

DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE NÉVOA SALINA NEUTRA

Hilton Brinker Inda, hiltoninda1@gmail.com¹

Lisiane Trevisan, lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Sul, Câmpus Farroupilha, endereço para correspondência, Avenida São Vicente, 785, Cinquentenário, Farroupilha, RS.

Resumo: *A corrosão é um processo natural de deterioração do material, afetando as propriedades mecânicas dos mesmos. O ensaio de névoa salina é amplamente utilizado para avaliar a resistência a corrosão de materiais metálicos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma câmara de névoa salina (CNS) de baixo custo, capaz de realizar ensaios de corrosão acelerada. Para o desenvolvimento do equipamento foram utilizadas as especificações das normas ASTM B117:2011 e ISO 9227:2006. Para a validação do equipamento foi realizado um teste com pulverização de solução salina concentrada em 5% de NaCl em dez corpos de prova de aço extra doce SAE 1008, expostos por 48 horas em uma atmosfera corrosiva controlada. Os resultados obtidos permitiram observar que o equipamento construído se mostrou eficaz, já que os valores das perdas de massa por área dos corpos de prova anotadas estavam dentro dos parâmetros normativos estabelecidos.*

Palavras-chave: névoa salina, corrosão, desenvolvimento de equipamento

1. INTRODUÇÃO

A versatilidade dos metais, permite que cada vez ganhem mais espaço para diversos tipos de aplicações. O uso massificado do aço como material para construção em engenharia forçou a elevar o conhecimento sobre as ações que a corrosão desenvolve sobre ele, já que a corrosão é um processo de degradação do aço, tendo em vista que o aço possui baixa resistência a este fenômeno.

O estudo dos processos de corrosão é de vital importância para diversos ramos da indústria, podendo-se citar entre eles os setores automotivos, de construção civil, alimentício entre outros. Isso se dá pois o surgimento de corrosão, para qualquer uma destas áreas, afeta de forma direta os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixem de satisfazer os fins a que se destinam podendo por expor vidas ao perigo.

De forma geral, a corrosão pode ser definida como um termo utilizado para referir-se à deterioração de um material, normalmente metálico, que ocorre por intermédio da reação com os elementos que constituem o ambiente no qual ele se encontra. Dessa forma, o metal perde algumas de suas propriedades, entre elas a resistência mecânica, elasticidade e ductibilidade (Gentil, 2011). Também segundo Gentil, 2011 o processo de corrosão de um metal é a sua tentativa de retornar ao estado em que é encontrado na natureza, visto que o produto da corrosão, em geral é a sua forma oxidada e essa diversas vezes se assemelha ao minério do qual o metal foi retirado.

Existem três formas de corrosão: eletroquímica (esse é o tipo de corrosão mais comum, geralmente na presença de água, ocorre deslocamento de elétrons), química (é o ataque de algum agente químico diretamente sobre determinado material, que pode ou não ser um metal, não dependendo da presença de água) e eletrolítica (é um processo eletroquímico que ocorre com a aplicação externa de uma corrente elétrica. (Pimenta, 2010)

Os processos de corrosão podem acontecer de inúmeras formas, sendo classificados como corrosão generalizada ou corrosão localizada. A corrosão generalizada ocorre por toda a área superficial do corpo de prova, em contrapartida, a corrosão localizada ocorre em determinadas áreas sobre a superfície do material. Esse processo localizado realiza a corrosão por intermédio da seletividade da remoção de metal, atacando apenas uma fração específica da superfície enquanto mantém o restante intacto (Ramanathan, 1988).

A principal forma pela qual a corrosão generalizada se manifesta é a corrosão uniforme, mas quando nos referimos a corrosão localizada, há inúmeras formas de manifestação, podendo-se citar como exemplos a corrosão por placas, alveolar, por pitting (também conhecida como puntiforme), intergranular, transgranular, filiforme e a corrosão por esfoliação. (Gentil, 2011)

A Figura 1 a seguir, demonstra os aspectos visuais desses tipos de formas pelas quais a corrosão se faz presente nos materiais metálicos

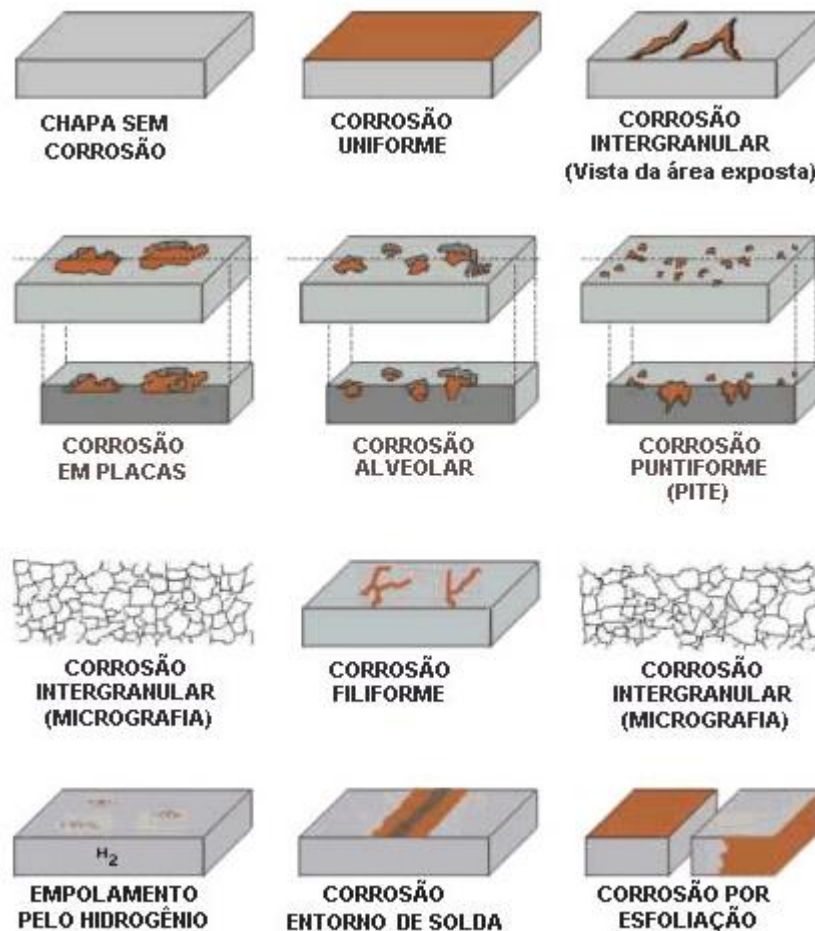


Figura 1. Representação visual de algumas formas de corrosão metálica
Fonte: Instituto de Metais Não Ferrosos (2021)

A forma pela qual a corrosão irá se manifestar ocorre em virtude de um compilar de fatores, estresses mecânicos podem vir a ser responsáveis pelo início de um processo corrosivo, assim como mudanças de microestrutura decorrentes de tratamentos térmicos ou o contato entre dois materiais metálicos diferentes (Ramanathan, 1988)

Os ensaios acelerados de exposição a névoa salina têm como principal finalidade realizar o estudo de desempenho da resistência a corrosão, com os materiais ensaiados podendo variar entre metais, revestimentos metálicos ou revestimentos orgânicos. Esse tipo de ensaio tem elevada eficiência e proporciona aos cientistas e engenheiros meios de rapidamente desenvolver novos produtos.

Tais ensaios de pulverização de sal podem variar de acordo com a solução a ser pulverizada sobre a superfície dos corpos de prova. Conforme ISO 9227:2006, os tipos mais amplamente empregados o *salt spray* neutro (NSS) é especialmente aplicado para metais e ligas metálicas, *salt spray* de ácido acético (AASS) é especialmente aplicado aos revestimentos de cromo decorativo, e *salt spray* de ácido acético acelerado por cobre (CASS). Esses testes tem a capacidade de avaliar a qualidade de revestimentos de proteção, tanto de forma permanente como de forma temporária, uma vez que evidenciam falhas dos mesmos.

Por muitos anos, o ensaio por névoa salina tem sido utilizado amplamente por pesquisadores para este propósito, na avaliação de revestimentos metálicos novos, novas pinturas de revestimentos, bem como para testar tipos variados de tratamentos químicos e pré-tratamentos de pintura para utilização em chapas de aço.

Este trabalho tem como principal objetivo desenvolver um equipamento de forma simplificada capaz de realizar ensaios com névoa salina neutra para avaliar a resistência a corrosão de materiais metálicos, seguindo as especificações das normas ISO 9227:2006 e ASTM B 117:2011 aliados a norma ABNT NBR 17088:2023.

2. MATERIAS E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho foi adotado os requisitos mínimos requeridos pelas normas ISO 9227:2006 e ASTM

B 117:2011 que o equipamento deve ter para que seja capaz de manter a reprodutibilidade dos resultados obtidos nos ensaios. Um resumo dos requisitos que o equipamento a ser construído deve atender é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo das condições a serem mantidas durante teste

Item de controle do ensaio	Névoa salina neutra
Temperatura	35 °C ± 2 °C
Taxa de coleta	1,0 ml/h a 2,0 ml/h em 80cm ²
Composição da solução	50 g/L ± 5 g/L de NaCl
Período de teste	48h

Fonte: ISO 9727-2006

Será explanado a seguir a metodologia utilizada para execução do projeto e análise dos dados obtidos. Para melhor apresentar as etapas realizadas no trabalho apresenta-se a Fig. 2, a qual descreve o fluxo de trabalho para realização deste artigo.

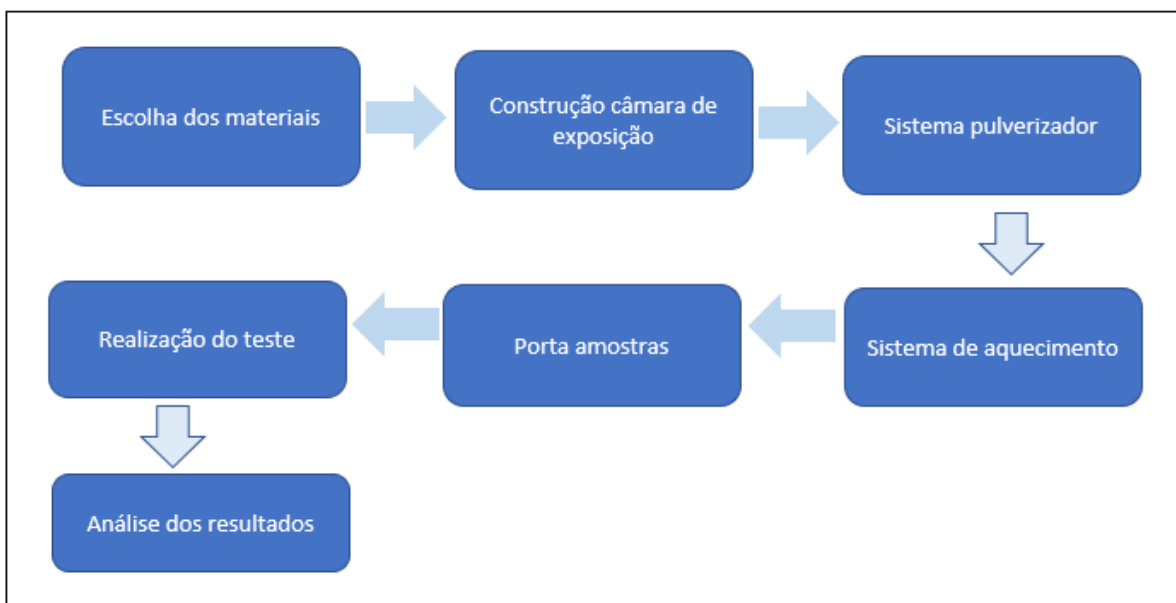


Figura 1. Fluxograma das etapas realizadas no trabalho.

A construção do equipamento foi dividida em três etapas sendo elas:

- 1ª Etapa - Câmara de exposição;
- 2ª Etapa - Reservatório e sistema de pulverização da solução;
- 3ª Etapa - Sistema de aquecimento e controle da temperatura.

2.1.1 Câmara de exposição

Visando a utilização dos materiais disponíveis no IFRS - Campus Farroupilha, optou-se pela utilização de acrílico transparente com 6mm de espessura para construção da estrutura do equipamento.

Para permitir que as condições de homogeneidade e distribuição da névoa salina e temperatura prescritas nas normas anteriormente citadas sejam atingidas a câmara foi construída com dimensões semelhantes as medidas já testadas em outros trabalhos de construção deste tipo, como encontrado em Rodrigues (2017).

A câmara de exposição é composta por uma base medindo 500x500x6mm contendo uma furação de 20mm de diâmetro que servirá para fixação do sistema de coleta da névoa, duas laterais retangulares e outras duas peças, uma dessas peças contém uma furação de 40mm de diâmetro que servirá como entrada do pulverizador da névoa salina. As peças foram todas unidas com selante de silicone. A figura 3 mostra todas as peças e suas dimensões e uma ilustração da montagem da câmara de exposição.

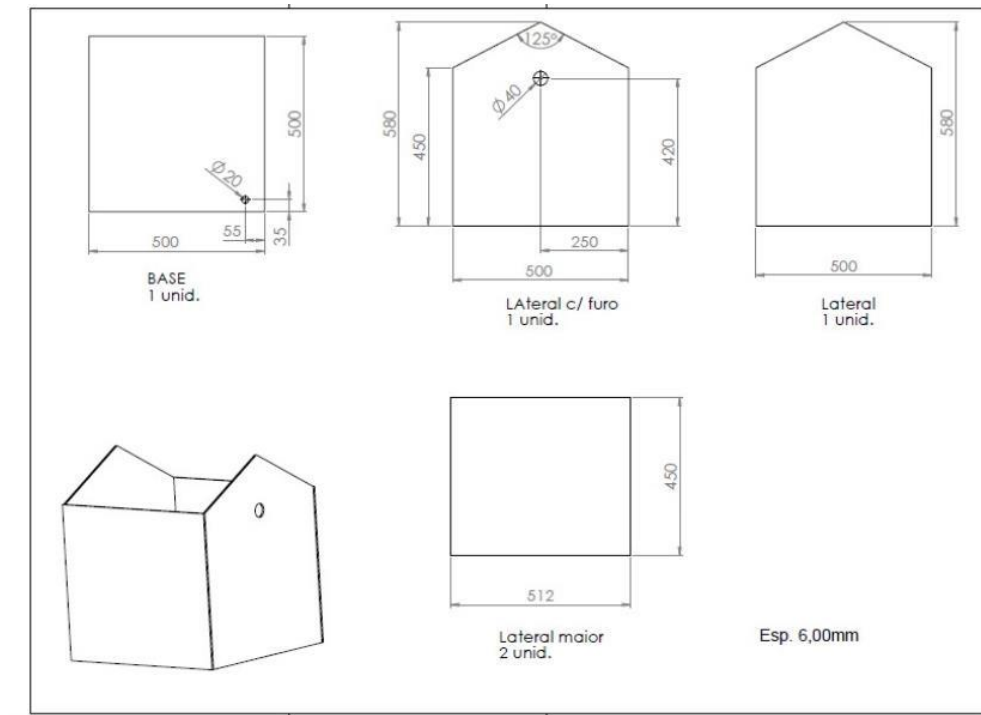


Figura 3: Peças câmara de exposição

2.1.2 Tampa

Segundo a norma ASTM B117:2011, o teto da câmara deve ter uma angulação de 90 a 125° para evitar que as gotículas de solução pulverizada que se formam em sua superfície não caia nos corpos de prova que estão sendo testados.

Para a construção da tampa foi utilizado duas placas retangulares de acrílico medindo 512x289x6mm e para garantir estabilidade e uma melhor vedação optou-se por manter uma parede fixa e a outra móvel. A parte fixa da tampa foi posicionada sobre a câmara e fixada com selante de silicone, para montagem da parte móvel foram utilizadas duas dobradiças fixadas com Tek Bond 793. Após o teto estar devidamente montado, o mesmo foi reforçado com fita plástica em suas arestas para melhor vedação e impossibilitar possíveis perdas da névoa durante a execução do teste.

2.2 Reservatório e sistema de pulverização

Um umidificador de ar será o dispositivo usado como responsável por armazenar e pulverizar a solução preparada. Para a construção do sistema de pulverização foi utilizado um umidificador de ar Britania com capacidade de 4,8 litros, uma curva 90° de PVC com diâmetro de 40mm e silicone para vedação.

O sistema foi construído de forma que uma das extremidades da curva de PVC, que servira de conexão entre a solução pulverizada e a câmara, foi fixada com silicone na parte superior do reservatório do umidificador e a outra extremidade foi fixada na face da câmara que contém o furo de Ø40mm. A montagem do sistema para pulverização da solução para o interior da câmara de exposição é mostrada com detalhes na figura 4.

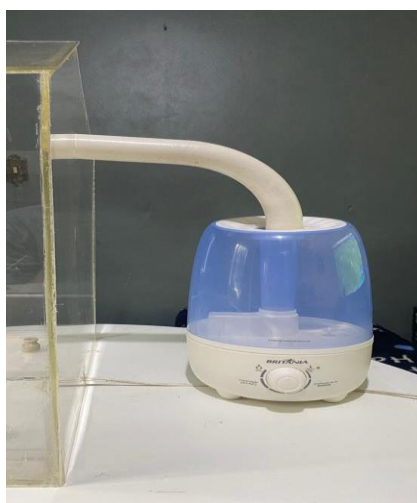


Figura 4. Reservatória e sistema de pulverização

Com o objetivo de determinar a vazão do umidificador para as seis diferentes posições de acionamento do mesmo foi utilizado um becker graduado para abastecimento do reservatório com 100 ml de solução aquosa com concentração de 5% de Na Cl. Foram feitos testes com 100 ml de solução para o botão de acionamento e regulador de vazão posicionado em cada uma das seis diferentes marcações como mostra a fig.5 e os resultados de tempo para consumo e vazão são apresentados na Tab.2.1



Figura 5. Botão acionador e regulador de vazão

Tabela 2.1 Tempo de consumo e vazão de solução

Posição	Tempo p/ consumo de 100ml (s)	Vazão (ml/s)
1	5313	0,01
2	4224	0,02
3	1929	0,05
4	1097	0,09
5	885	0,11
6	602	0,16

Com os resultados de vazão obtidos a posição 2 foi a escolhida para a realização dos testes , pois é a que melhor atende as condições requeridas por norma.

O sistema de coleta da névoa salina foi construído acoplando um funil plástico no orifício de 20 mm de diâmetro na base da câmara, uma garrafa pet foi utilizada como reservatório de coleta e uma mangueira foi utilizada para conectar o funil ao reservatório de coleta.

2.3 Sistema de aquecimento

Por força de solicitação normativa, a temperatura no interior da câmara de exposição, onde os corpos de prova serão alocados, deve ser mantida entre 33 °C e 37°C. Para a fabricação do sistema de aquecimento foi selecionado uma resistência de níquel-cromo, por possuir uma composição química resistente a oxidação, sete roldanas de porcelana, um conector cerâmico e um termostato digital W1209.

Iniciou-se a montagem do sistema de aquecimento fixando as roldanas, de forma distribuída a fim de proporcionar um aquecimento uniforme, com cola Tek Bond 793 na base da câmara de exposição. O mesmo foi feito com o conector que foi fixado próximo a uma das faces laterais para facilitar a conexão do fio conector. A resistência foi posicionada em torno das roldanas e conectada ao conector cerâmico. O conector se conecta por meio de um fio condutor ao termostato digital W1209 posicionado na parte externa da câmara.

A função da resistência é a de aquecer e manter a temperatura no interior reservatório térmico em conjunto com o termostato digital. O termostato digital W1209 possui um sensor de temperatura em sua extremidade, este é colocado no interior da câmara próximo às amostras. Este sensor é o responsável por captar a temperatura no interior da câmara de exposição e enviar estes valores ao controlador digital localizado na parte externa que executa a tarefa de ligar e desligar a resistência, mantendo assim a temperatura dentro do range especificado. A figura 6 e 7 demonstra como o sistema de aquecimento foi montado.

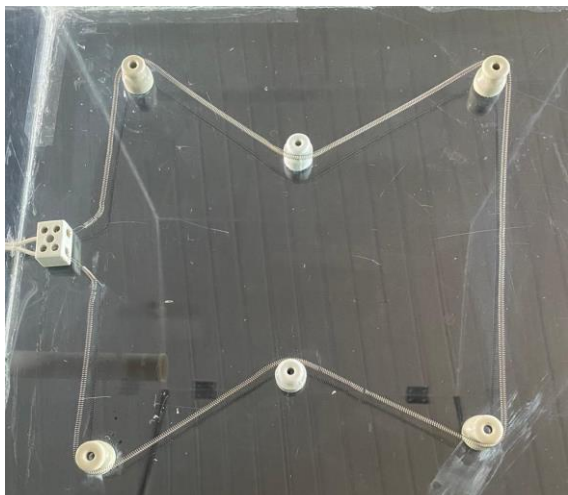


Figura 6. Montagem sistema de aquecimento

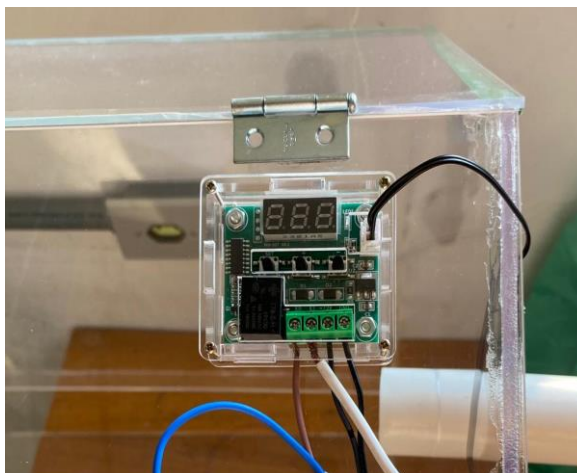


Figura 7. Termostato digital W1209

2.4 Suporte dos Corpos de Prova

Os suportes internos que receberão os corpos de prova (CP's) para realização do teste foram projetados atendendo as recomendações contidas nas Normas ISO 9227 e ASTM B 117.

É importante que os suportes a serem utilizados sejam quimicamente inertes ao ataque da névoa salina. Os mesmos devem permitir que os CP's planos sejam posicionados em uma angulação que deve variar entre 15° a 30° da vertical, preferencialmente, paralelo ao fluxo horizontal da névoa salina

Para tanto foram confeccionados dois suportes totalmente em acrílico e com a menor área de contato possível com os corpos de prova.

As figuras 8 e 9 demonstram a forma construtiva destes suportes e a forma como os corpos de prova se encaixam neles para a execução dos ensaios. Durante a realização do teste os porta CP's serão posicionados sobre uma base a uma distância de 120 mm da base da câmara de exposição.

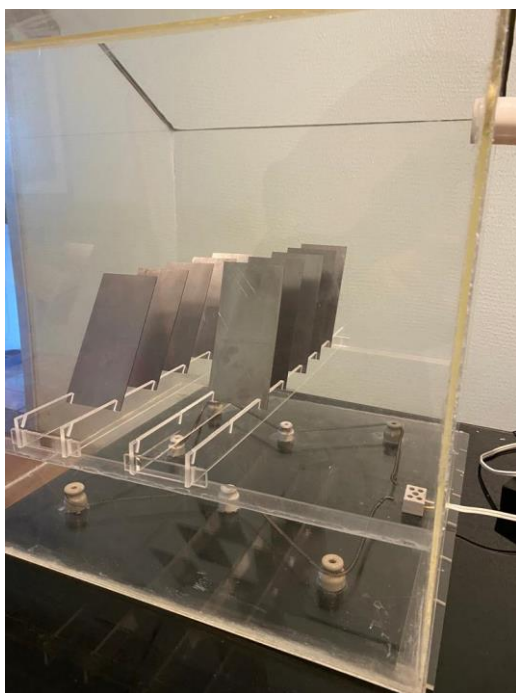


Figura 8. Vista 1 dos suportes

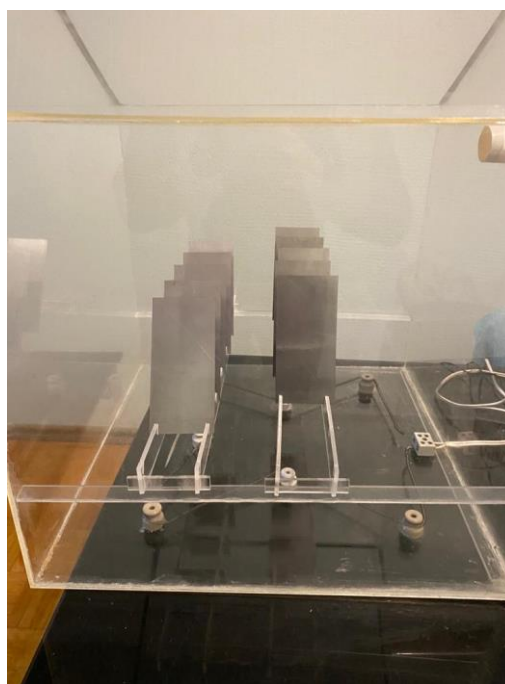


Figura 9. Vista 2 dos suporte

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o equipamento devidamente montado conforme descrito realizou-se testes para verificar o comportamento do equipamento em relação aos requisitos mínimos especificados pelas normas anteriormente citadas.

3.1 Realização do Teste

3.1.1 Preparação dos corpos de prova

Seguindo recomendações da ISO 9227:2006, para a realização do ensaio foi selecionado dez corpos de prova cortados de uma única chapa de aço extra doce SAE 1008 com dimensões de 150 mm × 70 mm e 1mm de espessura. Os CP's foram obtidos através do corte em máquina a laser, devido a esse processo de corte ter uma alta precisão. Portanto foi considerado uma área superficial de 0,0105m²

Os corpos de prova foram limpos, conforme ABNT NBR 6210:2008, imediatamente antes dos testes de forma a eliminar qualquer tipo de impureza que possa ser considerada como contaminante e conseqüentemente influenciar nos resultados dos testes. A limpeza foi realizada com álcool etílico e papel toalha.

Após esta limpeza foi feita a pesagem com uma balança de precisão UW 6200H disponível nos laboratórios do IFRS - Campus Farroupilha para determinar a massa inicial dos corpos de prova a serem testados. Os dados de massa inicial são apresentados na tabela 3.

3.1.2 Preparo da solução salina neutra

Para a preparação da névoa salina foi feita a dissolução 250 g de cloreto de sódio em 5L de água à temperatura ambiente. Obtendo-se assim uma solução aquosa com concentração de 5% de NaCl conforme exigido por norma.

3.2 Coleta de dados após ensaio

O ensaio de névoa salina neutra do aço extra doce foi realizado com 10 amostras dispostas da seguinte forma: 5 CP's foram acoplados em um porta amostras com uma angulação de 15° e outros 5 CP's acoplados em um porta amostras com uma angulação de 30° com a vertical conforme mostrado nas figuras 6 e 7.

O ensaio teve duração de 48h e a temperatura no interior do equipamento foi constantemente verificada e se manteve em 35 ± 2°C. Nas figuras 10 e 11 é possível observar o equipamento durante a realização do teste.



Figura 10. Câmara durante teste

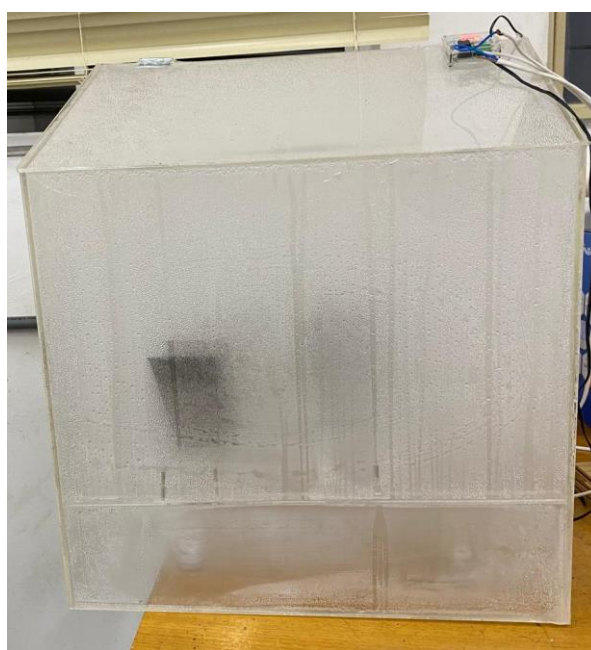


Figura 11. Vista lateral câmara durante teste

Ao final do ensaio de 48h foi verificado um consumo de 3430 ml de solução salina, também foi verificado uma coleta de 89 ml ficando dentro do requerido

O aspecto visual dos corpos de prova testados pode ser visualizado nas fotografias contidas nas Figuras 12 e 13.



Figura 12. Amostras no suporte após teste



Figura 13. Amostras após teste

Transcorrido o período de ensaio foi realizada a limpeza dos CP's conforme ABNT NBR 6210:2008. Os CP's primeiramente foram submetidos a uma limpeza mecânica usando escova de cerdas macias sob água corrente a temperatura ambiente. Após esse processo os CP's foram imersos em álcool etílico e quando visualmente não sendo mais notados produtos da corrosão pela superfície dos CP's os mesmos foram secos com auxílio de papel toalha.

Imediatamente após a limpeza dos CP's foi realizada novamente a medição da massa dos mesmos. A medição da massa final dos CP's foi realizada com a mesma balança utilizada anteriormente.

Conforme norma ISO 9227 o funcionamento do aparelho de ensaio é satisfatório se a perda de massa de cada CP testado for de $70 \pm 20 \text{ g/m}^2$ para um tempo de exposição de 48 horas em névoa salina neutra. A perda de massa do padrão por unidade de área da área ensaiada na câmara de ensaio é determinada pela Eq. (1)

$$PM = \frac{mi - mf}{A} \quad (1)$$

Onde:

PM = Perda de massa

mi = Massa inicial

mf = Massa final

A = Área da placa em m^2

A Tabela 3 apresenta os valores medidos para as massas iniciais, finais e a perda de massa dos CP's analisados.

Tabela 3. Resultados experimentais para os CP's testados

CP's	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g/m^2)
1	73,107	72,307	76,159
2	72,567	71,867	66,635
3	74,110	73,360	71,429
4	73,553	72,843	67,651
5	73,397	72,647	71,397
6	73,790	73,010	74,286
7	73,207	72,477	69,492
8	72,613	71,853	72,413
9	73,753	73,073	64,794
10	74,197	73,427	73,302

Como é possível observar na Tabela 3 o ângulo em que os CP's foram expostos a névoa pulverizada não impactou no resultado da perda de massa, visto que a perda de massa média em função da área obtida para os CP's acoplados no suporte de 15° foi de 70,654 g/m² e para os CP's acoplados no suporte de 30° foi de 70,857 g/m², ambos dentro do requerido por norma.

Além da constatação visual durante o ensaio os resultados demonstrados na Tabela 3 são uma evidência de que a névoa teve uma distribuição homogênea dentro da câmara de exposição, resultando em uma perda de massa média de 70,756 g/m² e desvio padrão de 3,583 g/m²

A câmara no geral conseguiu segurar a névoa em seu interior com exceção da parte móvel da tampa que apresentou um pequeno vazamento que foi corrigido adicionando fita adesiva para melhor vedação.

Os resultados foram satisfatórios depois da realização do ensaio acelerado de névoa salina neutra, com exposição de 48 horas, ao comparar os valores das perdas de massa por área de cada CP com o valor especificado pela norma. Além do equipamento construído ter se mostrado eficaz em manter os requisitos mínimos exigidos durante o ensaio.

4 CONCLUSÃO

Analisando os dados obtidos após a realização do teste de 48h de névoa salina neutra é possível concluir que o objetivo principal deste trabalho foi atingido com sucesso. Tendo em vista que o equipamento manteve as condições mínimas requeridas por norma durante o ensaio. É importante ressaltar que a máquina e nenhum de seus componentes apresentou desgaste aparente após a realização dos testes.

Os resultados experimentais das perdas de massa obtidos no equipamento desenvolvido foram satisfatórios uma vez o valor médio obtido foi de 70,756 g/m², que satisfaz o valor requerido pela norma de 70 ± 20 g/m².

Portanto, a máquina construída pode então ser utilizada como uma ferramenta de caracterização da resistência de materiais metálicos submetidos a atmosferas corrosivas.

Algumas sugestões de melhoria poderiam também ser aplicadas, como o desenvolvimento da parte móvel da tampa a fim de evitar pequenos vazamentos de névoa durante a realização do ensaio. Outro fator que agregaria ao trabalho seria o desenvolvimento de novas portas amostras para realização de testes em corpos de prova com diferentes geometrias.

5 AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores pela dedicação ao ensinar e compartilhar todo o seu conhecimento. Um agradecimento especial a professora Lisiane Trevisan pela orientação do trabalho de conclusão de curso.

Agradeço aos técnicos laboratoriais do IFRS-Campus Farroupilha pelo auxílio durante o andamento do projeto que colaboraram com a obtenção de materiais, os quais foram utilizados para construção do protótipo.

E por fim, a todos os colegas que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado

6 REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 17088:2023. Corrosão por exposição à névoa salina - Métodos de ensaio. 2023
- ABNT NBR 8094:1983. Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina. 1983.
- ABNT NBR 6210:2008. Corrosão atmosférica Materiais metálicos Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão. V2. 2008
- ASTM B117 - Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, 2011
- GENTIL, V., Corrosão. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2011.
- GALVINFO CENTER. Ensaio de Névoa Salina: programa do International Zinc. Association Zinc. Rev 1.1, Jan 2011. Disponível em: < http://www.icz.org.br/site/pdf/galvanizacao/GalvInfoNote_3_4.pdf>. Acesso em: 21/09/2023
- COUTINHO, Leonardo de Souza. Construção de equipamento gerador de névoa salina (salt spray) para execução de ensaios acelerados de corrosão, 2019
- RAMANATHAN, Lalgudi V.. Corrosão e seu controle. São Paulo: Hemus, 1988
- ISO 9227 International Standard - Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests, jul 2006.
- RODRIGUES, Luciano Monteiro. Desenvolvimento de equipamento para realização de ensaios com névoa salina para avaliar a resistência à corrosão em metais. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2017.
- PIMENTA, G.S. Apostila de Corrosão. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAbSgAB/apostila-corrosao>. Acessado em 21/09/2023

DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR SALT SPRAY

Hilton Brinker Inda, hiltoninda1@gmail.com¹

Lisiane Trevisan, lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹Federal Institute of Education, Science and Technology, Rio Grande do Sul, Campus Farroupilha, address for correspondence Avenida São Vicente, 785, Cinquentenário, Farroupilha, RS.

Abstract. *Corrosion is a natural process of deterioration of the material, affecting the mechanical properties of them. The salt spray test is widely used to evaluate the corrosion remnant of metal materials. The objective of this work was to develop a low cost salt spray (CNS) chamber, capable of performing accelerated corrosion tests. For the development of the equipment, the specifications of ASTM B117 and ISO 9227 were used. For the validation of the equipment was performed a test with spraying of concentrated saline solution in 5% NaCl in ten specimens of extra sweet steel, exposed for 48 hours in a controlled corrosive atmosphere. The results obtained allowed to observe that the constructed equipment proved to be effective, since the values of the mass losses of the annotated specimens were within the established normative parameters*

Keywords: *salt spray, corrosion, equipment development*