

CARACTERIZAÇÃO DE LOCAIS DE ARMAZENAMENTO DE UMA SIDERÚRGICA

Rafael Makoto Shirahige Sato

rafael.sato@gmail.com

Resumo. O presente trabalho teve por objetivo a caracterização de cinco ambientes de armazenamento de produtos acabados de uma siderúrgica que produz arames de aço-carbono em relação à corrosão atmosférica. Para alcançar o objetivo proposto, foi feita uma revisão bibliográfica sobre corrosão atmosférica com ênfase nos procedimentos e métodos normalizados de caracterização de atmosferas. Foi verificado que a classificação de ambientes pode ser feita segundo duas metodologias. A primeira classifica as atmosferas tomando como base os resultados do tempo de molhamento, da taxa de deposição de cloreto e a taxa de sulfatação. A mesma classificação pode ser feita tendo como base a taxa de corrosão do metal de interesse, que no presente trabalho foi o aço-carbono. Com base nesta revisão, foram programados e realizados os ensaios e com os resultados obtidos foi possível classificar as cinco atmosferas em estudo. Verificou-se que duas das atmosferas são mais adequadas para o armazenamento de produtos acabados, pois apresentaram menor corrosividade das demais

Palavras chave: corrosão, aço-carbono, indústria siderúrgica

1. Introdução

Desde os primeiros tempos, o homem tem estado à procura de materiais de alta resistência e durabilidade para fins de aplicação estrutural. Inicialmente, esta procura concentrava-se, principalmente, em materiais que oferecessem como propriedade fundamental uma alta resistência mecânica. Por isto, a importância do aço-carbono foi flagrante em todos os setores. Entretanto, em paralelo com as excelentes características que levaram o aço-carbono a este destaque, existe o inconveniente deste material apresentar uma baixa resistência à corrosão: o aço-carbono exposto à maioria dos meios naturais é corroído perdendo suas propriedades essenciais rapidamente (MORAES, NOGUEIRA, 1969).

Com a produção siderúrgica em alta escala, problemas diversos surgem, dentro os quais não poderia deixar de ser citada a corrosão durante o armazenamento e transporte. Isto porque, para atender o mercado, as indústrias produzem cada vez mais e devido a uma falha na própria infra-estrutura e logística, o produto muitas vezes é armazenado em lugares inadequados acarretando a perda de lotes inteiros do produto.

A corrosão metálica é a transformação de um material metálico ou liga metálica pela sua interação química ou eletroquímica num determinado meio de exposição, processo que resulta na formação de produtos de corrosão e na liberação de energia.

Geralmente, a corrosão atmosférica metálica (por mecanismo eletroquímico) está associada à exposição do metal num meio capaz de determinar a formação de uma fina camada de água rica em oxigênio, contendo eventuais compostos presentes na atmosfera como contaminantes. Dependendo das condições de exposição, esta fina camada de água pode determinar a deterioração prematura de produtos armazenados. Isto requer a adoção de medidas de controle da corrosão durante o armazenamento e transporte de produtos siderúrgicos.

O objetivo deste trabalho foi a caracterização dos diversos ambientes de uma siderúrgica que produz arames de aço e com base nos resultados obtidos a seleção daqueles mais apropriados para serem destinados como local de armazenamento.

2. Pesquisa bibliográfica de metodologias de ensaio

Para este trabalho, foi decidido que o foco inicial seria a seleção dos locais a serem destinados para armazenamento dos produtos produzidos pela siderúrgica em estudo. Isto é justificado pelo fato que os ensaios realizados são ensaios de corrosão não-acelerados os quais são de longa duração. Tais ensaios consistem da exposição de corpos-de-prova de aço às condições atmosféricas do ambiente selecionado e determinação da taxa de corrosão do referido aço. Nestes ensaios, os materiais ficam sujeitos aos efeitos cíclicos do clima, às influências geográficas e aos poluentes atmosféricos, fatores que não podem ser reproduzidos realisticamente em laboratório. Assim, a agressividade do meio de ensaio é a natural e, portanto, a duração desses ensaios é normalmente longa.

Além da determinação da taxa de corrosão, os locais escolhidos foram caracterizados de acordo com sua taxa de sulfatação, taxa de deposição de cloretos e o nível de umidade relativa da atmosfera. Os instrumentos de medição foram preparados de acordo com as normas da ABNT.

Segundo as referidas normas, a classificação pode ser feita de duas maneiras:

- com base na umidade relativa, na taxa de sulfatação e na taxa de deposição de cloretos;
- com base nas taxas de corrosão do metal de interesse, que no presente trabalho é o aço-carbono.

3. Seleção dos locais das estações atmosféricas

Os locais que podem eventualmente ser destinados ao armazenamento da produção da siderúrgica escolhida apresentam características distintas. Atualmente, tais locais são utilizados para armazenar a produção sem nenhum critério em relação à corrosão. Isto decorre da falta de conhecimento das características de cada local. Nestes locais, os produtos finais são embalados ou são armazenados sem uma proteção adicional. Cabe mencionar, que em alguns

produtos, a siderúrgica adota embalagem hermética. No entanto, não controla ou seleciona as condições climáticas adequadas para efetuar a embalagem.

Foram escolhidos cinco locais diferentes, a saber:

Local 1: local utilizado para embalar e armazenar o produto final. Galpão fechado, com sistema de exaustão.

Local 2: local utilizado para embalar e armazenar o produto final. Local próximo a um portão de abertura para passagem de veículos e próximo a uma fonte geradora de cloretos.

Local 3: local utilizado para armazenar, próximo a uma fonte geradora de cloreto, de menor proporção do que a fonte próxima do local 2.

Local 4: local utilizado para embalar e armazenar. Apesar de ser um galpão, há muitas entradas de ar e a umidade do local é muito alta.

Local 5: local utilizado para embalar e armazenar. Local com alta umidade e que apresenta alta probabilidade de contaminação com altos teores de cloreto.

4. Classificação da Corrosividade de Ambientes de Exposição em Função do Tempo de Molhamento, da Taxa de Sulfatação e da Taxa de Deposição de Cloretos

Conforme foi citado, para uma adequada caracterização de uma atmosfera é necessária a determinação dos seguintes parâmetros:

- umidade relativa (usado para determinar o tempo de molhamento);
- taxa de deposição de cloretos.
- taxa de sulfatação.

4.1 Umidade Relativa – tempo de superfície úmida ou tempo de molhamento

A corrosão atmosférica é um processo intermitente: durante os períodos em que a superfície do metal permanece coberta de água (mesmo que a camada seja fina e invisível) a corrosão ocorre, cessando nos períodos em que a superfície metálica fica efetivamente seca. Por esta razão, a agressividade de um ambiente de exposição é medida pelo tempo de superfície úmida ou de molhamento. Este tempo pode ser determinado usando sensores que acusam quando a superfície metálica está molhada ou pela soma dos períodos de tempo em que a umidade relativa do ambiente de exposição fica com umidade relativa acima de 80 % (para temperaturas acima de 0 °C). Assim sendo, este parâmetro será determinado usando termo-higrômetros que registram a umidade relativa em função do tempo.

4.2 Teor de Cloretos

O método para determinar a taxa de deposição de cloretos baseia-se na instalação de uma vela coletora que fixa os cloretos, que consistiu em um cilindro envolvido com gaze cirúrgica e fixado a um frasco coletor por meio de uma rolha. O cilindro era constituído de material inerte como vidro ou polietileno, de aproximadamente 2,5 cm de diâmetro, sobre o qual foi enrolada uma camada dupla de gaze cirúrgica. A área da superfície da gaze exposta à atmosfera foi de aproximadamente 100 cm². A área real foi cuidadosamente determinada e expressa em metros quadrados. O cilindro foi introduzido numa rolha de borracha, ficando com uma altura de cerca de 15 cm acima desta. A rolha tinha dois tubos de vidro localizados o mais próximo possível do cilindro, pelos quais passavam as extremidades da gaze, que deviam atingir o fundo do frasco. Estes tubos tinham formato adequado para que o líquido que descia pela gaze fosse drenado, sem perda, para o frasco coletor.

O líquido que se encontrava no fundo do frasco foi uma solução de água glicerínada (continha 200 mL de glicerol diluído a 1000 mL e 20 gotas de ácido octanóico como fungicida).

As velas preparadas foram colocadas nos diferentes ambientes de exposição. Depois de 39 dias, as velas foram recolhidas sendo substituídas por uma nova. As velas recolhidas foram levadas para o laboratório onde foram feitas as titulações com solução de nitrato mercúrico 0,0125 M. Anotou-se o volume gasto de solução (A) para cada titulação.

Outra vela foi preparada para o ensaio em branco, guardando-a em local isento de cloreto. O ensaio em branco foi realizado utilizando o mesmo processo da vela recolhida, assim encontrando o volume gasto de solução (B).

Os resultados foram expressos em massa de cloreto por unidade de área e por unidade de tempo, especificando-se sempre o início e o término do ensaio e o local de exposição.

A taxa de deposição de cloretos foi determinada pela seguinte equação:

$$\text{Cloreto} \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \right) = \frac{2(A - B) \cdot M \cdot 35,5 \cdot V_T}{V_a \cdot S \cdot T} \quad (1)$$

Onde:

A é o volume gasto de solução-padrão de nitrato mercúrico com a alíquota, em milímetros;

B é o volume gasto de solução-padrão de nitrato de mercúrico com o branco, em milímetros;

M é a concentração de solução-padrão de nitrato mercúrico, em molaridade;

V_T é o volume total da amostra após a diluição, em milímetros;

V_s é o volume de alíquota em milímetros;

S é a área de gaze exposta em metros quadrados;

t é o tempo de exposição, em dias.

4.3 Taxa de Sulfatação

A taxa de sulfatação é a massa de compostos de enxofre fixada numa superfície reativa, expressa em miligramas de SO₃ em função da unidade de área e da unidade de tempo. Para a sua determinação foi utilizada uma vela coletora de dióxido de chumbo que foi instalada em cada um dos locais de armazenamento.

A vela coletora consiste em um cilindro envolvido com camadas de gaze cirúrgica, recoberta com uma pasta constituída de goma adragante e dióxido de chumbo, formando a superfície reativa. Esta vela foi colocada em um abrigo para proporcionar proteção contra agentes externos e assegurar a ventilação adequada. Este abrigo foi localizado a 1 m acima do solo e em posição mais alta que todos os obstáculos situados num raio de 3 m.

A amostra foi obtida através da oxidação ou fixação de compostos de enxofre, tais como SO₂, SO₃, H₂S e sulfatos, por uma superfície reativa de dióxido de chumbo (vela) num determinado período de tempo.

Depois de 39 dias, a vela foi recolhida sendo substituída por uma nova. A vela exposta foi então levada para o laboratório e a quantidade de enxofre fixada foi determinada por método gravimétrico após precipitação com sal de bário. Como resultado foi obtida a massa de sulfato de bário formada pelos compostos fixados na vela.

Outra vela foi preparada para o ensaio em branco, guardando-a em local isento de compostos de enxofre. Esta vela foi submetida ao mesmo processo de análise da vela exposta na estação atmosférica.

A taxa de sulfatação é expressa em massa de SO₃ por unidade de área e por unidade de tempo. Ela é calculada pela seguinte equação:

$$\text{Taxa de Sulfatação} \left(\frac{\text{mgSO}_3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \right) = \frac{A - B}{S \cdot t} \cdot 0,343 \quad (2)$$

Onde:

A é a massa de BaSO₄ obtida na vela exposta, em miligramas;

B é a massa de BaSO₄ obtida na vela em branco, em miligramas;

S é a área de gaze recoberta com a pasta de PbO₂, em metros quadrados;

t é o tempo de exposição, em dias.

Uma vez obtidas as três diferentes categorias relacionadas com o tempo de molhamento, a taxa de sulfatação e a taxa de deposição de cloretos, um ambiente pode então ser classificado em graus de corrosividade conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação em graus de corrosividade de um ambiente de exposição em função da categoria obtida pelo tempo de molhamento, taxa de sulfatação e taxa de deposição de cloretos.

Categoria de Corrosividade	Taxa de Corrosão		Tempo de superfície úmida calculado para UR > 80% e T > 0°C																			
	g/m².a	Estado Estacionário µm/a	t ₁ δ < 10 ambiente interno com controle climático				t ₂ 10 < δ < 250 ambiente externo sem controle climático, exceto em climas úmidos				t ₃ 250 < δ < 2500 ambiente externo em climas frios e secos, galpões ventilados em climas temperados				t ₄ 2500 < δ < 5500 ambiente externo em climas temperados, galpões não ventilados em climas úmidos				t ₅ δ > 5500 ambiente externo em climas úmidos, galpões não ventilados em climas úmidos			
			Salinidade																			
			Taxa de deposição de cloreto mg/(m².d)																			
			Poluição industrial pelo SO ₂																			
Concentração µg/m³		Taxa de deposição mg/m².d	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃				
			B < 3	3 < B < 60	60 < B < 300	300 < B < 1500	B < 3	3 < B < 60	60 < B < 300	300 < B < 1500	B < 3	3 < B < 60	60 < B < 300	300 < B < 1500	B < 3	3 < B < 60	60 < B < 300	300 < B < 1500				
A ₀ < 12	A ₀	A ₀ < 10	1	1	1 ou 2	1	2	3 ou 4	2 ou 3	3 ou 4	4	3	4	5	3 ou 4	5	5					
12 < A ₀ < 40	A ₁	10 < A ₀ < 35	1	1	1 ou 2	1 ou 2	3 ou 4	3 ou 4	3 ou 4	3 ou 4	4 ou 5	4	4	5	4 ou 5	5	5					
40 < A ₀ < 90	A ₂	35 < A ₀ < 80	1 ou 2	1 ou 2	2	2	3	4	4	4 ou 5	5	5	5	5	5	5	5					
90 < A ₀ < 250	A ₃	80 < A ₀ < 200	1 ou 2	1 ou 2	2	2	3	4	4	4 ou 5	5	5	5	5	5	5	5					

5. Classificação da corrosividade de ambientes de exposição em função do tempo taxa de corrosão do aço-carbono

Conforme já mencionado, a classificação de um ambiente de exposição pode ser feita, também, com base na taxa de corrosão do aço-carbono. Convém citar que as normas vigentes citam a taxa de corrosão de outros metais, como o zinco. No entanto, como no presente estudo, o metal de interesse é o aço-carbono, somente este metal foi considerado.

Para determinar a taxa de corrosão do aço-carbono, foram preparados, para cada estação, nove corpos-de-prova de aço-carbono, fornecidos pela indústria siderúrgica. Estes corpos-de-prova foram expostos nos diferentes locais

selecionados durante um tempo pré-determinado. Após este tempo, a perda de massa de cada um deles foi determinada e a partir dos valores encontrados foram obtidas as taxas de corrosão.

O preparo inicial dos corpos-de-prova consistiu das seguintes etapas:

- corte dos corpos-de-prova de comprimento de 100 mm e diâmetro de 4,00 mm;
- os corpos-de-prova foram dobrados para facilitar a suspensão dos mesmos nos locais de ensaio;
- identificação dos corpos-de-prova. Nesta etapa a identificação ainda não era fixada ao próprio corpo-de-prova, ela foi passada para uma etiqueta que permaneceu aderida a um saco plástico, o qual continha o corpo-de-prova;
- determinação das dimensões dos corpos-de-prova;
- determinação da área dos corpos-de-prova;
- desengraxe dos corpos-de-prova com acetona comercial;
- imersão dos corpos-de-prova em etanol comercial;
- secagem dos corpos-de-prova com ar quente;
- todos os corpos-de-prova tiveram sua massa inicial determinada. Esta foi obtida por meio da pesagem do corpo-de-prova em uma balança analítica.

A perda de massa dos corpos-de-prova nos diferentes ambientes de exposição foi obtida após 39 dias de exposição. Neste período, os corpos-de-prova foram retirados, levados ao laboratório para a determinação da sua massa final.

A determinação da massa final do corpo-de-prova, por sua vez, levou em consideração a solubilidade dos produtos de corrosão que se formaram sobre a superfície do mesmo. Se tais produtos fossem solúveis no meio em questão, uma simples lavagem do corpo-de-prova seria suficiente antes da pesagem. No entanto, os produtos de corrosão eram aderentes à superfície do corpo-de-prova, então os mesmos tiveram que ser retirados antes da pesagem. O procedimento adotado para a remoção dos produtos de corrosão foi feito com base nas normas ASTM G-1:1994 e NBR 6210:1982, estando descrito de maneira resumida a seguir:

- cada corpo-de-prova foi medido e pesado;
- o corpo-de-prova foi imerso por um minuto na solução de Clark (ácido clorídrico concentrado com inibidores – trióxido de antimônio e cloreto estanhoso);
- lavou-se o corpo-de-prova em um béquer com água;
- lavou-se o corpo-de-prova em um béquer com álcool;
- secou-se o corpo-de-prova com secador;
- pesou-se o corpo-de-prova novamente;
- repetiu-se o procedimento até que a massa do corpo-de-prova ficasse constante.

Para a determinação da massa final, os valores dos pares de pontos (tempo de decapagem, massa) foram locados num gráfico conforme ilustrado na Fig. 1 (ASTM G-1:1994, correspondente a NBR 6210:1982). Este procedimento leva a obtenção de duas retas: uma mais inclinada que corresponde à remoção dos produtos de corrosão e outra menos inclinada que corresponde ao ataque ao substrato. O ponto de interseção destas duas retas fornece o valor da massa final do corpo-de-prova.

Com os valores de massa inicial e massa final calculou-se a taxa de corrosão por meio da equação apresentada a seguir:

$$\boxed{\text{taxa de corrosão (g/(m}^2 \text{ a}))} = \frac{m_i - m_f}{At} \quad (3)$$

onde:

m_i é massa inicial em g;

m_f é massa final em g;

A é área do corpo-de-prova em m^2 ;

t é tempo de exposição em anos.

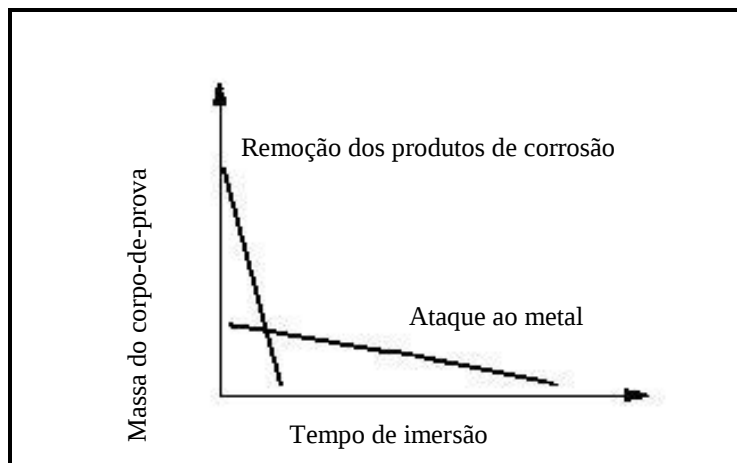


Fig. 1 - Perda de massa do corpo-de-prova x Tempo de imersão.

Paralelamente à determinação da perda de massa, os corpos-de-prova expostos nos diferentes locais de ensaio foram avaliados quanto à:

- **aspecto visual:** registro do aspecto visual geral dos corpos-de-prova, observado a olho desarmado, por ocasião das inspeções visuais, no que se refere à aparência (brilho, presença de manchas ou produtos de corrosão, sinais de retenção de água, etc.);
- **documentação fotográfica:** fotografias acompanhando o aspecto visual dos corpos-de-prova, ao longo do tempo de exposição. Estas se constituíram em um registro permanente do desempenho do material numa dada atmosfera.

6. Instalação das velas de cloreto e de compostas de enxofre

6.1. Vela úmida – Teor de Cloretos

Conforme já mencionado, a vela úmida consiste basicamente em um cilindro envolvido com gaze cirúrgica e fixado a um frasco coletor por meio de uma rolha. A solução que se encontra no interior do frasco é uma solução de água glicerinada (contém 200 mL de glicerol diluído a 1000 mL e 20 gotas de ácido octanóico como fungicida).

As velas úmidas a serem instaladas, nos diferentes ambientes da indústria em estudo, foram preparadas da seguinte maneira:

- primeiramente foram providenciados os seguintes materiais: um Erlenmeyer de 1 L, água destilada, água de glicerinada, ácido octanóico, gaze cirúrgica, cilindro de vidro e rolha;
- para a preparação da vela, propriamente dita, inicialmente utilizou-se a gaze cirúrgica para envolver o cilindro de vidro;
- depois do cilindro estar completamente envolto com a gaze, prendeu-se o mesmo na rolha destinada a fechar o Erlenmeyer;
- previamente, na rolha foram fixados dois pequenos tubos de vidro. Com a ajuda de uma pinça, as pontas da gaze foram introduzidas nos referidos tubos;
- utilizando um paquímetro, mediu-se o comprimento e o diâmetro da parte superficial do cilindro que está coberta com a gaze para calcular a área de contato da vela com a atmosfera. Este fator é importante para determinar a taxa de deposição de cloretos;
- em seguida, preparou-se a solução da vela, que consiste em uma solução de água glicerinada, com 200 mL de glicerol diluído a 1000 mL e adição de 20 gotas de ácido octanóico como fungicida;
- a solução pronta é colocada no Erlenmeyer de 1 L e, utilizando a rolha presa ao cilindro já com a gaze, fecha-se o recipiente;
- por fim, fixa-se a vela em um painel de exposição, confeccionado segundo recomendações de norma, no local escolhido para o ensaio.

6.2. Vela de Dióxido de Chumbo – Taxa de Sulfatação

A vela de dióxido de chumbo é semelhante à vela úmida. Conforme já descrito, ela consiste basicamente em um cilindro envolvido com camadas de gaze cirúrgica, recoberta com uma pasta constituída de goma adragante e dióxido de chumbo. Entretanto ela não apresenta nenhuma solução em seu interior. Seu preparo foi feito da seguinte maneira:

- primeiramente foram providenciados os seguintes materiais: aquecedor provida de agitador magnético, Erlenmeyer de 1 L, cilindros graduados, pincel, espátulas, tesoura, pinça, gaze cirúrgica, goma adragante em pó, dióxido de chumbo em pó, álcool etílico, água destilada;
- em seguida, preparou-se a pasta de goma adragante. Para isto, se dispersou 2 g de goma adragante em pó em 10 mL de álcool etílico (95%) e adicionou-se, com agitação, 190 mL de água quente. Agitou-se até que um gel claro e uniforme fosse obtido;

- depois, foi preparada a pasta reativa. Para tal, foi adicionada, em pequenas quantidades e com agitação contínua, 8 g de dióxido de chumbo a 8 mL de pasta de goma adragante;

depois de prontas as pastas, a vela foi montada. Uma pequena quantidade de goma adragante foi passada no cilindro de vidro e, em seguida, foi colocada a camada de gaze cirúrgica sobre o cilindro de vidro. Sobre a camada de gaze, foi aplicada mais goma adragante seguida de uma camada de pasta reativa

- assim que pronta a vela coletora, ela foi colocada em um dessecador onde permaneceu por 24 horas;
- finalmente, a vela foi transportada, acondicionada no interior de um outro cilindro para evitar eventuais contaminações, e finalmente foi colocada sobre um painel de exposição, confeccionado segundo recomendações de norma, no local escolhido para o ensaio.

7. Determinação do tempo de molhamento, teor de cloretos e taxa de sulfatação

7.1. Umidade Relativa

Utilizando o termo-higrômetro descrito anteriormente e utilizando seu *software*, foi possível determinar a umidade relativa de cada local em intervalos de 15 minutos. E seus dados depois exportados no Excel para a determinação do tempo de molhamento.

7.2. Teor de cloretos

Para determinação do teor de cloretos na vela úmida foi necessário seguir o seguinte procedimento:

- desenrolar a gaze por meio de uma pinça e colocá-la em recipiente adequado, contendo cerca de 200 mL de água;
- agitar a solução para que os cloretos retidos na gaze se dissolvam;
- retirar a gaze lavando-a com água;
- juntar a solução do frasco coletor às águas de lavagem, assim como água de lavagem do frasco, e completar a um volume conhecido;
- tomar uma alíquota que não contivesse mais que 20 mg de íon cloreto (V_a);
- adicionar 5 a 10 gotas de indicador misto;
- adicionar HNO_3 0,05 M, gota a gota até mudar a coloração para amarela;
- titular com solução de nitrato mercúrico 0,0125 M até coloração azul-violeta permanente (A);
- efetuar o ensaio em branco (B);
- substituir os resultados obtidos na fórmula

7.2. Taxa de Sulfatação

Para a determinação da taxa de sulfatação na vela de dióxido de chumbo utilizou-se o seguinte procedimento:

- separar do cilindro a gaze impregnada;
- colocar a gaze em um béquer contendo 5 g de carbonato de sódio dissolvido em cerca de 60 mL de água;
- remover para o béquer toda a pasta de dióxido de chumbo que tenha ficado aderida ao cilindro;
- deixar a gaze submersa por um tempo mínimo de 3 h, agitando ocasionalmente;
- ferver cuidadosamente a mistura por 30 minutos. Cobrir adequadamente o béquer para ocorrer o mínimo de evaporação;
- filtrar o conteúdo do béquer através de um papel de filtragem rápida;
- acidificar o filtrado com ácido clorídrico 2 M, até uma faixa de pH entre 3 e 4, usando-se alaranjado-de-metila como indicador;
- ajustar o volume com água para aproximadamente 300 mL;
- aquecer a solução até a ebulição, agitando-a lentamente e adicionar, com rapidez, cerca de 5 mL de solução de cloreto de bário quente;
- manter a temperatura abaixo do ponto de ebulição até a sedimentação efetiva do precipitado (este período deve ser maior que 2 horas);
- filtrar o precipitado através de papel filtro quantitativo e de lavagem lenta;
- lavar o precipitado com água morna até que pequena porção do filtrado, colhida na ponta do funil, não apresente turvação característica da presença de íons cloreto quando ensaiada com solução de nitrato de prata;
- dobrar o papel de filtro contendo o precipitado e colocar em cadinho previamente tarado;
- secar o papel em estufa a 105 °C e calcinar a 800 °C durante 1 hora;
- resfriar em dessecador por 1 hora, pesar e anotar a massa (A);
- efetuar o ensaio em branco seguindo o procedimento descrito anteriormente e anotar a massa (B);

8. Resultados

Após 39 dias em exposição, as velas de foram analisadas e, através dos cálculos descritos anteriormente, foi possível chegar aos resultados apresentados nas Tabelas 2 a 5.

Tabela 2 – Resultados da determinação de tempo de molhamento

	Tempo de Molhamento (h/a)	Categoria
Local 1	81	t ₂
Local 2	1989	t ₃
Local 3	185	t ₂
Local 4	83	t ₂
Local 5	3003	t ₄

Tabela 3 – Resultados determinação da taxa de deposição de cloretos

	Teor de Cloreto (mg / m ² .d)	Categoria
Local 1	0,78	B ₀
Local 2	1,37	B ₀
Local 3	0,62	B ₀
Local 4	0,50	B ₀
Local 5	0,53	B ₀

Tabela 4 – Resultados da determinação da taxa de sulfatação

	Taxa de Sulfatação (mg / m ² .d)	Categoria
Local 1	-1,23	A ₁
Local 2	0,15	A ₁
Local 3	-0,85	A ₁
Local 4	1,28	A ₁
Local 5	-2,36	A ₁

Tabela 5 – Classificação da corrosividade dos ambientes de exposição usando os dados de tempo de molhamento, taxa de deposição de cloretos e da taxa de sulfatação

	Classificação do Ambiente
Local 1	1
Local 2	2 ou 3
Local 3	1
Local 4	1
Local 5	3

Paralelamente à obtenção dos dados de umidade relativa, da taxa de deposição de cloretos e taxa de sulfatação, os corpos-de-prova expostos foram avaliados, por meio da determinação de suas taxas de corrosão de acordo com a

metodologia descrita anteriormente. Os valores estão apresentados na Tabela 6. Comparando os valores obtidos com os indicados na Tabela 1, classificou-se o grau de corrosividade de cada ambiente de exposição. Esta classificação também está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Taxa de corrosão dos corpos-de-prova de aço-carbono expostos nos diferentes ambientes industriais e suas respectivas classificações.

	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Taxa de Corrosão (g/(m ² .a))	Classificação
Local 1	14,4277	14,4132	86	C ₂
Local 2	14,2145	14,1913	140	C ₂
Local 3	14,4962	14,4809	91	C ₂
Local 4	14,4208	14,4115	55	C ₂
Local 5	14,5629	14,5400	135	C ₂

9. Análise dos Resultados

Para facilitar a análise dos resultados obtidos é apresentada a Tabela 7, que reúne os valores do tempo de molhamento, da taxa de deposição de cloretos e da taxa de sulfatação.

Tabela 7 – Resultados do tempo de molhamento, teor de cloreto, taxa de sulfatação, taxa de corrosão e classificação de cada local

Ambiente de Exposição	Tempo de molhamento (h/a)	Taxa de deposição de cloretos (mg/(m ² .d))	Taxa de Sulfatação (mg/(m ² .d))	Classificação	Taxa de Corrosão (μ/a)	Classificação
Local 1	81	0,78	-1,23	C1	86	C2
Local 2	1989	1,37	0,15	C2 ou C3	140	C2
Local 3	185	0,62	-0,85	C1	91	C2
Local 4	83	0,6	1,28	C1	55	C2
Local 5	3003	0,63	-2,36	C3	136	C2

A partir dos dados mostrados na Tabela 7, pode-se observar que os locais 2 e 5 apresentaram piores características referentes à corrosão atmosférica. Isto é evidenciado, principalmente, devido ao alto tempo de molhamento de cada um sendo um deles classificado como t₃ e o outro como t₄.

O local 2 apresentou tempo de molhamento entre 10 a 20 vezes maior se comparado aos locais 1, 3 e 4. Entretanto, o local 5 apresentou o maior tempo de molhamento e, comparando ao local 2, seu valor é maior em 30 %.

Observando a Tabela 7 percebe-se ainda que os valores da taxa de sulfatação foram muito próximos do zero, com alguns valores negativos. Isto pode ser justificado devido ao desvio presente na análise, e como a maioria dos locais não apresenta fontes geradoras de poluentes, é coerente afirmar que a taxa de sulfatação dos cinco locais analisados é quase nula.

Quanto à taxa de deposição de cloretos, considerando os desvios de medições, pode-se afirmar que os teores de cloretos dos locais 1, 3, 4 e 5 são muito próximos um do outro. Já o local 2 apresenta uma taxa de deposição de cloretos maior do que os demais locais, chegando a apresentar um valor praticamente o dobro dos demais locais, inclusive do local 5.

Quanto aos valores da taxa de corrosão, verifica-se que os maiores valores obtidos corresponderam aos locais 2 e 5, que apresentaram valores praticamente iguais e superiores aos demais. Se considerar somente o parâmetro tempo de molhamento, esperar-se-ia que o valor da taxa de corrosão do local 5 fosse superior ao do local 2, pois este último apresentou um tempo de molhamento cerca de 30 % inferior. No entanto, este mesmo local apresentou uma taxa de deposição de cloretos superior. Isto indica que a maior taxa de corrosão do local 5 deve-se à maior umidade relativa deste local enquanto que no local 2 a taxa de corrosão teve a influência da presença de cloretos.

Vale ressaltar, comparando os locais 4 e 5, a importância do tempo de molhamento. Ambos tiveram teor de cloreto semelhante e, devido ao alto tempo de molhamento, o local 5 apresentou maior taxa de corrosão do aço-carbono.

Analisando os resultados obtidos através das duas metodologias (parâmetros climáticos e taxa de corrosão) pode-se afirmar que tanto o local 2 quanto o local 5 apresentaram piores condições para armazenamento. Pode-se observar que o método de tempo de molhamento, teor de cloreto e taxa de sulfatação indicou que os locais 2 e 5 possuem um ambiente propenso à corrosão atmosférica. E, comparando com os resultados do método da taxa de corrosão das amostras de aço-carbono, foi comprovada esta característica na prática.

Observando para os outros locais (local 1, 3 e 4), através do mesmo raciocínio, percebe-se que estes são mais adequados ao armazenamento de produtos acabados de aço-carbono.

Finalmente, vale chamar a atenção sobre alguns pontos:

- se a análise dos dados fosse feita apenas nos valores da classificação sugerida pelas normas, a distinção entre os locais estudados não ficaria tão clara. Isto ocorre principalmente devido ao fato das normas mencionadas adotarem uma classificação com faixas muito amplas de cada parâmetro analisado, o que permite diferenciar apenas ambientes muito diferentes entre si (rural da marinha, por exemplo) o que não é o caso do presente trabalho;
- os resultados aqui apresentados e discutidos tiveram como base ensaios de exposição de 39 dias e as normas consultadas sugerem a realização de ensaios de duração de pelo menos um ano. Isto leva a recomendar que a siderúrgica realize ensaios de maior tempo de duração para confirmar os dados aqui obtidos;
- finalmente cabe enfatizar que a determinação dos parâmetros ambientais é de fundamental importância, pois dá subsídios para a tomada de ações corretivas para diminuir a agressividade do ambiente. Por exemplo, no local 2, pode-se diminuir a agressividade procurando identificar a fonte de cloretos e tentar minimizar a emissão deste poluente no ambiente industrial.

10. Conclusão

Com base nos resultados obtidos, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- tanto pelo método de classificação dos ambientes com base no tempo de molhamento, na taxa de deposição de cloretos e na taxa de sulfatação quanto para o método de classificação pela taxa de corrosão atmosférica do aço-carbono, obtiveram-se resultados semelhantes, mesmo que não tenham apresentado a mesma classificação, o que indica que as duas metodologias são concordantes;
- com isso, verificou-se que ambos os métodos são eficazes para esta aplicação, com o diferencial do método do tempo de molhamento, teor de cloretos e taxa de sulfatação, pois ele indica qual característica que está fora da normalidade, assim facilitando o estudo e propostas de soluções para os problemas de cada local;
- os resultados obtidos permitiram verificar que dentre os cinco locais estudados, o local 2 e o local 5 são os menos adequados para o armazenamento de peças acabadas da siderúrgica onde foram conduzidos os ensaios.

Vale ressaltar que o estudo ideal realizado deve ser feito durante o período de um ano, para que sejam contempladas as diferentes estações do ano, mas para o presente estudo ficou comprovado que ambas as metodologias são eficazes.

11. Referências

MORAES, J.; SILVA, M. M. da; NOGUEIRA FILHO, C. A. Reunião aberta sobre produção e uso de chapas zincadas. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS, 14, 1969., São Paulo.

12. Direitos autorais

CHARACTERIZATION OF A STEEL COMPANY'S ENVIRONMENTS

Sato, Rafael Makoto Shirahige

rafael.sato@gmail.com

Abstract. The goal of the present work was to characterize the corrosivity of the five storage shops of a wire producer. For that, a bibliographic review in atmospheric corrosion was done focusing on the standardized methods for atmosphere characterization. It was verified that there are two different methodologies used for the corrosivity classification of atmospheres. Through the first one, a classification is made based on time of the wetness, the chloride deposition rate and the sulfur compounds deposition rates. The same classification can be done based on the corrosion rate of the metal of interest. Based on the information of the review, the tests were scheduled and were done. With the obtained results the five storage shops were classified. It was verified that two of these environment were less aggressive being, therefore, more suitable as a storage shop.

Keywords. Carbon steel, corrosion, steel industry