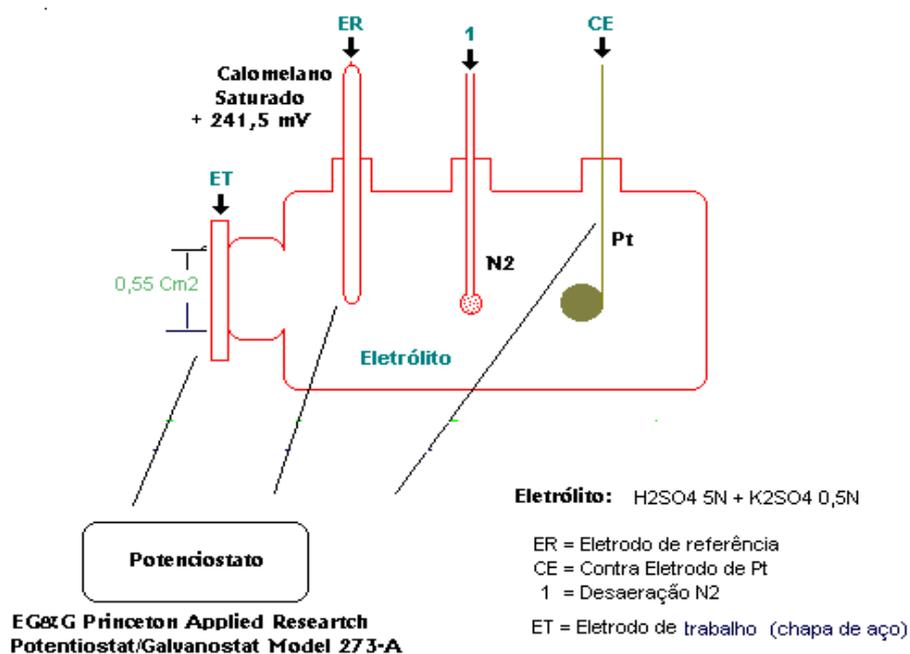
Em cada diagrama foram tomadas aleatoriamente até seis cotas máximas de corrosão, a cada 10 mm de varredura do perfilômetro. O número de cotas tomadas variou com o grau de corrosão do CP ensaiado.

## 2.4 Polarização Anódica Potenciodinâmica

A preparação das amostras para o teste de polarização constou de lixamento e polimento com pasta de diamante, seguindo-se desengraxamento com acetona.<sup>(5)</sup> A área útil após a montagem no suporte da célula eletroquímica, foi de 0,55 cm<sup>2</sup>.

A célula eletroquímica (Figura 2), é constituída pela amostra como eletrodo de trabalho (ET), pelo eletrodo de referência de calomelano saturado (ER), cujo potencial é +241,5 mV.<sup>(11)</sup> com referência ao eletrodo normal de hidrogênio e pelo contra-eletrodo de platina (CE).

Na obtenção da curva de polarização anódica potenciodinâmica, a solução foi desaerada com nitrogênio puro com a finalidade de eliminar o oxigênio do eletrólito.



**Figura 2** - Célula eletroquímica utilizada no estudo.

A temperatura da solução foi mantida em 25°C +/- 1°C durante a obtenção das curvas de polarização. Antes de iniciar os testes (aplicação do potencial externo), deixou-se estabilizar o potencial de corrosão ou de circuito aberto ( $E_{corr}$ ) das amostras.

Para a estabilização do  $E_{corr}$  o eletrodo de trabalho foi mergulhado na solução durante 1 hora, conforme recomenda a Norma ASTM G5-94.<sup>(12)</sup> Durante este procedimento foi obtida a curva de estabilização do  $E_{corr}$  de cada aço em função do tempo.

Em seguida, iniciou-se a polarização anódica com velocidade de varredura de 1 mV/s,<sup>(5)</sup> utilizando o Potenciostato/galvanostato, modelo 273, *EG&G Princeton Applied Research*, do Laboratório do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Perfilometria

Foram obtidos diagramas de profundidade corroída x distância (perfil de corrosão), dos quais foram extraídos valores médios estimados das cotas de corrosão de cada corpo-de-prova, sendo um diagrama para cada combinação tipo de aço (SiP, CuCr e CC), condição de corrosão (com e sem corrosão) e local de ensaio (atmosfera industrial ou marinha).

Para os aços SiP e CuCr foram realizadas quatro varreduras no perfilômetro, duas em cada face de cada corpo-de-prova, sendo um corpo-de-prova exposto em atmosfera industrial e outro em atmosfera marinha, e três varreduras no corpo-de-prova para a condição sem corrosão. Para o aço CC foi realizada somente uma varredura por corpo-de-prova de cada uma das três condições de corrosão (sem corrosão, exposição em atmosfera industrial e em atmosfera marinha), totalizando 25 varreduras.

Para as cotas de corrosão de cada um dos aços avaliados e para cada varredura foram obtidos histogramas de distribuição normal e também a Curva de Probabilidade Normal. Foi adotada a distribuição normal com base nos estudos de Melcher<sup>(13,14)</sup> que propõe haver um alto grau de dependência entre as maiores profundidades corroídas de uma dada superfície.

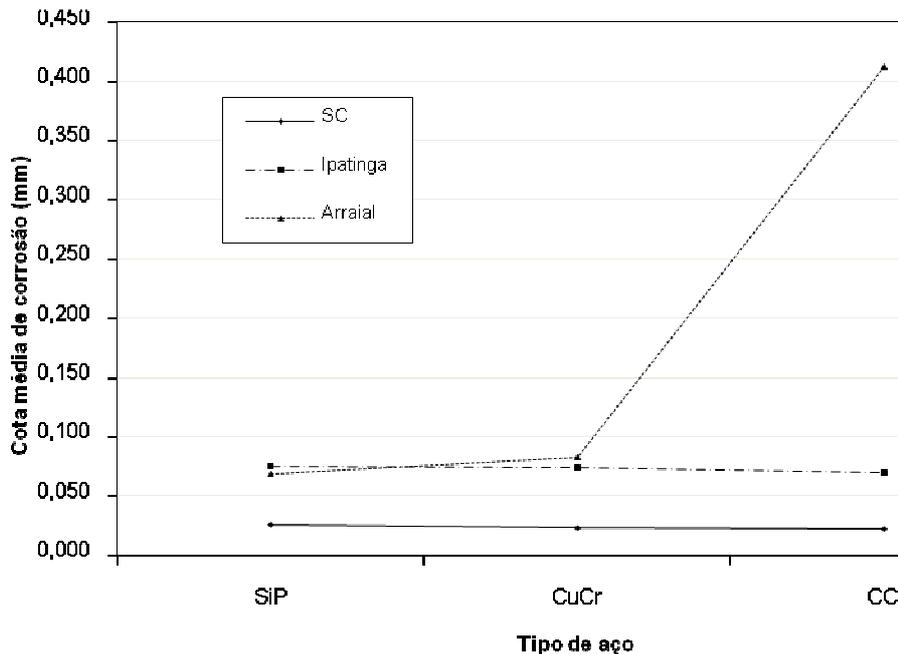
As curvas de Probabilidade Normal das cotas de corrosão de cada varredura e de todas as varreduras de um mesmo CP apresentaram, para mais da metade das curvas, baixa adequação com a distribuição do tipo normal.<sup>(1)</sup> Isto pode ser explicado pelo pequeno tamanho da amostra de cotas de corrosão por corpo-de-prova, em especial para o aço CC, ou a curva de distribuição de probabilidade ser a Gumble,<sup>(13,14)</sup> Bi-modal,<sup>(13,14)</sup> ou mesmo outra.

Para determinar se a amostra das cotas de corrosão de cada varredura foi extraída de uma população normal foi usada a estatística *standardized-Skewness* (SS) do *software* Statgraphics. Valores desta estatística dentro da faixa de -2 a +2 indicam possibilidade da amostra pertencer a uma população com distribuição normal. Valores fora desta faixa indicam possibilidade da amostra não pertencer a uma população com distribuição normal e neste caso não é seguro realizar testes que levam em consideração o desvio padrão.

As cotas médias de corrosão dos três aços mantêm-se praticamente invariantes para o ensaio em corpos-de-prova na condição sem corrosão (Figura 3). Estes resultados mostram que os valores obtidos para as cotas de corrosão dos corpos-de-prova de cada aço, expostos em atmosfera industrial e marinha por 2 anos, estão acrescidos do valor da cota de corrosão de cada aço na condição sem corrosão. Para facilidade de análise consideraremos os valores de cota de corrosão de cada corpo-de-prova sem descontar a cota de corrosão da condição sem corrosão.

Quando comparadas as cotas de corrosão dos aços SiP, CuCr e CC nas atmosferas marinha e industrial (Figura 3), pode-se observar que os aços SiP e CuCr apresentam o mesmo desempenho contra a corrosão, ou seja, valores de cota de corrosão próximos, tanto em atmosfera marinha como em atmosfera industrial. Por outro lado, em atmosfera marinha o aço CC mostrou pior desempenho ou seja maiores valores de cota de corrosão do que a dos aços SiP e CuCr, mas em atmosfera industrial os três aços apresentam desempenhos idênticos. Não foram observadas diferenças entre as médias das cotas de corrosão para as atmosferas

marinha e industrial dos aços SiP e CuCr no teste de igualdade com 95% de confiança.



**Figura 3** - Cota média de corrosão de cada combinação entre tipo de aço (SiP, CuCr e CC), condição de corrosão (com e sem corrosão) e ensaio (atmosfera industrial e marinha), após dois anos de exposição.

As correlações da estatística SS, usadas para testar a adequação das cotas de corrosão de cada corpo-de-prova com a distribuição normal em cada condição de ensaio, mostram que, para atmosfera marinha, que é a mais agressiva e com maiores valores de cota de corrosão, os aços CuCr e CC apresentaram maior probabilidade de distribuição do tipo normal ou seja os valores de SS estão no intervalo (-2 a +2) ou próximo dele (Figura 4). Por outro lado o aço SiP exposto por 2 anos em atmosfera marinha é o que apresenta valores da estatística SS mais distantes do intervalo (-2 a +2), portanto com menor probabilidade de apresentar distribuição do tipo normal para os valores de cotas de corrosão quando comparado com os aços CuCr e CC. Esta observação apresenta boa adequação com os conceitos de Melcher<sup>(13,14)</sup> onde os *extreme pit depths* meta-estáveis têm maior probabilidade de pertencerem a populações que apresentam distribuição do tipo Gumble ou não normal, enquanto os valores dos *extreme pit depths* super-estáveis tem maior probabilidade de pertencerem a populações que apresentam distribuição do tipo Normal.

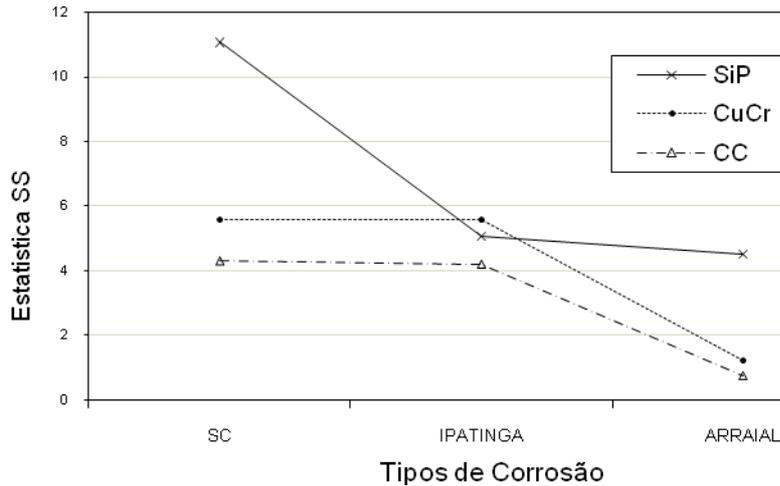


Figura 4 – Estatística SS de probabilidade normal da distribuição das cotas de corrosão para os aços SiP, CuCr e CC, sem corrosão, atmosferas marinha e industrial.

### 3.2 Curva Anódica Potenciodinâmica

As curvas anódicas potenciodinâmicas obtidas para os aços SiP, CuCr e CC estão na Figura 5. Na Tabela 2 são mostrados os valores do potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ), do potencial crítico ( $E_{cr}$ ), da densidade de corrente crítica ( $i_{cr}$ ) e também do potencial e da densidade de corrente das regiões de passivação ( $E_{pass}$  e  $i_{pass}$ ) e transpassivação ( $E_{tpass}$  e  $i_{tpass}$ ) de cada um desses aços, extraídos dos dados contidos em suas respectivas curvas.

Pode ser observado que o aço SiP tem a menor diferença ( $E_{cr} - E_{corr}$ ) e menor densidade de corrente crítica  $i_{cr}$  em solução desaeerada, o que sugere que este aço tem uma maior tendência a se passivar que os outros dois e que também se passivará mais rapidamente.

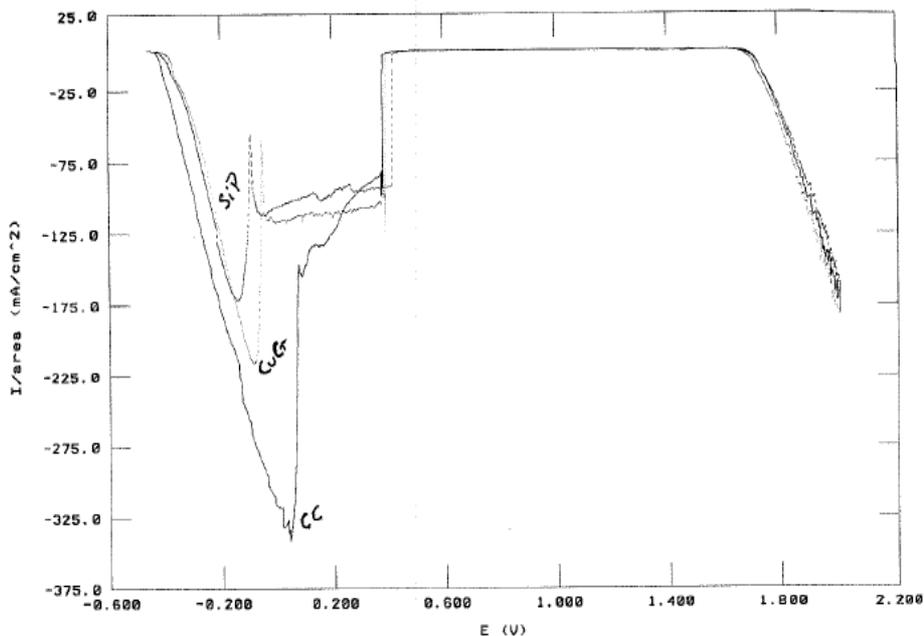
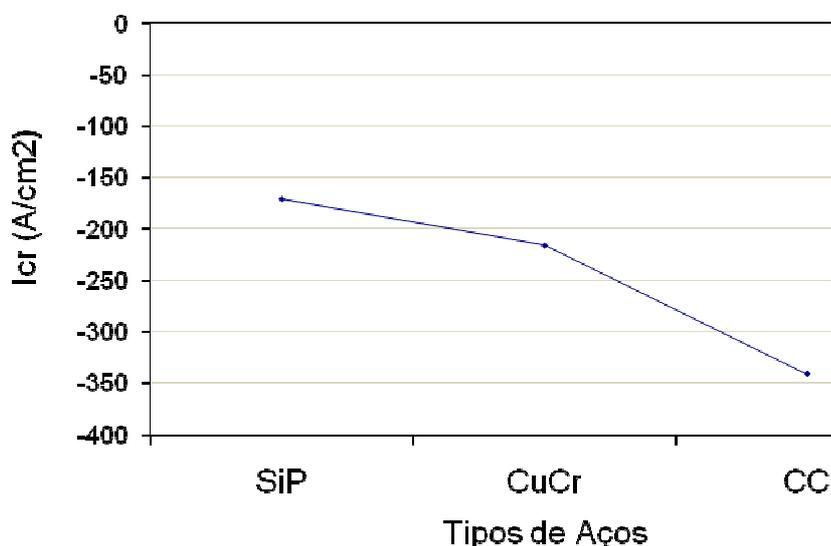


Figura 5 - Curva Anódica Potenciodinâmica para o aços SiP, CuCr e CC. Polarização anódica com velocidade de varredura de 1 m V/s.<sup>(5)</sup>

**Tabela 2** - Dados das curvas anódicas potenciodinâmicas para os aços SiP, CuCr e CC

Aço	$E_{corr}$ (mV)	$E_{cr}$ (mV)	$i_{cr}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$E_{cr} - E_{corr}$ (mV)	$E_{pass}$ (mV)	$i_{pass}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$E_{tpass}$ (mV)	$i_{tpass}$ (mA/cm <sup>2</sup> )
SiP	-425,0	-131,0	-169,3	294,0	-90	-55,3	1707	4,873
CuCr	-460,0	-82,0	-215,0	378,0	-50	-59,8	1687	3,818
CC	-430,0	50,0	-327,1	480,0	82	-150,2	1712	4,764

A menor densidade de corrente na região de passivação  $i_{pass}$  é do aço SiP o que indica o seu maior grau de passivação em relação aos outros dois, figura 6. O potencial da região de transpassivação pode ser considerado o mesmo para os três aços (1.700 mV), o que dificulta avaliar a estabilidade do filme passivado (Tabela 2 e Figura 6). Por outro lado, os maiores valores de densidade de  $i_{cr}$  e de  $i_{pass}$  foram apresentados pelo aço CC, indicando o pior desempenho desse aço. Já os resultados obtidos pelo aço CuCr foram intermediários, porém bem mais próximos daqueles do SiP, sugerindo que esses dois aços possuem desempenho similares (Figura 6).



**Figura 6** - Densidade de corrente crítica ( $i_{cr}$ ) para cada tipo de aço SiP, CuCr e CC obtidos das curvas anódicas potenciodinâmicas de cada aço.

Os resultados de todos os testes realizados neste trabalho e resumidos na tabela 3 mostram que o novo aço da Usiminas, USI SAC 300 (SiP), com baixo teor de cobre, na faixa de 0,08% a 0,12%, apresenta melhor desempenho contra a corrosão que o aço, USI SAC 41 (CuCr), com teor de cobre na faixa de 0,25% a 0,35%.

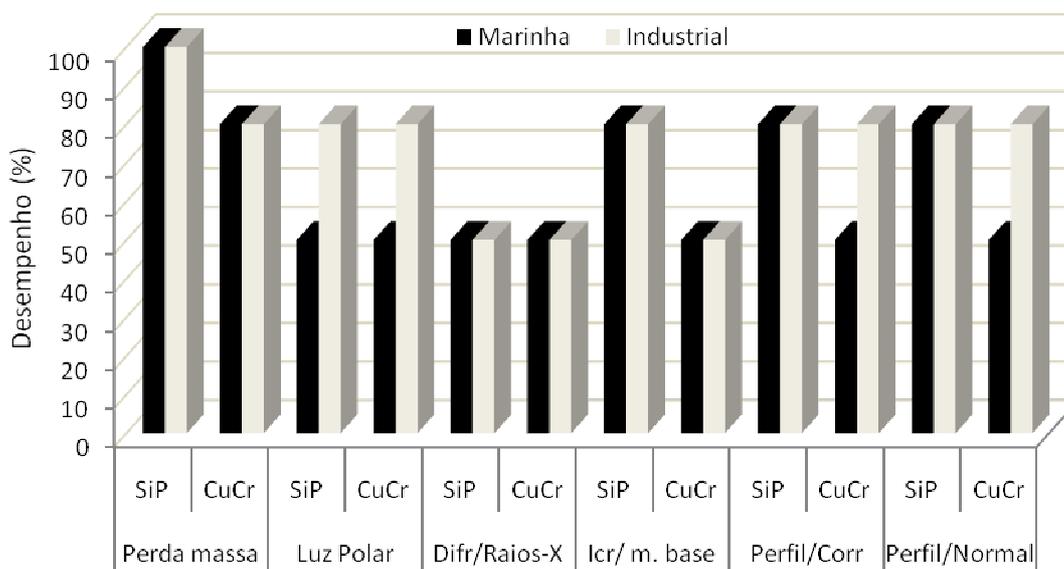


**Tabela 3** – Comparação do desempenho relativo contra a corrosão dos três aços, SiP, CuCr e CC, nos três testes realizados

Tipo Teste	Tipo Aço	Desempenho <sup>(1)</sup>	
		Atmosfera Marinha	Atmosfera Industrial
Polarização Anódica Potenciodinâmica <sup>(2)</sup>	SiP	■	■
	CuCr	▲	▲
	CC	○	○
Perfilometria – Cotas de corrosão	SiP	■	■
	CuCr	▲	■
	CC	○	■
Perfilometria – Adequação com a normal	SiP	■	■
	CuCr	▲	■
	CC	○	■

(1) ○ inferior; ▲ Médio; ■ melhor; (2) amostra lixada.

O aço USI-SAC-300 (SiP) apresentou, em todos os testes propostos e realizados, desempenho melhor ou igual em relação ao aço USI-SAC-41 (CuCr), confirmando o que já foi observado também para os testes de Perda de massa, Luz Polarizada e Difração de Raios-X, realizados em outro estudo<sup>(6)</sup>. A figura 7 compara o desempenho relativo contra corrosão atmosférica destes aços para todos estes testes, anteriores e atuais.



**Figura 7** – Comparação do desempenho relativo contra a corrosão dos três aços, SiP, CuCr e CC nos cinco testes realizados, Perda de Massa, Luz Polarizada, Difração de Raios-X, Potencial de Corrosão e Perfilometria/cotas de corrosão e Perfilometria/Adequação com a normal.

O ensaio de perfilometria e o tratamento estatístico dos dados do perfil da corrosão são importantes métodos para avaliação do desempenho dos aços quanto a corrosão.

A curva potenciodinâmica é um ensaio eletroquímico que pode fornecer importantes informações na avaliação do comportamento dos aços frente a corrosão atmosférica.

## 4 CONCLUSÃO

Em todos ensaios realizados o aço patinável da Usiminas com baixo teor de cobre, na faixa de 0,08% a 0,12%, apresenta melhor ou igual desempenho contra a corrosão que o aço, USI SAC 41, com teor de cobre na faixa de 0,25% a 0,35%.

## REFERÊNCIAS

- 1 FARIA, V. A. - Avaliação do Desempenho Frente à corrosão Atmosférica dos Aços USI-SAC-41 e USI-SAC-300 em Atmosferas Industrial e Marinha. Dissertação de Mestrado Universidade federal de Minas Gerais, Março/2007.
- 2 WEATHERING steel for bridges: High-performance steel offers excellent LCC merits. In: Steel Construction today Tomorrow, n. 9, P. 15-16, december. 2004.
- 3 MIRANDA, F. J. F., SOUSA, J. G., PINTO, J. A. Q. - Mecanismo da ação do cobre na melhoria da resistência à corrosão de chapas de aço revestidas – Anais do XXXIX Congresso Anual da ABM, 39, Belo Horizonte, MG, p.419-434, (1984).
- 4 ASTM G 101 - *Standard Guide for Estimating the Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels* AMERICAN STANDARDS FOR TESTING MATERIALS, Vol. 03.02, (2004).
- 5 MIRANDA, L. R. – *Les Aspects Electrochimiques de la Corrosion Atmosphérique des Aciers Patinables*, CEBELCOR, RT. 221, vol. 125, (1974).
- 6 FARIA, A.V.; et al. Desempenho dos aços da Usiminas resistentes à corrosão atmosférica expostos em ambientes industrial e marinho. In: ABM. SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 44, 2007, Campos do Jordão. Anais. São Paulo: Tec Art Editora. p. 342-352, 2007. cd-rom.
- 7 ALVARENGA, E., BUONO, V. - Influência do Substrato Metálico na Resistência à Corrosão de Aços Eletro galvanizados Fosfatizados e Pintados (1995). Anais do LX Congresso Anual da ABM, 60, Belo Horizonte, MG, p. 038-046, (1984).
- 8 NORMA ISO 9223 - *Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of Atmospheres - Classification*. ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – (1992).
- 9 NBR6209 – Materiais Metálicos Não-revestidos Ensaio Não Acelerado de Corrosão Atmosférica. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, outubro, (1986).
- 10 NBR6210 – Preparo, Limpeza e Avaliação da Taxa de corrosão de Corpos-de-prova em ensaios de corrosão – Procedimento. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, maio, (1987).
- 11 VICENTE, G. – Corrosão, 4ª edição, pp. 17-18, (2003).
- 12 ASTM G5 94 – *Standard Reference Test method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements*, (2004).
- 13 MELCHERS, R. E., - *Statistical Characterization of Pitting Corrosion – Part 1: Data Analysis*. CORROSION, vol. 61, nº 7, pp.655-664, (2005).
- 14 MELCHERS, R. E., - *Statistical Characterization of Pitting Corrosion – Part 2: Probabilistic Modeling for Maximum Pit Depth*. CORROSION, vol. 61, nº 8, pp.766-777, (2005).