

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

LUCIANO MONTEIRO RODRIGUES

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE
ENSAIOS COM NÉVOA SALINA PARA AVALIAR A RESISTÊNCIA À
CORROSÃO EM METAIS**

VOLTA REDONDA

2017

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE
ENSAIOS COM NÉVOA SALINA PARA AVALIAR A RESISTÊNCIA À
CORROSÃO EM METAIS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos, linha de pesquisa em materiais metálicos.

Aluno:

Luciano Monteiro Rodrigues

Orientador:

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

Co-Orientador:

Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

VOLTA REDONDA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

R696d Rodrigues, Luciano Monteiro.

Desenvolvimento de equipamento para realização de ensaios com névoa salina para avaliar a resistência à corrosão em metais. / Luciano Monteiro Rodrigues. - Volta Redonda: UniFOA, 2017.

82 p. : Il

Orientador(a): Roberto de Oliveira Magnago

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2017

1. Materiais - dissertação. 2. Névoa salina. 3. Aço - corrosão. 4. Máquina - desenvolvimento. I. Magnago, Roberto de Oliveira. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Luciano Monteiro Rodrigues

DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS COM NÉVOA SALINA PARA AVALIAR A RESISTÊNCIA À CORROSÃO EM METAIS

Orientador:

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

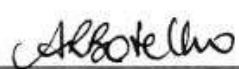
Coorientador:

Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

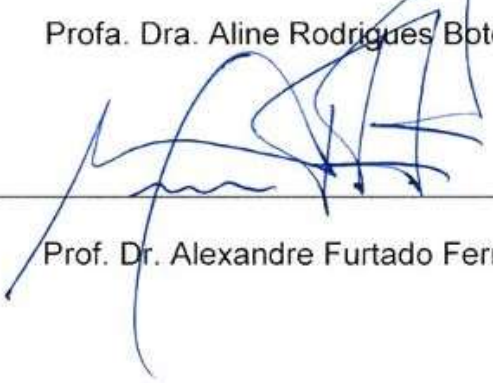
Banca Examinadora



Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago



Profa. Dra. Aline Rodrigues Botelho



Prof. Dr. Alexandre Furtado Ferreira

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família, minha esposa Elaine de Andrade Zonta Rodrigues, pelo apoio durante o período de realização deste Mestrado.

Em especial aos meus pais, Edson Carlos Rodrigues e Maria Monteiro Rodrigues, pelos seus esforços e dedicação na formação de meu caráter e construção de meus valores, estimulando e apoiando meus sonhos, e que viabilizaram esta importante conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado sabedoria e saúde para conduzir esse curso da melhor forma possível. Agradeço, também, ao meu orientador Prof. Dr. Roberto O. Magnago pelo apoio e disponibilidade, e ao Co-orientador Prof. Dr. Bruno C. Gambarato que, com suas dedicações e competências, orientaram e estimularam o desenvolvimento deste projeto e, conseqüente crescimento pessoal.

À Prof. Dr. Cirlene, pela ajuda e participação na realização deste trabalho.

Aos técnicos Genessi, Ricardo, Marcos, Dirceu e Nadir, pelo apoio na utilização dos recursos dos laboratórios do CIT do UniFOA. Ao amigo Evaldo da CSN pela contribuição na realização deste projeto.

Aos colegas e mestres do curso de mestrado profissional em materiais do UniFOA.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.”

Albert Einstein

RESUMO

O aço - liga metálica de grande versatilidade - é produzido em diferentes tipos e formas sendo utilizado em larga escala tanto por indústrias metal-mecânicas quanto da construção civil. Em casos particulares, possui restrições, principalmente quanto a propriedades de resistência relativas à corrosão.

Entendemos como corrosão o processo de deterioração ininterrupta desta mesma liga metálica a qual a humanidade presencia diariamente a manifestar-se, em sua maioria, em função do meio o qual o material se insere e é exposto, resultando em alterações prejudiciais como modificação de suas composições químicas.

As normas referenciadas nesse estudo - ASTM B117 e ISO 9227 - são utilizadas em larga escala por indústrias com o intuito de verificar a produção e resultados de seus componentes. A título de exemplo: indústrias do meio automobilístico, metalúrgico e ambiental que, a partir destas normas preveem o comportamento do material em ensaio acelerado. O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um equipamento para realizar ensaios com névoa salina que se aproximem das condições reais de intemperismo, para avaliar a resistência à corrosão em materiais metálicos, seguindo as especificações das normas citadas previamente.

Para isto, quinze corpos de prova de aço extra doce e de aço intersticial free e 12 CP's de uma bobina a quente com 150,00 mm x 70,00 mm foram utilizadas para a realização do ensaio com pulverização de solução salina concentrada em 5% de NaCl, expostas por 48 horas. Logo, os resultados obtidos demonstraram e ratificaram a perda de massa por área dos CP's dos materiais e quando comparadas a faixa especificada pela norma ISO 9227-06, que é de $70 \pm 20 \text{ g/m}^2$, auxiliaram na avaliação e validação do funcionamento do equipamento.

Em suma, conclui-se que o custo para a construção do equipamento apresentou-se viável se comparado ao valor dos equipamentos comerciais. Desta maneira, ao avaliarmos os resultados, o mesmo equipamento demonstrou ser capaz de realizar ensaios eficazes, já que os valores obtidos das perdas de massa dos três materiais apresentaram-se satisfatórios, variando entre $54,2885 \text{ g/m}^2$ e $89,6571 \text{ g/m}^2$.

Palavras-chave: Névoa salina. Corrosão. Aço. Desenvolvimento de máquina

ABSTRACT

The steel is an alloy of great versatility also produced under different types and shapes being widely used in large scale by the metal-mechanical industries as well as civil-engineering ones. In some specific cases, there are restrictions mainly related to the resistance estates that have to do with the corrosion.

It is understandable as the process of corrosion the continuous deterioration of this particular metallic alloy which the humanity has been facing daily, and that manifest itself, mostly, depending on the environment in which it is exposed, resulting in prejudicial modifications as the ones in its chemical composition.

The regulations referred on this work - ASTM B117 and ISO 9227 - are used in large scale by industries aiming the production's checking and its components' results. For instance, in automotive, metalwork and environmental, that, from these norms in use, predicts the behavior of material in fast-track trials. The principal objective of this work was to develop a specific equipment for performing tests with saline fog which could approach to the real conditions of weathering aiming the evaluation of resistance to corrosion in metallic materials by following the specifications of those standards previously mentioned.

For this purpose, fifteen samples of extra sweet steel and interstitial free steel and twelve samples of an hot rolled 150.00 mm x 70.00 mm were used to perform the spray test with a concentrated salt solution of 5% NaCl per 48 hours. Soon, the results found were able to demonstrate and confirm the loss of mass per area of samples materials and when compared to the range specified by the norm ISO 9227-06, that is: $70 \pm 20 \text{ g/m}^2$, helped to evaluate and validate the equipment's operation.

It was concluded that the cost for the construction of the equipment has been feasible when comparing with the price of commercial equipment and to evaluate the results, the equipment proved to be able to perform effective testing, since the values obtained from the mass loss of the three materials were satisfactory, ranging from 54.2885 g/m^2 to 89.6571 g/m^2 .

All in all, it is possible to conclude that the expense for the equipment's elaboration presented itself feasible taking into consideration the one related to the commercial equipments. Therefore, by analyzing the results, the equipment proved to be able to realize efficient operations since the deprival values of the three materials displayed themselves acceptably, fluctuating between $54,2885 \text{ g/m}^2$ e $89,6571 \text{ g/m}^2$.

Keywords: Salt fog. Corrosion. Steel. Machine development

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos aços segundo o teor de carbono	21
Tabela 2. Valores da velocidade média de corrosão de aços carbono para diversos ambientes.....	32
Tabela 3. Tempo de consumo e vazão da solução	42
Tabela 4. Valores encontrados no ensaio de dureza do aço IF	56
Tabela 5. Valores encontrados no ensaio de dureza da BQ	57
Tabela 6. Dimensão dos cp's dos aços.....	58
Tabela 7. Perda de massa por área dos cp's dos aços.....	62
Tabela 8. Valor médio da perda de massa e o desvio padrão	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Barras de aço carbono utilizadas na construção de grades ou portões	21
Figura 2. Bobinas e chapas de aço	22
Figura 3. Aplicabilidades dos aços	22
Figura 4. Processo de produção dos metais	23
Figura 5. Maresia já provocou a oxidação das estruturas de ferro utilizadas nas obras do porto	24
Figura 6. Corrosão uniforme.....	25
Figura 7. Corrosão em placas	26
Figura 8. Corrosão alveolar	26
Figura 9. Corrosão por pite em tubo de aço inoxidável AISI 304	27
Figura 10. Corrosão intergranular	27
Figura 11. Corrosão filiforme	28
Figura 12. Corrosão gráfrica do ferro fundido.....	28
Figura 13. Corrosão por dezincificação em latão	29
Figura 14. Corrosão por esfoliação	29
Figura 15. Representação esquemática, simplificada, do mecanismo de corrosão atmosférica do aço carbono	30
Figura 16. Modelos Bass USC 03/02/01	34
Figura 17. Equipamento Salt Spray EQUILAM.....	34
Figura 18. Câmara Salt Spray modelos SSI.....	34
Figura 19. Montagem da câmara	37
Figura 20. Furo central para colocação do tubo de PVC.....	38
Figura 21. Tubo de PVC, união e joelho	38
Figura 22. Sistema de pulverização	38
Figura 23. Fixação dos bocais.....	39
Figura 24. Sistema de aquecimento da câmara	39
Figura 25. Funcionamento do sistema de aquecimento	40
Figura 26. Controlador de temperatura	40
Figura 27. Pulverizador / reservatório e béquér	41
Figura 28. Válvula reguladora da vazão do nevoeiro	41
Figura 29. Colagem do bico	42

Figura 30. Mangueira e galão.....	43
Figura 31. Sistema para coleta da solução	43
Figura 32. Suporte porta-amostra	44
Figura 33. Suporte porta-amostra com encaixes na angulação de 15° e 30°.....	44
Figura 34. Chapa de acrílico	45
Figura 35. Chapas triangulares e retangulares de acrílico	45
Figura 36. Tampa fixa de acrílico	46
Figura 37. Fixação da tampa de acrílico	46
Figura 38. Fixação das dobradiças	47
Figura 39. Fixação das dobradiças na parte fixa da tampa.....	47
Figura 40. Puxador fixado na parte móvel da tampa.....	48
Figura 41. Calandra + Viradeira + Guilhotina	49
Figura 42. Corte dos cp's dos aços	49
Figura 43. Balança analítica.....	50
Figura 44. Medição das dimensões dos cp's.....	50
Figura 45. Dessecador	51
Figura 46. 5 L de Solução de NaCl	51
Figura 47. Disposição das amostras dos aços no interior da câmara	52
Figura 48. Ensaio de névoa salina	53
Figura 49. Microscopia ótica do aço extra doce	54
Figura 50. Microscopia eletrônica de varredura do aço extra doce	54
Figura 51. Microscopia ótica da BQ	55
Figura 52. Consumo de solução em 48 horas de exposição.....	60
Figura 53. Cp's do aço extra doce em processo de corrosão	60
Figura 54. Limpeza química	61
Figura 55. Verificação da massa final	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Média das dimensões dos cp's	59
Gráfico 2. Média das massas e das perdas de massa dos cp's	63

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
C	<i>Carbono</i>
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
CTF	<i>Corrosão sob tensão fraturante</i>
SCC	<i>Stress Corrosion Cracking</i>
NaCl	<i>Cloreto de sódio “sal”</i>
Cl ⁻	<i>Cloreto</i>
mgNaCl/m ² /dia	<i>Miligrama de cloreto de sódio por m² por dia</i>
SO ₂	<i>Dióxido de enxofre</i>
MgCl ₂	<i>Cloreto de magnésio</i>
Cp's	<i>Corpos de prova</i>
IF	<i>Interstitial free</i>
BQ	<i>Bobina a quente</i>
W	<i>Watts</i>
mm	<i>Milímetro</i>
ml	<i>Mililitro</i>
s	<i>Segundos</i>
Ø	<i>Diâmetro</i>
g/m ²	<i>Grama por metro quadrado</i>
MO	<i>Microscopia ótica</i>
MEV	<i>Microscópio eletrônico de varredura</i>
CSN	<i>Companhia Siderúrgica Nacional</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	19
3. JUSTIFICATIVAS.....	19
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
4.1. Ligas metálicas	20
4.1.1. Aços	20
4.2. Corrosão	23
4.2.1. Problemas de corrosão	24
4.2.2. Formas de corrosão	25
4.2.3. Corrosão atmosférica do aço	30
4.2.4. Ensaio de corrosão.....	32
4.2.4.1. Ensaio de névoa salina (salt spray).....	33
4.3. Descrição de equipamentos salt spray comerciais	33
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
5.1. MATERIAIS	35
5.1.1. Materiais utilizados para construção do equipamento.....	35
5.1.2. Materiais utilizados nos testes com o equipamento	36
5.1.3. Materiais de insumo utilizados antes e após os testes com o equipamento	36
5.2. MÉTODOS	37
5.2.1. Construção do equipamento	37
5.2.1.1. Câmara de névoa salina.....	37
5.2.1.2. Sistema para pulverização	37
5.2.1.3. Sistema de aquecimento	39
5.2.1.4. Reservatório / pulverizador.....	41
5.2.1.5. Sistema para coleta da solução pulverizada	42

5.2.1.6. Porta-amostra.....	44
5.2.1.7. Teto da câmara	45
5.2.2. Preparação dos corpos de prova dos materiais para a realização dos testes com o equipamento.....	48
5.2.2.1. Corte dos cp's	48
5.2.2.2. Limpeza dos cp's para verificação da massa inicial (antes do ensaio).....	49
5.2.2.3. Medição e armazenamento dos cp's	50
5.2.2.4. Solução aquosa para o ensaio	51
5.2.2.5. Disposição dos cp's.....	52
5.2.3. Realização dos testes com o equipamento	53
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
6.1. Caracterização microestrutural	54
6.1.1. Aço extra doce	54
6.1.2. Bobina a quente	55
6.2. Ensaio de dureza.....	56
6.3. Dimensão dos cp's dos aços	58
6.4. Coleta de dados após o ensaio	60
6.4.1. Verificação do consumo e a avaliação do processo corrosivo	60
6.4.2. Limpeza química para verificação da massa final (após o ensaio) ..	61
6.4.3. Determinação da perda de massa por área para verificação do funcionamento do equipamento de salt spray	62
7. CONCLUSÃO.....	65
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	66
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
APÊNDICE	70
ANEXO 1.....	81
ANEXO 2.....	82

1. INTRODUÇÃO

Dentre as ligas metálicas, os aços carbono ou aços comerciais têm vasta aplicabilidade, tanto na engenharia, como nas indústrias em geral. Eles possuem apenas quantidades limitadas dos elementos químicos carbono, silício, manganês, enxofre e fósforo, em sua composição, e outros elementos apenas em quantidades residuais. Uma desvantagem desses materiais, quando expostos à atmosfera, é a vulnerabilidade à formação da ferrugem e ao avanço do processo corrosivo [1,2].

A corrosão pode ser definida basicamente como a deterioração de um metal, a partir de sua superfície, pelo meio no qual está inserido, seja à exposição atmosférica ou submersos em águas naturais. Esse processo envolve reações de oxidação e de redução (redox) que convertem o metal ou componente metálico em óxido, hidróxido ou sal. Sabe-se também, que os materiais metálicos terão suas características alteradas tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais e, inevitavelmente, sua durabilidade e desempenho serão afetados e, conseqüentemente, deixarão de satisfazer os fins a que se destinam [2,3].

Os ataques corrosivos podem ocorrer sob diferentes formas e, segundo a morfologia, os mais comuns nos metais são do tipo uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular, filiforme, gráfitica, dezincificação, por esfoliação etc [4].

Em 1939, a ASTM publicou o seu padrão de teste com pulverização contínua de sal ou nevoeiro salino (*Salt Spray*), referenciada por ASTM B117. Mais tarde, em 1987, foi adicionado a essa norma um Apêndice, sugerindo a utilização de amostras de aço carbono para se verificar a perda de massa, num determinado tempo de exposição, para monitorizar consistentes condições corrosivas dentro da câmara. Durante anos, esse ensaio de corrosão acelerada vem proporcionando aos cientistas e engenheiros formas rápidas de se desenvolver novos produtos [5,6].

Os equipamentos comerciais permitem realizar ensaios de névoa salina (*salt spray*), umidade e *corrod-kote*, em corpos de prova metálico ou não metálico revestidos com camadas orgânicas ou inorgânicas, atendendo a normas técnicas. Esses equipamentos atendem demandas em vários clientes no Brasil e exterior, a saber: Volkswagen, Honda, Mercedes Benz, Cepel-RJ, USP, INMETRO-RJ etc [7,8].

Foram realizados ensaios em um equipamento comercial EQUILAM para a Investigação da Corrosividade do Ensaio de Névoa Salina segundo Norma ISO 9227 e encontrados resultados satisfatórios dentro de valores especificados por aquela norma [9].

O objetivo desse trabalho é desenvolver um equipamento que possa avaliar a resistência à corrosão por exposição à névoa salina de materiais metálicos protegidos ou não com inibidores, através da verificação da perda de massa deles após o ensaio. Os ensaios serão realizados com aço extra doce, aço IF e bobina a quente para se comparar os resultados obtidos com os valores especificados pelas normas ASTM B117 e ISO 9227 para validação do equipamento quanto à corrosividade.

Será feita a caracterização microestrutural, utilizando um microscópio ótico e um microscópio eletrônico de varredura, e um teste de dureza para comparar os resultados com valores especificados no catálogo de laminados a frio e a quente da Companhia Siderúrgica Nacional para poder comprovar os materiais recebidos.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal dessa proposta de trabalho foi desenvolver um equipamento, obedecendo aos requisitos especificados pelas normas ASTM B117 e ISO 9227, que sirva para avaliar a resistência à corrosão por exposição à névoa salina de materiais metálicos. Outro objetivo, mais específico, foi avaliar a perda de massa por área dos corpos de prova dos materiais, comparando com os valores especificados pelas normas citadas, para verificar e validar o funcionamento do equipamento na realização dos ensaios.

3. JUSTIFICATIVAS

Esse projeto tem grande importância ao Campus do UniFOA, pois isentará a instituição de gastos na compra de equipamentos comerciais e ainda ficará à disposição de alunos e professores para atender a pesquisas que envolvam esse tema “corrosão”.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. LIGAS METÁLICAS

Em virtude de sua composição, as ligas metálicas são, frequentemente, agrupadas em ligas ferrosas, que tem como principal constituinte o ferro, incluindo os aços e os ferros fundidos, e as ligas não ferrosas, como o cobre, alumínio, magnésio, titânio etc [10].

4.1.1. Aços

A liga de aço-carbono é nomeada quando o Ferro e Carbono são apenas os elementos predominantes nela, mas podem conter outros elementos de liga em concentrações apreciáveis. Esses aços, considerados comuns ou comerciais, além do carbono como principal elemento de liga e um pouco de manganês, apresentam ainda concentrações residuais de impurezas como silício, fósforo e enxofre, resultantes dos produtos utilizados na fabricação do ferro gusa e do aço. O teor de carbono desses aços varia entre 0,008 e 2 %, sendo que acima de 2,06 % de C, a liga é denominada ferro fundido. Nos aços-liga, mais elementos de liga são intencionalmente adicionados em concentrações específicas e dosadas, como o Cobalto, Cromo, Níquel, Manganês, Molibdênio, Vanádio e o Tungstênio, de acordo com a finalidade a que se destina um tipo de aço. Alguns dos aços mais comuns são classificados de acordo com a concentração de carbono, conforme mostrado na tabela 1 [1,10,11,12].

Tabela 1 - Classificação dos aços segundo o teor de carbono

Fonte: [12]

Aços	Teor de Carbono	Aplicações
Extra doce	Menos de 0,15%	Aplicados em situações que exigem ductilidade elevada, por exemplo, chapas para estampagem.
Baixo teor de carbono	de 0,15% a 0,30%	Aplicados em serralherias para fabricação de grades e portões.
Médio teor de carbono	de 0,30% a 0,60%	São utilizados em engrenagens, bielas e outros componentes mecânicos.
Alto teor de carbono	acima de 0,60%	São comumente utilizados em trilhos, molas, componentes agrícolas sujeitos ao desgaste etc.

Esses materiais podem vir dispostos em laminados com seções retas, redondas, quadradas, sextavadas, chatas etc., conforme figura 1.



Figura 1 - Barras de aço carbono utilizadas na construção de grades ou portões

Fonte: [13]

E podem ser fornecidos também em formas de bobinas e chapas (figura 2).



Figura 2 - Bobinas e chapas de aço

Fonte: [14]

Algumas aplicações desses materiais (fogões, estruturas metálicas, automóveis, rodas, tubos etc), conforme figura 3.



Figura 3 - Aplicabilidades dos aços

Fonte: [14]

4.2. CORROSÃO

A corrosão, em geral, é um processo espontâneo, que constantemente deteriora os materiais metálicos, através de reações químicas com seus ambientes, associadas ou não a esforços mecânicos [3]. Segundo Pannoni [15], a energia é que leva os metais puros e suas ligas ao processo corrosivo, conforme evidenciado na figura 4, que mostra o processo de produção dos metais a partir dos minérios, por exemplo, óxidos existentes na natureza. Esses processos consomem energia e é natural que as ligas metálicas, portanto, ao ficarem expostas em seus ambientes, revertam ao seu estado de origem, de menor energia.

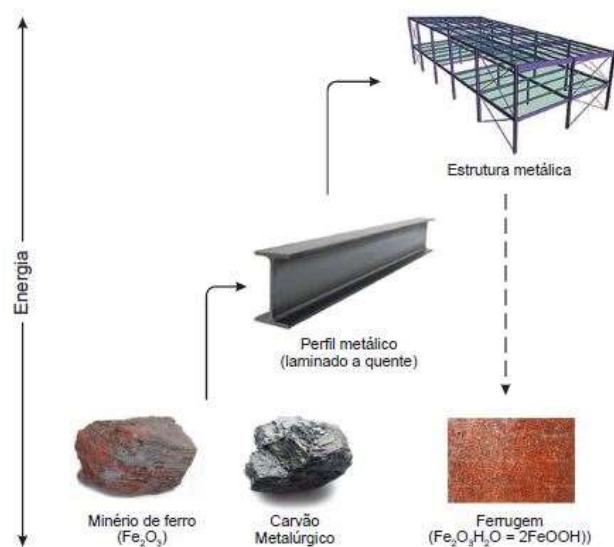


Figura 4 - Processo de produção dos metais

Fonte: [15]

4.2.1. Problemas de corrosão

Os problemas de corrosão são frequentes e assumem uma importância transcendental na vida moderna, ocorrendo nas mais variadas atividades, como, por exemplo, na construção civil, nas indústrias química, petrolífera, naval, automobilística, nos meios de transportes aéreo, ferroviário, metroviário, marítimo, rodoviário, na odontologia, na ortopedia etc. Todas essas instalações representam investimentos vultosos que exigem durabilidade e resistência à corrosão que os justifiquem e que acidentes sejam evitados com danos materiais incalculáveis ou danos pessoais irreparáveis [3].

Um dos problemas de corrosão constatado recentemente foi da obra do 1º porto no Piauí, em Luís Correia, que há 37 anos vem se arrastando e já com um custo de R\$ 390 milhões. Em 2008, só para recuperação da estrutura do cais, foram gastos R\$ 10 milhões. O Porto, após esses anos de descaso, é apenas um cais abandonado, com materiais, estrutura e maquinários, totalmente, deteriorados e enferrujados. A figura 5 mostra as estruturas de ferro utilizadas nas obras do porto oxidadas [16].



Figura 5 - Maresia já provocou a oxidação das estruturas de ferro utilizadas nas obras do porto

Fonte: [16]

4.2.2. Formas de corrosão

É muito importante conhecer as diferentes formas ou tipos em que pode ocorrer a corrosão para o estudo dos processos corrosivos. A seguir serão apresentadas formas distintas de corrosão, segundo a morfologia (aparência ou forma de ataque), cujo conhecimento auxilia bastante no esclarecimento do artifício e na aplicação de medidas protetivas adequadas [4]:

- **Uniforme:** A corrosão ocorre em toda a superfície do material, ocorrendo diminuição uniforme de espessura, mas é a forma de corrosão menos agressiva. A Figura 6 apresenta alguns pregos que sofreram esse tipo de corrosão.



Figura 6 - Corrosão uniforme

Fonte: [4]

- **Por placas:** A corrosão se processa em algumas regiões e não em toda a extensão da superfície metálica, formando placas com escavações (figura 7).



Figura 7 - Corrosão em placas

Fonte: [17]

- **Alveolar:** A característica desse tipo de corrosão se apresenta com fundo arredondado, em forma de sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos (figura 8).



Figura 8 - Corrosão alveolar

Fonte: [18]

- **Puntiforme ou por pite:** A corrosão se processa em regiões ou em áreas pequenas espalhadas ao longo da superfície metálica, produzindo pites (cavidades), conforme evidenciado na figura 9.

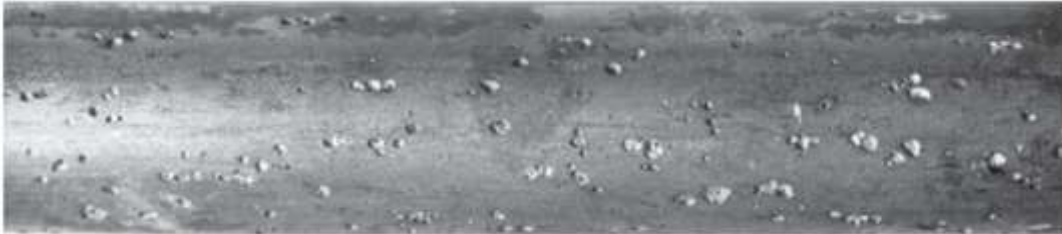


Figura 9 - Corrosão por pite em tubo de aço inoxidável AISI 304

Fonte: [3]

- **Intergranular (ou intercristalina):** Esse processo de corrosão penetra na rede cristalina entre os grãos, segundo figura 10, levando o material metálico a perder suas propriedades mecânicas e podendo levá-lo a fraturar quando solicitado por esforços mecânicos, resultando em corrosão sob tensão fraturante (CTF) (*Stress Corrosion Cracking - SCC*).

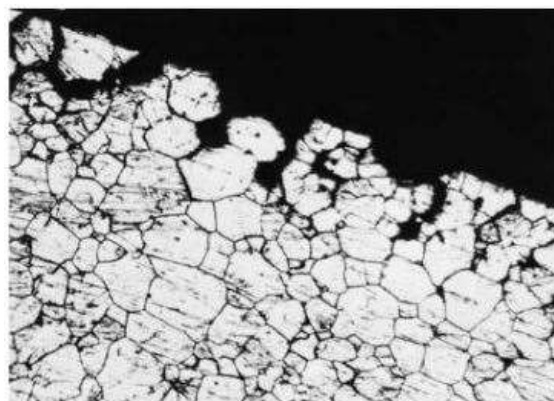


Figura 10 - Corrosão intergranular

Fonte: [4]

- **Filiforme:** A característica desse tipo de corrosão se manifesta em forma de finos filamentos (entre os riscos que aparecem com ferrugem) que se propagam em diferentes direções e não muito profundos, e ocorre geralmente em superfícies metálicas revestidas com tintas ou com metais, ocasionando o deslocamento do revestimento (figura 11).



Figura 11 - Corrosão filiforme

Fonte: [17]

- **Grafítica:** O ferro fundido cinzento sofre esse tipo de corrosão, em temperatura ambiente, com a conversão do ferro metálico, deixando a área corroída com aspecto escuro, característico da grafita, que fica intacta e que pode ser facilmente retirada com espátula (figura 12).



Figura 12 - Corrosão gráfita do ferro fundido cinzento

Fonte: [3]

- **Dezincificação:** Essa corrosão ocorre em ligas de cobre-zinco (latões), corroendo, preferencialmente, o zinco e observando-se o aparecimento de regiões com coloração avermelhada, característica do cobre, diferenciando da coloração amarela típica dos latões. A figura 13 mostra trecho de uma tubulação de latão, destacando as regiões mais escuras com deposição de gordura e absorção de NaCl (dezincificação).



Figura 13 - Corrosão por dezincificação em latão

Fonte: [3]

- **Por esfoliação:** Essa corrosão se processa, paralelamente, à superfície metálica e de forma volumosa, desintegrando o material em forma de placas paralelas à superfície. Ocorrem em ligas de alumínio, chapas ou componentes extrudados que tiveram seus grãos alongados e achatados, transformando em plaquetas alongadas as inclusões ou segregações, presentes no material, devido ao trabalho mecânico (figura 14).



Figura 14 - Corrosão por esfoliação

Fonte: [18]

4.2.3. Corrosão atmosférica do aço

O aço carbono apresenta boa resistência à corrosão quando o meio é fortemente alcalino sem aplicação de tensão, neutro desaerado e isento de água ou umidade. Ele sofre corrosão do tipo uniforme e generalizada quando em contato com a atmosfera ou qualquer outro meio contendo oxigênio, água ou umidade, alterando a composição química do material com a formação da ferrugem, que normalmente não passiva o aço. A camada de óxidos é altamente porosa e ocasiona a continuidade do processo de corrosão, e quando em atmosferas não poluídas e com umidade inferior a 60%, o progresso da ferrugem é lento [11].

O encontro do íon ferroso com a hidroxila, formados através de reações eletroquímicas, respectivamente, nas áreas anódicas e catódicas, quando se encontram, precipitam produtos que originarão ferrugens. À medida que as áreas anódicas vão se corroendo, a ferrugem vai sendo exposta e com o tempo, pode ser observada, de forma macroscópica e uniforme, em toda superfície do material, com elétrons fluindo dentro do metal e íons fluindo no eletrólito superficial, conforme figura 15 [19].

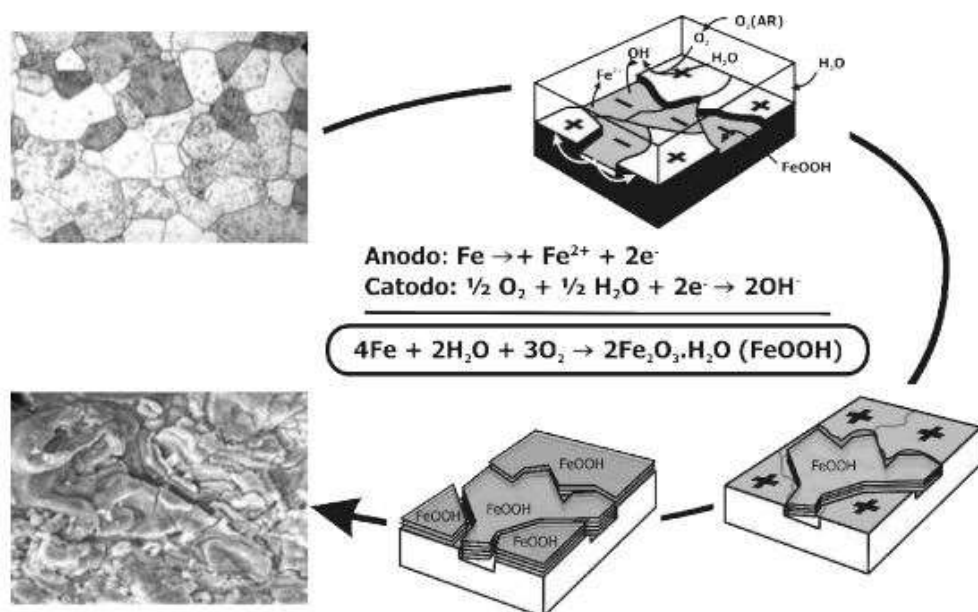


Figura 15 - Representação esquemática, simplificada, do mecanismo de corrosão atmosférica do aço carbono

Fonte: [19]

Segundo Pannoni [19], pode-se definir o tempo de umedecimento como sendo a fração de tempo decorrido em que a superfície metálica fica umedecida por excesso ou por uma camada macroscópica de água, devido à chuva, neblina ou orvalho, que são relevantes para a velocidade da corrosão. A deposição de cloretos, em ambientes marinhos, é através de ação da gravidade, ou, então, filtrados pela vegetação, edificações, etc., e usualmente decresce quando se aumenta a distância da praia (região de arrebentação costeira). As taxas de deposição de Cl^- nesses ambientes se situam na faixa de 5 a 1.500 mg $\text{NaCl}/\text{m}^2/\text{dia}$ e em áreas urbanas e industriais são, de modo geral, inferiores a 10% daquelas apresentadas pelo SO_2 .

Segundo Gentil [3], o MgCl_2 , existente na água do mar, é um possível agente na ação corrosiva da atmosfera marinha. A presença desse sal deliquescente na névoa salina, juntamente com o cloreto de sódio e água, que são eletrólitos fortes, criam condições favoráveis à corrosão, por absorver umidade atmosférica e tornar a superfície metálica sempre umedecida. Em ambiente marinho, a corrosão é influenciada principalmente pela umidade e é acentuada pelos contaminantes como o NaCl . O tempo de exposição à umidade é uma variável crítica e a composição química da película de água também é importante na determinação da taxa de corrosão do aço [20].

Em peças de aço carbono, quando estiverem em contato com a atmosfera, enterradas ou em contato com o solo, geralmente, é obrigatório o uso de revestimentos anticorrosivos ou pinturas para evitar graves processos corrosivos de forma uniforme e de forma por pites perfurante. Elementos de liga como cromo, cobre, nióbio ou níquel, quando adicionados em pequenas quantidades, contribuem para melhorar a resistência à corrosão atmosférica do aço, podendo dispensar a aplicação de pintura [15].

A seguir são mostrados alguns valores típicos para diversos ambientes da velocidade média de corrosão, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Valores da velocidade média de corrosão de aços carbono para diversos ambientes

Fonte: [21]

LOCAL	AMBIENTE	VELOCIDADE MÉDIA μm/ano
Sorocaba, SP, Brasil	Rural	15
Brasília, DF, Brasil	Urbana	9
São Paulo, SP, Brasil	Urbana	40
Cubatão, SP, Brasil	Industrial	61
Santo André, SP, Brasil	Industrial	69
Praia Grande, SP, Brasil	Marinho	171
Arraial do Cabo, RJ, Brasil	Marinho	126
Nota: 1 μm (1 micron) = 0,001 mm		

4.2.4. Ensaios de corrosão

Os ensaios de corrosão caracterizam a agressividade de um determinado meio corrosivo, fornecem fundamentos básicos para o controle da corrosão e devem satisfazer as exigências de reprodutibilidade de resultados. Esses ensaios são realizados sob condições reais do meio corrosivo, em que a peça a ser testada é diretamente exposta a condições de ataque muito variáveis e às vezes não controláveis. Os ensaios de campo são avaliações mais corretas da ação do meio corrosivo sobre o material metálico, são úteis quando se quer estudar a eficiência de medidas de proteção anticorrosiva e estimar a durabilidade provável nesse meio. Os ensaios de laboratório são úteis quando se quer estudar o modo do tipo de corrosão ou indicar o material metálico mais adequado para determinado meio corrosivo, mas não se consegue reproduzir todas as condições reinantes no meio corrosivo. Nesses ensaios laboratoriais, para conseguir resultados mais rápidos, usam-se pequenos corpos de prova bem definidos por normas técnicas, fixando com exatidão a

composição do meio corrosivo, mantendo constantes as condições do ensaio e acelerando o processo [4].

4.2.4.1. Ensaio de névoa salina (salt spray)

Esse ensaio de corrosão acelerada tem como propósito duplicar em laboratório o desempenho perante corrosão em campo de um produto, proporcionando aos cientistas e engenheiros formas rápidas de se desenvolver novos produtos. Durante anos, esse ensaio teve ampla utilização por pesquisadores para se avaliar novos revestimentos metálicos, pinturas inovadoras de revestimentos, e também para avaliar diversos tipos de tratamentos químicos e pré-tratamentos de pintura para utilização em chapas de aço com revestimento metálico [5].

O ensaio é realizado com uma solução aquosa, num volume de água destilada ou desmineralizada com, aproximadamente, 5% de NaCl, para a obtenção de 1 L de solução, à temperatura ambiente. Os corpos de prova planos devem ser dispostos somente na zona da câmara de ensaio na angulação de 15° a 30° com a vertical e o posicionamento deve ser, preferencialmente, paralelo ao fluxo horizontal da névoa salina. A temperatura no interior da câmara deve ser mantida em $(35 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e deve ser observada com frequência para que sejam observadas todas as oscilações possíveis na zona de exposição da câmara de ensaio. Para a obtenção dos resultados, os cp's devem ser secados para, imediatamente, ser efetuada uma cuidadosa avaliação quanto à extensão da corrosão e de outras falhas, conforme estabelecido pelas especificações apropriadas [22].

4.3. DESCRIÇÃO DE EQUIPAMENTOS SALT SPRAY COMERCIAIS

As figuras 16, 17 e 18 mostram alguns modelos de equipamentos que realizam ensaios de Salt Spray (névoa salina) em corpos de prova metálico ou não metálico revestidos com camadas orgânicas ou inorgânicas, atendendo a Normas técnicas. O equipamento Salt Spray EQUILAM Modelo SS600E tem um custo de R\$ 46.527,83, segundo orçamento solicitado e enviado pelo vendedor.



Figura 16 - Modelos Bass USC 03/02/01

Fonte: [7]



Figura 17 - Equipamento Salt Spray EQUILAM

Fonte: [8]



Figura 18 - Câmara Salt Spray modelos SSI

Fonte: [23]

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. MATERIAIS

5.1.1. Materiais utilizados para construção do equipamento

- **Montagem da câmara de névoa salina:** 5 placas de vidro, quatro tiras de madeira, quatro cantoneiras de alumínio e silicone;
- **Sistema de aquecimento:** 2 bocais de cerâmica, duas lâmpadas incandescentes de 100 W, 3 m de fio condutor anti-chamas com bitola de 1,5 mm², 1 m de calha de PVC, uma caixinha de acrílico e um controlador de temperatura Novus N321-NTC;
- **Sistema para pulverização:** 1 tubo de PVC de 3/4", duas uniões de 25 mm x 3/4", um joelho de 25 mm e um umidificador de ar Britânia Fresh 5 L;
- **Sistema de coleta da solução pulverizada:** Uma mangueira de silicone de 1/4", um bico de plástico de 1/4", dois galões de 5 L, resina acrílica-A1 e líquido auto-polimerizante-A2;
- **Porta-amostras:** Madeira;
- **Teto da câmara:** Duas chapas triangulares e duas retangulares de acrílico, tek bond 793, duas dobradiças e rebites.

5.1.2. Materiais utilizados nos testes com o equipamento

- **Aço extra doce** - São aços com teores de carbono abaixo de 0,15%;
- **Aço IF** - São aços livres de elementos intersticiais (Interstitial Free) e se destacam no grupo de aços para estampagem especial (EEP-IF) por possuírem ótima conformabilidade, graças aos baixíssimos níveis de impureza (carbono e nitrogênio), com vasta aplicabilidade na indústria automobilística, seu principal mercado consumidor [14];
- **Bobina a quente** - É um aço ao carbono-manganês sem adição de elementos microligantes e é produzida, nas espessuras de 1,20 a 5,00 mm, em moderno Laminador de Tiras a Quente da CSN, largamente empregada em construção civil e mecânica, estampagem, estrutural de boa conformabilidade, estrutural de alta resistência mecânica e à corrosão atmosférica [14].

5.1.3. Materiais de insumo utilizados antes e após os testes com o equipamento

- **Verificação da massa inicial e final:** Balança analítica BEL M214Ai, com capacidade de 220g e com resolução de 0,0001g;
- **Armazenagem das amostras:** Dessecador;
- **Solução aquosa:** Um béquer com capacidade de 250 ml e uma solução aquosa de 250 g de NaCl;
- **Limpeza química:** Uma solução de 200 g de citrato de diamônio $[(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7]$, água destilada, álcool etílico e secador.

5.2. MÉTODOS

5.2.1. Construção do equipamento

5.2.1.1. Câmara de névoa salina

A câmara foi feita com cinco placas de vidro de 400,00 mm x 400,00 mm x 4,77 mm, fixadas com silicone e reforçadas, externamente, com cantoneiras de alumínio parafusadas em tiras de madeira de 400,00 x 55,00 mm, contornando as faces da câmara para melhorar sua sustentabilidade (figura 19).



Figura 19 - Montagem da câmara

Fonte: (Autor)

5.2.1.2. Sistema para pulverização

Foi feito um furo central de 40 mm numa face da câmara (figura 20), no qual será colocado um tubo de pvc de 3/4" e com, aproximadamente, 400 mm de comprimento entre duas uniões de 25 mm x 3/4" e um joelho de 25 mm, que farão a conexão entre a solução pulverizada e a câmara (figura 21).

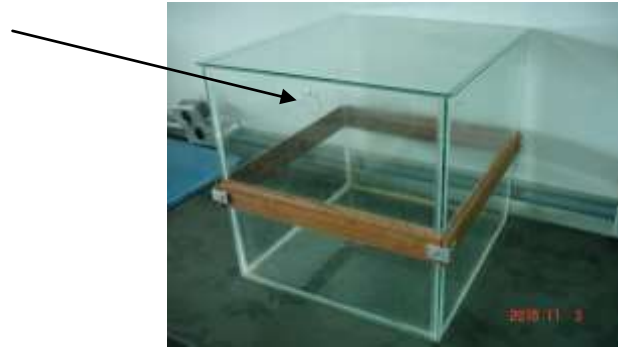


Figura 20 - Furo central para colocação do tubo de PVC

Fonte: (Autor)



Figura 21 - Tubo de PVC, união e joelho

Fonte: (Autor)

A montagem do sistema para pulverização da solução para o interior da câmara é mostrada com detalhes na figura 22.



Figura 22 - Sistema de pulverização

Fonte: (Autor)

5.2.1.3. Sistema de aquecimento

Foram feitos outros dois furos, também de 40 mm de diâmetro, em faces opostas da câmara para a fixação de bocais de cerâmica, utilizando silicone, conforme figura 23, nos quais serão colocadas lâmpadas incandescentes de 100 W.



Figura 23 - Fixação dos bocais

Fonte: (Autor)

O fio condutor anti-chamas com bitola de $1,5 \text{ mm}^2$ foi encaminhado dentro de calhas de PVC, contornando a câmara até chegar às lâmpadas incandescentes de 100 W, que serão ligadas normalmente em tomadas de 110 V e que funcionarão como dispositivos de aquecimento da câmara (figura 24 e 25).

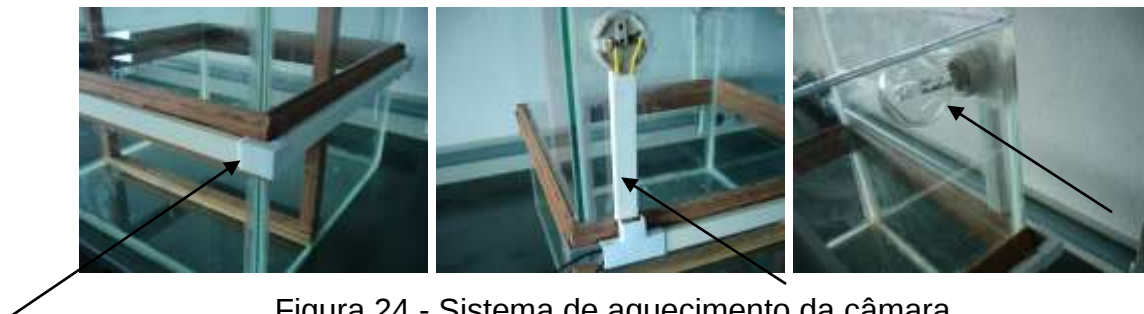


Figura 24 - Sistema de aquecimento da câmara

Fonte: (Autor)



Figura 25 - Funcionamento do sistema de aquecimento

Fonte: (Autor)

Foi feita uma caixinha de acrílico (ANEXO 1), colada e fixada com tek bond 793 na parte externa da câmara, e apoiada sobre uma mão francesa (figura 26), em que será colocado o controlador de temperatura Novus N321-NTC de capacidade de 150°C. Desse controlador saem dois fios, um que é ligado normalmente numa tomada de 110 V e o outro que possui um termopar em sua extremidade, é colocado no interior da câmara, próximo às amostras, para monitorar, constantemente, a temperatura durante o ensaio.

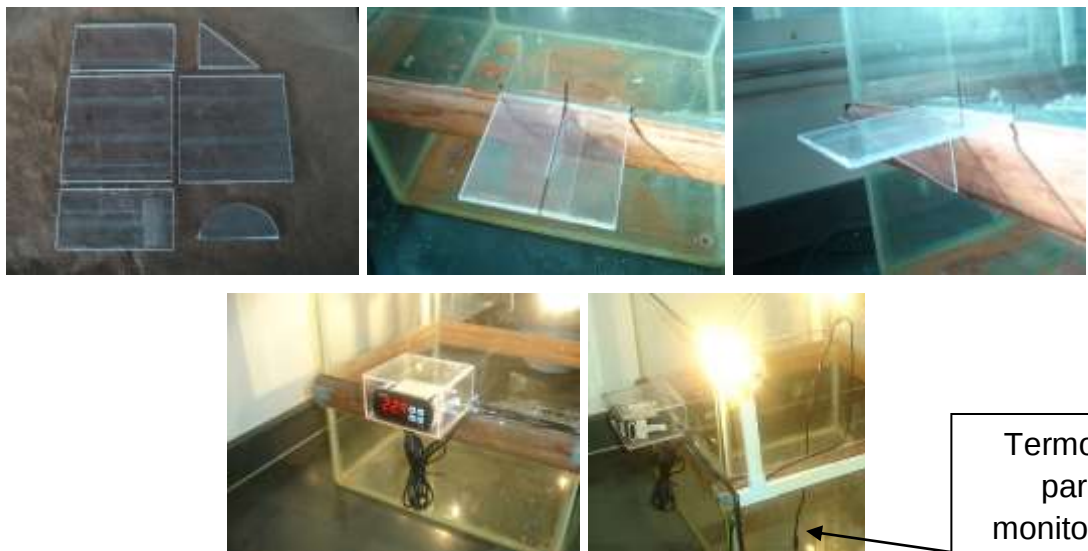


Figura 26 - Controlador de temperatura

Fonte: (Autor)

5.2.1.4. Reservatório / pulverizador

Um umidificador de ar Britânia Fresh 5 L, fará o papel de pulverizador, injetando um nevoeiro salino sobre as amostras dispostas dentro da câmara, e de reservatório para a solução com concentração de 5% de NaCl, simulando uma atmosfera marinha em laboratório.

Foi utilizado um béquer com capacidade de 250 ml para abastecer o reservatório do pulverizador para se medir o consumo de solução num determinado tempo, conforme figura 27.



Figura 27 - Pulverizador / reservatório e béquer

Fonte: (Autor)

Foram feitos testes com 5000 ml de água, durante 2 horas, com a válvula reguladora da vazão do nevoeiro posicionada nas marcações feitas na parte frontal do umidificador de 1 a 8, conforme figura 28.



Figura 28 - Válvula reguladora da vazão do nevoeiro

Fonte: (Autor)

A tabela 3 mostra o tempo de consumo e a vazão de 5000 ml de solução em segundos nas posições de 1 a 8 da válvula.

Tabela 3 - Tempo de consumo e vazão da solução

Posição	Tempo do Consumo de 5000 ml de Solução (s)	Vazão (ml/s)
1	0,00	0,00
2	9600,00	0,52
3	8040,00	0,62
4	3180,00	1,57
5	1860,00	2,69
6	1800,00	2,78
7	900,00	5,56
8	870,00	5,75

5.2.1.5. Sistema para coleta da solução pulverizada

Um bico de plástico de 1/4" foi fixado na câmara, utilizando uma resina acrílica-A1, juntamente com um líquido auto-polimerizante-A2, conforme figura 29.



Figura 29 - Colagem do bico

Fonte: (Autor)

Foram utilizados também uma mangueira de silicone de 1/4" e dois galões de 5 L (figura 30), sendo que uma ponta daquela foi fixada com tek bond 793 no bico colado na câmara.

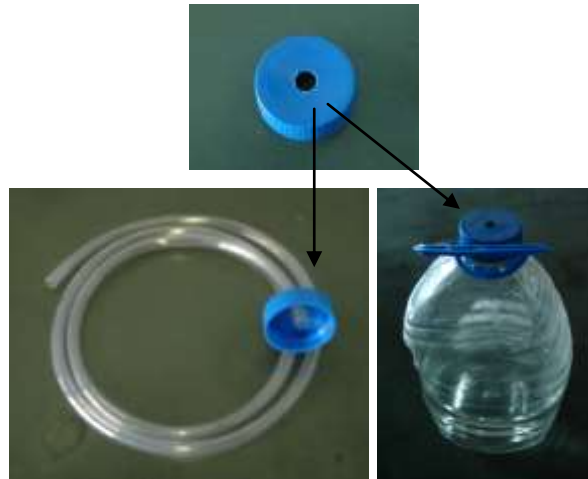


Figura 30 - Mangueira e galão

Fonte: (Autor)

O conjunto agirá como sistema de coleta da solução pulverizada acumulada no fundo da câmara, direcionando a solução para um galão posicionado sob a bancada do equipamento (figura 31).



Figura 31 - Sistema para coleta da solução

Fonte: (Autor)

5.2.1.6. Porta-amostra

Foram confeccionados dois porta-amostras de madeira, em forma de U, com 377 mm de largura e 377 mm de altura, e um suporte com 15 furos, parafusado na porta-amostra, conforme figura 32, em que serão penduradas as amostras a serem submetidas ao ensaio.



Figura 32 - Suporte porta-amostra

Fonte: (Autor)

Outros dois suportes foram confeccionados, também de madeira, seguindo as recomendações da norma ASTM B117 [24], com encaixes de 15° e 30°, para cp's planos, mostrados na figura 33.



Figura 33 - Suporte porta-amostra com encaixes na angulação de 15° e 30°

Fonte: (Autor)

5.2.1.7. Teto da câmara

Para a confecção da tampa, foram extraídas duas placas triangulares e duas retangulares de uma chapa de acrílico de 2000 mm x 1000 mm x 3 mm, conforme figura 34.



Figura 34 - Chapa de acrílico

Fonte: (Autor)

Foi utilizada uma serra tico-tico para cortar as placas de acrílico. As dimensões dessas placas estão detalhadas no ANEXO 2 (figura 35).

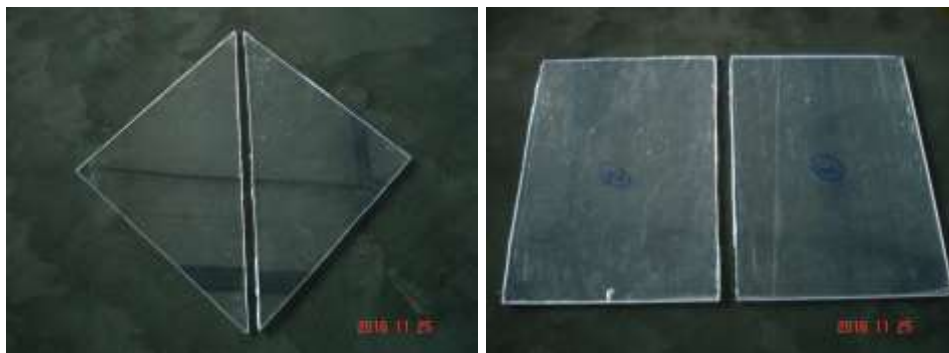


Figura 35 - Chapas triangulares e retangulares de acrílico

Fonte: (Autor)

A parte fixa da tampa foi colada e esquadrejada, utilizando, respectivamente, tek bond 793 e esquadro. Em seguida foi reforçada com resina acrílica-A1, juntamente com um líquido auto-polimerizante-A2 (figura 36).



Figura 36 - Tampa fixa de acrílico

Fonte: (Autor)

A parte fixa da tampa de acrílico foi posicionada e fixada sobre a câmara de vidro, utilizando tek bond 793 e resina acrílica-A1, juntamente com um líquido auto-polimerizante-A2, conforme figura 37.



Figura 37 - Fixação da tampa de acrílico

Fonte: (Autor)

Para a montagem da parte móvel da tampa, foram utilizadas uma parafusadeira, rebitadeira e rebites para fixação das dobradiças na placa de acrílico (figura 38).



Figura 38 - Fixação das dobradiças

Fonte: (Autor)

A figura 39 mostra, detalhadamente, a fixação da parte móvel na parte fixa da tampa de acrílico, utilizando rebites. Segundo a norma ASTM B117 [24], o teto da câmara deve ter uma angulação de 90 a 125°.



Figura 39 - Fixação das dobradiças na parte fixa da tampa

Fonte: (Autor)

O puxador, em forma de meia circunferência de Ø 65 mm, foi feito de acrílico e fixado com tek bond 793 na parte móvel da tampa da câmara (figura 40).



Figura 40 - Puxador fixado na parte móvel da tampa

Fonte: (Autor)

5.2.2. Preparação dos corpos de provas dos materiais para a realização dos testes com o equipamento

5.2.2.1. Corte dos cp's

Foi utilizada uma guilhotina MANROD SchneidenMetall MR-578 do Laboratório de Oficina Mecânica do UniFOA (figura 41) para cortar 15 cp's de aço extra doce e 15 de aço IF, e 12 de BQ nas dimensões de 150,00 mm x 70,00 mm, conforme figura 42, obedecendo às exigências do item 5.2.1 da norma ISO 9227-2006 [25].



Figura 41 - Calandra + Viradeira + Guillhotina

Fonte: (Autor)



Figura 42 - Corte dos cp's dos aços

Fonte: (Autor)

5.2.2.2. Limpeza dos cp's para verificação da massa inicial (antes do ensaio)

Segundo a norma ISO 9227-06, os cp's de aço devem ser, cuidadosamente, limpos antes do ensaio, salvo especificação em contrário. O método de limpeza utilizado dependerá da natureza do material, da sua superfície e dos contaminantes, não incluindo o uso de quaisquer abrasivos ou solventes que possam atacar a superfície das amostras. Deve-se tomar cuidado para que os cp's não sejam recontaminados após a limpeza por manuseio descuidado [25].

Como os cp's apresentavam vestígios de óleos e sujeiras, foram, adequadamente, limpos antes do teste com um solvente orgânico apropriado e um

pano limpo para isenção desses contaminantes presentes que poderiam comprometer a avaliação dos resultados.

Foi utilizada uma balança analítica BEL M214Ai com capacidade de 210g e com resolução de 0,0001g do Laboratório de Ensaios de Materiais do UniFOA para verificação da massa inicial antes do ensaio (figura 43).



Figura 43 - Balança analítica

Fonte: (Autor)

5.2.2.3. Medição e armazenamento dos cp's

Foi utilizado um paquímetro para medir a largura e comprimento, e um micrômetro para medir a espessura dos cp's (figura 44).



Figura 44 - Medição das dimensões dos cp's

Fonte: (Autor)

Os cp's foram armazenados em dessecadores, durante todo o período de ensaio, contendo sílica-gel para manter a umidade relativa inferior a 50%, a fim de evitar o início de corrosão ou seu posterior desenvolvimento (figura 45).



Figura 45 - Dessecador

Fonte: (Autor)

5.2.2.4. Solução aquosa para o ensaio

Foi preparada no Laboratório de Química Analítica e Orgânica do UniFOA uma solução aquosa pela dissolução de (250 ± 5) g de cloreto de sódio (5% de NaCl) num volume de água, permitindo a obtenção de 5 L de solução, à temperatura ambiente, conforme figura 46.



Figura 46 - 5 L de Solução de NaCl

Fonte: (Autor)

5.2.2.5. Disposição dos cp's

Os cp's foram dispostos nos porta amostras em ângulo de 15° e 30° com a vertical e colocados dentro da câmara para o início do teste, sendo 6 no porta-amostra com encaixes a 15° e 9 no porta-amostra com encaixes a 30°, conforme figura 47.



Figura 47 - Disposição dos cp's no interior da câmara

Fonte: (Autor)

5.2.3. Realização dos testes com o equipamento

O ensaio de névoa salina do aço extra doce foi realizado com 15 amostras dispostas dentro da câmara, começando no dia 23/03/2017 e terminando em 25/03/2017, conforme figura 48. O outro ensaio foi realizado com 15 amostras do aço IF e com 12 da BQ, começando em 01/06/2017 e terminando em 03/06/2017, todos realizados num período de exposição de 48 horas e com uma vazão de nevoeiro de 1,57 ml/s na posição 4 da válvula.

As condições de ensaio foram observadas, constantemente, como, por exemplo, a temperatura da zona de exposição da câmara de ensaio, que ficou mantida a uma temperatura de $(35 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e foi verificada através de um controlador de temperatura colocado, externamente, à câmara, para que todas as suas oscilações fossem notadas.

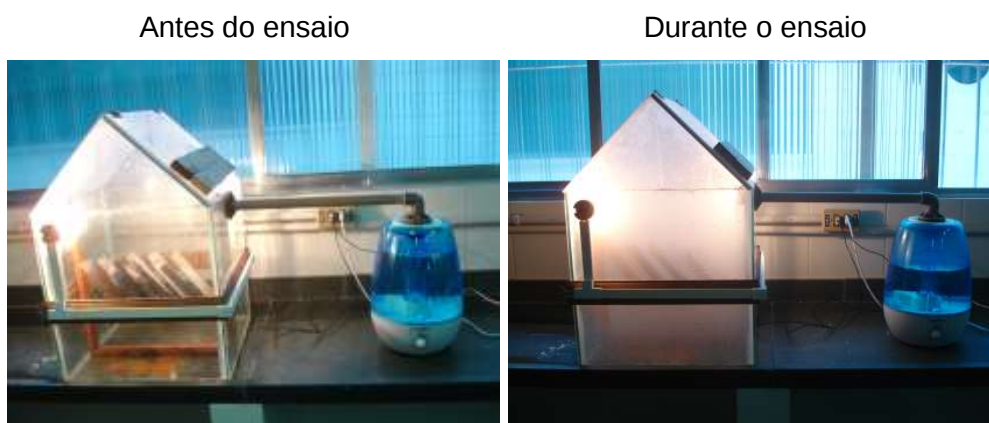


Figura 48 - Ensaio de névoa salina

Fonte: (Autor)

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

6.1.1. Aço extra doce

Foi feita a microscopia ótica, utilizando um microscópio metalográfico invertido OPTON TNM-07T-PL do Laboratório de Metalografia do UniFOA com aumentos de 100x, 200x e 400x para comprovação do aço (figura 49).

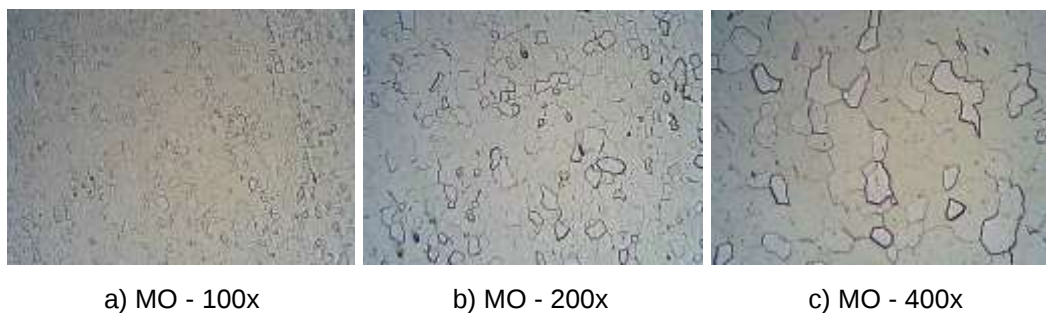


Figura 49 - Microscopia ótica do aço extra doce

Foi utilizado também um Microscópio Eletrônico de Varredura HITACHI TM3000 do Laboratório de Caracterização dos Materiais do UniFOA para caracterização do aço com os aumentos de 2000x, 4000x e 10000x (figura 50).

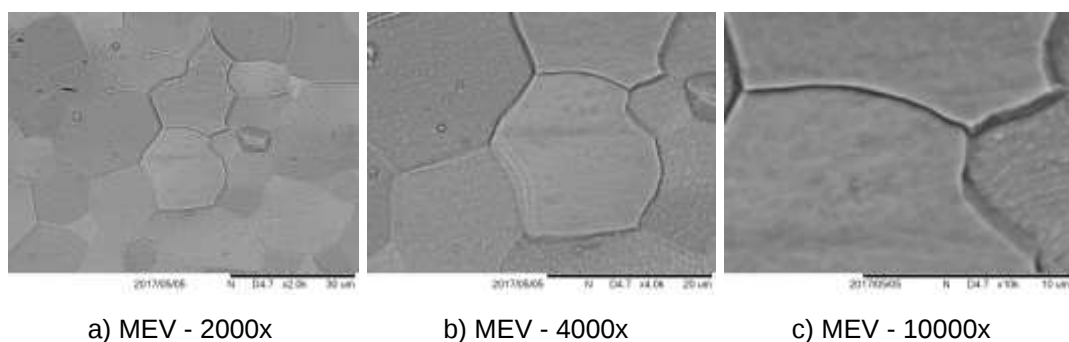


Figura 50 - Microscopia eletrônica de varredura do aço extra doce

Como não foi feita uma análise química para saber a real composição do material, através de uma caracterização microestrutural, em um microscópio ótico e em um microscópio eletrônico de varredura, ficaram evidenciados grãos ferríticos e contornos de grão, comprovando que é típico de um aço com baixíssimo teor de carbono (aço extra doce).

6.1.2. Bobina a quente

Foi feita uma MO, utilizando um microscópio metalográfico invertido OPTON TNM-07T-PL do Laboratório de Metalografia do UniFOA com aumentos de 100x, 200x e 400x (figura 51).



a) MO - Objetiva de 10x

b) MO - Objetiva de 20x

c) MO - Objetiva de 40x

Figura 51 - Microscopia ótica da BQ

Na microscopia ótica da BQ ficaram evidenciados grãos ferríticos e perlíticos, comprovando que é típico de um aço de médio teor de carbono, que varia de 0,3% a 0,6%.

6.2. ENSAIO DE DUREZA

Foi feita a Dureza Rockwell Normal, HRB, utilizando um Durômetro PANTEC RASN-RS, com 100Kgf de carga máxima e um penetrador esférico de aço temperado de 1/16” do Laboratório de Resistência dos Materiais do UniFOA para comprovação dos materiais. Seguem os valores encontrados no ensaio de dureza nas tabela 4 e 5:

Tabela 4 - Valores encontrados no ensaio de dureza do aço IF

Dureza Rockwell Normal (HRB)				
Amostra	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Média
IF	66	67	67	67

O valor da média encontrado no ensaio de dureza Rockwell Normal realizado no aço IF foi de 67 HRB (tabela 4), e ao se comparar com o valor especificado no catálogo de laminados a frio da CSN, que é de 70 HRB, concluímos que esse aço fornecido é de qualidade de estampagem média e com teor de carbono variando entre 0,02 / 0,15 %.

Tabela 5 - Valores encontrados no ensaio de dureza da BQ

Dureza Rockwell Normal (HRB)				
Amostra	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Média
BQ	99	99	99	99

O valor da média encontrado no ensaio de dureza Rockwell Normal realizado na BQ foi de 99 HRB (tabela 5), e ao se comparar com o valor especificado no catálogo de laminados a quente da CSN, que é de no mínimo 95 HRB, concluímos que esse aço fornecido tem teor de carbono máximo de 0,53 % e é considerado um aço com médio teor de carbono.

6.3. DIMENSÃO DOS CP'S DOS AÇOS

A tabela 6 mostra as dimensões dos cp's dos aços para cálculo da área.

Tabela 6 - Dimensão dos cp's dos aços

Material									
CP'S	Aço Extra Doce			Aço IF			BQ		
	L (m)	C (m)	A (m²)	L (m)	C (m)	A (m²)	L (m)	C (m)	A (m²)
1	0,0697	0,1507	0,0105	0,0706	0,1508	0,0106	0,0704	0,1515	0,0107
2	0,0697	0,1507	0,0105	0,0704	0,1509	0,0106	0,0704	0,1515	0,0107
3	0,0715	0,1507	0,0108	0,0698	0,1509	0,0105	0,0705	0,1516	0,0107
4	0,0698	0,1497	0,0104	0,0698	0,1508	0,0105	0,0693	0,1517	0,0105
5	0,0701	0,1503	0,0105	0,0701	0,1508	0,0106	0,0710	0,1492	0,0106
6	0,0716	0,1510	0,0108	0,0693	0,1508	0,0105	0,0700	0,1494	0,0105
7	0,0697	0,1508	0,0105	0,0703	0,1510	0,0106	0,0714	0,1491	0,0106
8	0,0701	0,1511	0,0106	0,0700	0,1509	0,0106	0,0704	0,1490	0,0105
9	0,0720	0,1516	0,0109	0,0693	0,1508	0,0105	0,0703	0,1513	0,0106
10	0,0697	0,1506	0,0105	0,0700	0,1507	0,0105	0,0690	0,1512	0,0104
11	0,0700	0,1511	0,0106	0,0697	0,1506	0,0105	0,0705	0,1508	0,0106
12	0,0715	0,1514	0,0108	0,0705	0,1506	0,0106	0,0695	0,1509	0,0105
13	0,0696	0,1503	0,0105	0,0696	0,1509	0,0105			
14	0,0701	0,1505	0,0106	0,0701	0,1508	0,0106			
15	0,0715	0,1509	0,0108	0,0695	0,1508	0,0105			
Média	0,0704	0,1507	0,0106	0,0699	0,1508	0,0105	0,0702	0,1506	0,0106

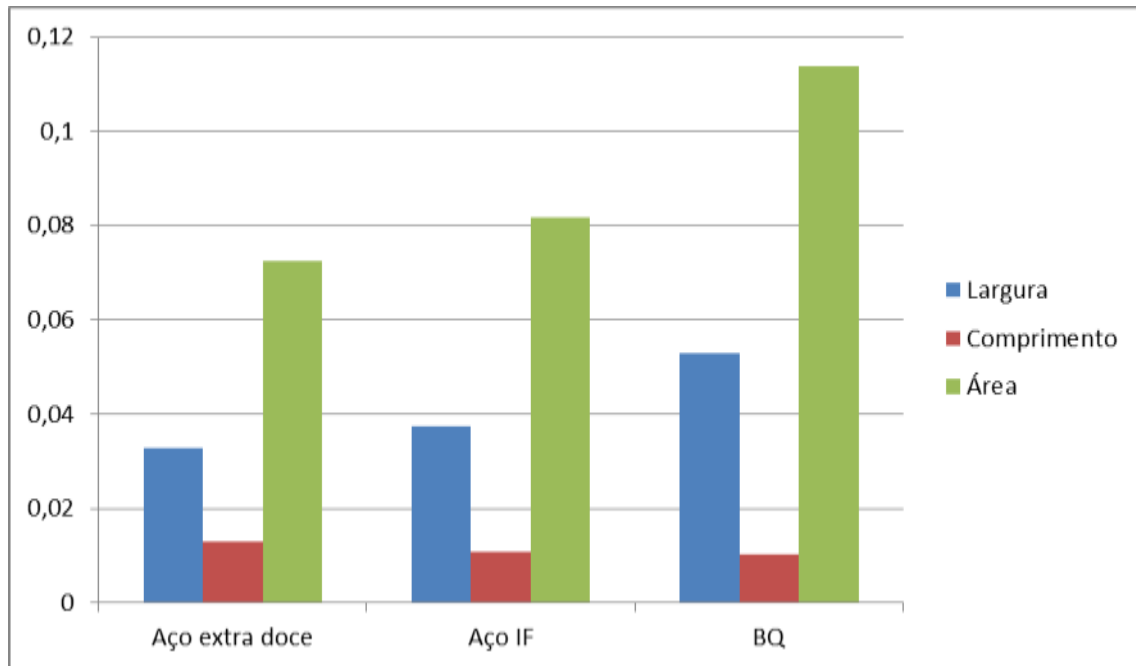
L = Largura

C = Comprimento

A = Área

O gráfico 1 mostra um comparativo entre as médias das dimensões dos cp's dos materiais envolvidos no ensaio.

Gráfico 1 - Média das dimensões dos cp's



Analisando o gráfico 1, observamos que o aço extra doce teve a menor média da área e a BQ teve a maior média da área de exposição à névoa salina.

6.4. COLETA DE DADOS APÓS O ENSAIO

6.4.1. Verificação do consumo e a avaliação do processo corrosivo

Ao final do ensaio, foi verificado um consumo de 3180,00 ml de NaCl, conforme figura 52.

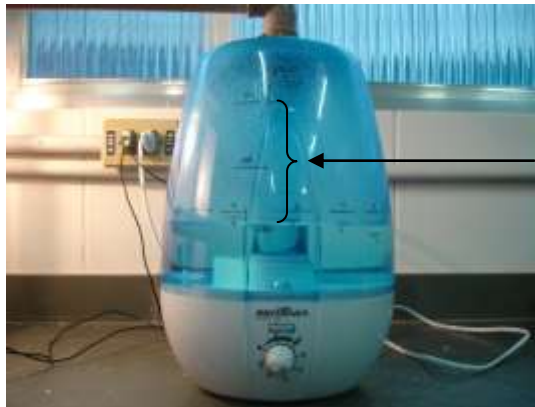


Figura 52 - Consumo de solução em 48 horas de exposição

Fonte: (Autor)

A figura 53 mostra o processo corrosivo dos cp's após o ensaio.



Figura 53 - Cp's do aço extra doce em processo de corrosão

Fonte: (Autor)

6.4.2. Limpeza química para verificação da massa final (após o ensaio)

Após o ensaio, os cp's foram submetidos à limpeza química, para a remoção dos produtos de corrosão, sendo submersas por 5 minutos em uma solução com uma fração em massa de 20% de citrato de diamônio $[(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7]$, e em seguida, eles foram limpos à temperatura ambiente com água destilada/deionizada, álcool etílico e seguido por secagem, conforme descrito na norma ISO 8407 (figura 54) [26].

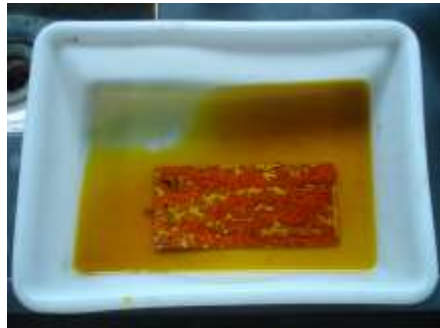


Figura 54 - Limpeza química

Fonte: (Autor)

Foi utilizada uma balança analítica para verificação da massa final dos cp's, após o ensaio (figura 55), para se calcular a perda de massa por área.



Figura 55 - Verificação da massa final

Fonte: (Autor)

Após a limpeza química foi feita uma análise do processo corrosivo nos cp's e foram observados pites (cavidades) em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica, constatando que a corrosão foi do tipo Puntiforme ou por pite.

6.4.3. Determinação da perda de massa por área para verificação do funcionamento do equipamento de salt spray

Para avaliar a perda de massa de metal por área (g/m^2), deve-se dividir a diferença entre as massas final e inicial pela área da superfície exposta do cp. O funcionamento do aparelho de ensaio é satisfatório se a perda de massa de cada cp for de $70 \pm 20 \text{ g/m}^2$ para um tempo de exposição de 48 horas.

A tabela 7 mostra as massas iniciais e finais dos cp's dos aços para cálculo das perdas de massa por área.

Tabela 7 - Perda de massa por área dos cp's dos aços

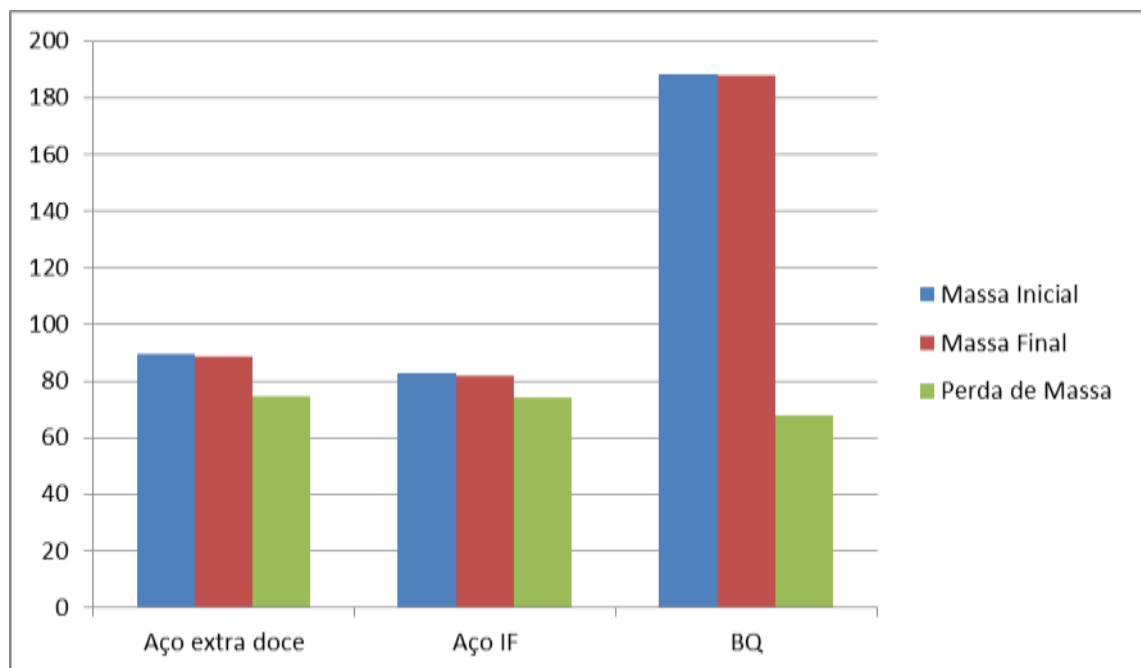
Material

CP'S	Aço extra doce				Aço IF				BQ			
	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área (m^2)	Perda de Massa (g/m^2)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área (m^2)	Perda de Massa (g/m^2)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área (m^2)	Perda de Massa (g/m^2)
1	88,6288	87,8359	0,0105	75,5143	83,7309	83,0354	0,0106	65,6132	185,3887	184,7738	0,0107	57,4673
2	88,3187	87,5200	0,0105	76,0667	83,6451	83,0322	0,0106	57,8208	185,5214	184,9076	0,0107	57,3645
3	91,0264	90,1459	0,0108	81,5278	83,1493	82,2324	0,0105	87,3238	191,1110	190,3696	0,0107	69,2897
4	88,6471	87,8427	0,0104	77,3462	83,1230	82,2873	0,0105	79,5905	188,0544	187,2917	0,0105	72,6381
5	88,7581	88,0260	0,0105	69,7238	83,4486	82,5494	0,0106	84,8302	190,5704	189,7993	0,0106	72,7453
6	90,5434	89,7750	0,0108	71,1481	82,5344	81,6260	0,0105	86,5143	187,3835	186,5110	0,0105	83,0952
7	88,0287	87,2766	0,0105	71,6286	83,1036	82,2715	0,0106	78,5000	190,0425	189,4249	0,0106	58,2642
8	87,8046	87,0005	0,0106	75,8585	82,9216	82,2567	0,0106	62,7264	188,4984	187,7210	0,0105	74,0381
9	92,1134	91,3306	0,0109	71,8165	82,1764	81,4203	0,0105	72,0095	191,4398	190,5240	0,0106	86,3962
10	89,5867	88,8212	0,0105	72,9048	83,1576	82,3644	0,0105	75,5429	186,4377	185,8731	0,0104	54,2885
11	90,2582	89,4370	0,0106	77,4717	82,4999	81,5585	0,0105	89,6571	189,4192	188,8146	0,0106	57,0377
12	92,1274	91,3331	0,0108	73,5463	83,6483	82,9563	0,0106	65,2830	186,2161	185,4856	0,0105	69,5714
13	89,0011	88,2452	0,0105	71,9905	81,0280	80,3124	0,0105	68,1524				
14	87,8513	87,0461	0,0106	75,9623	81,6520	80,8754	0,0106	73,2642				
15	90,8517	90,0255	0,0108	76,5000	81,9585	81,2810	0,0105	64,5238				

Os resultados foram satisfatórios depois da realização do ensaio acelerado de névoa salina, com exposição de 48 horas, ao comparar os valores das perdas de massa por área de cada cp, com o valor especificado pela norma, que deve ser de $70 \pm 20 \text{ g/m}^2$. Foi possível observar na tabela 7 que a perda de massa em função da área do aço extra doce, obteve somente dois valores destoantes dos demais ($81,5278 \text{ g/m}^2$ e $69,7238 \text{ g/m}^2$), a perda do aço IF variou de $57,8208 \text{ g/m}^2$ a $89,6571 \text{ g/m}^2$ e a perda de massa da BQ variou de $54,2885 \text{ g/m}^2$ a $86,3962 \text{ g/m}^2$.

O gráfico 2 mostra um comparativo entre as médias das massas e das perdas de massa por área dos cp's dos materiais envolvidos no ensaio.

Gráfico 2 - Média das massas e das perdas de massa por área dos cp's



Analisando o gráfico 2, percebemos que a BQ teve a menor média da perda de massa por área, enquanto que o aço extra doce teve a maior.

O valor médio da perda de massa e o desvio padrão foram calculados e mostrados na tabela 8, que se segue.

Tabela 8 - Valor médio da perda de massa e o desvio padrão

Material	Média da Perda de Massa (g/m²)	Desvio Padrão (g/m²)
Aço extra doce	74,6004	3,1269
Aço IF	74,0901	10,0499
BQ	67,6830	10,7733

Foram comparados também os resultados mostrados na tabela 8, do valor médio e do desvio padrão da perda de massa, referentes aos três materiais envolvidos no ensaio, com os valores encontrados por Souza e colaboradores [23]. Os valores encontrados por estes foram 73,28 g/m² e 3,73g/m², respectivamente, o valor médio e o desvio padrão da perda de massa, utilizando 18 cp's de aço 1008, durante uma exposição de 48 horas em um equipamento comercial (EQUILAM SS 600e). O equipamento desenvolvido mostrou eficácia em seu funcionamento, obtendo resultados satisfatórios, ao se comparar com resultados obtidos em equipamentos comerciais e ainda obedecendo às especificações das normas técnicas.

7. CONCLUSÃO

Concluiu-se que o objetivo principal do estudo foi atingido, o desenvolvimento de um equipamento de névoa salina, que serve para avaliar a resistência à corrosão em metais, seguindo os parâmetros determinados pelas normas ASTM B117-11 e ISO 9227-06. Foi percebido também, que ao aumentar a vazão de nevoeiro, houve um aumento progressivo da perda de massa por área dos materiais envolvidos no ensaio.

Os resultados experimentais das perdas de massa obtidos no equipamento desenvolvido foram satisfatórios, ao se comparar com os valores especificados pelas normas e com resultados, por exemplo, da Investigação da Corrosividade do Ensaio de Névoa Salina segundo Norma ISO 9227, realizado em 2011 por Souza e colaboradores.

O equipamento desenvolvido demonstrou ser capaz de realizar ensaios tão eficazes quanto os realizados pelos equipamentos tradicionais, pela homogênea corrosividade, atendendo à norma técnica ISO 9227-06, já que a perda de massa média em função da área obtida após o ensaio de névoa salina dos aços variou de $67,6830 \text{ g/m}^2$ a $74,6004 \text{ g/m}^2$, dentro do valor especificado pela norma, que é de $70 \pm 20 \text{ g/m}^2$.

O custo final para montagem desse equipamento foi de, aproximadamente, R\$ 560,00, representando 1,2043 %, ao se comparar com o valor de um equipamento comercial e tradicional (EQUILAM), que é de $\pm \text{R\$ } 46.500,00$.

Este equipamento construído gerará o depósito de uma patente, isentará o UniFOA de custos e ainda ficará à disposição dos alunos e professores da instituição para realizar pesquisas que envolvam “corrosão”.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A máquina foi desenvolvida dentro dos conformes das normas técnicas, que regem o ensaio, mas algumas sugestões para melhorias devem ser relatadas como:

- 1- A câmara deve ser aumentada para melhorar o rendimento dos ensaios com mais disposição de cp's para serem submetidos à névoa salina.
- 2- A capacidade do reservatório deve ser aumentada para atender às distintas vazões da saída de névoa salina e para evitar a interrupção dos ensaios num determinado tempo de exposição por falta de solução.
- 3- O porta amostras deve ser confeccionado de plástico, a fim de se evitar desgastes acelerados pela solução salina.
- 4- O sistema de aquecimento deve ser melhorado, substituindo os bocais e as lâmpadas incandescentes, talvez por uma resistência, a fim de se evitar a oxidação precoce dos bocais, que foi percebido ao realizar o ensaio.
- 5- Realizar ensaios com mais materiais e em equipamentos comerciais.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), Fonte: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>, acessado em 09/06/2016.
- [2] Marcos V. F. Silva, Marinalda C. Pereira, Eduardo N. Codaro, Heloisa A. Acciari - **Corrosão do Aço-carbono: Uma Abordagem do Cotidiano no Ensino de Química**. Quím. Nova vol. 38 nº 2 São Paulo, Feb. 2015.
- [3] GENTIL,V., **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2011.
- [4] SILVA, G.B.D.S., **Caracterização de cupons de corrosão através de diferentes técnicas comparativas**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes - RJ, 2016.
- [5] Corrosão - Mecanismos, Prevenção e Teste - Ensaio de Névoa Salina. GalvInfo Center - Um programa do International Zinc Association, ver 1.1 jan 2011.
- [6] RIBEIRO L.L., **Aumentar a qualidade do teste *Salt-Spray*, segundo a norma Internacional ISO 9227**. Conclusão de Graduação do Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia de Lorena - EEL, 2012.
- [7] BASS Equipamentos, Fonte: <http://www.bass.com.br/equipamentos.shtml>, acessado em 14/03/2017.
- [8] EQUILAM, Fonte: http://equilam.com.br/admin/acoes/descritivo_tecnico_ss600e_ss1000e_ss1300e_ss3000e.pdf, acessado em 22/12/2016.

[9] SOUZA, D. O., HAMMEL, N. P., SANTOS, W. I. A., RAMIREZ, A. H., ROJO, N., COSTA, I., **Investigação da Corrosividade do Ensaio de Névoa Salina segundo Norma ISO 9227**. Encontro e Exposição Brasileira de Tratamento de superfície III INTERFINISH Latino Americano - EBRATS, 2012.

[10] CALLISTER JR, W. D., **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem Integrada**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2006.

[11] GOMES, E. A., **Análise Comparativa da Resistência à Corrosão de Aços Carbono em Ensaios de Campo e Testes Eletroquímicos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2013.

[12] PANNONI, D.F, GERDAU. **Aços Estruturais**, Fonte: <http://www.denversa.com.br/site/files/produtos/ba34aa7ebb8e04f694a76c816cee0afc.pdf>, acessado em 22/07/2016.

[13] Açosporte Comercial de Aços Ltda São Paulo, Fonte: <http://www.acosporte.com.br/barra-aco>, acessado em 09/06/2016.

[14] Catálogos de zincados, de laminados a frio e de laminados a quente da CSN, Fonte: http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=59677&conta=45, acessado em 06/06/2017.

[15] PANNONI. D.F, GERDAU, **Princípios Da Proteção De Estruturas Metálicas Em Situação De Corrosão E Incêndio**, 6ª ed., 2015.

[16] G1: **Obra do 1º porto no Piauí se arrasta há 37 anos e já custa R\$ 390 milhões**, Fonte: <http://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2013/05/obra-do-1-porto-no-piaui-se-arrasta-ha-37-anos-e-ja-custa-r-390-milhoes.html>, acessado em 18/07/2017.

[17] EPOXIPISO - Pisos industrial / Pinturas e revestimentos, Fonte: <http://www.epoxipiso.com.br/2012/11/formas-de-corrosao.html>, acessado em 27/07/2017.

[18] As formas de corrosão, Fonte: <http://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>, acessado em 27/07/2017.

[19] PANNONI. D.F, GERDAU, Princípios Da Proteção De Estruturas Metálicas Em Situação De Corrosão E Incêndio, 5ª ed., 2011.

[20] GUEDES. S. C; GARBATOV. Y; ZAYED. A; WANG.G. **Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine Atmosphere.** Corrosion Science, v. 51, p. 2014–2026, 2009.

[21] Perfis Açominas, Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em Situação de Corrosão e Incêndio, 1ª ed. - Volume 2, 2002.

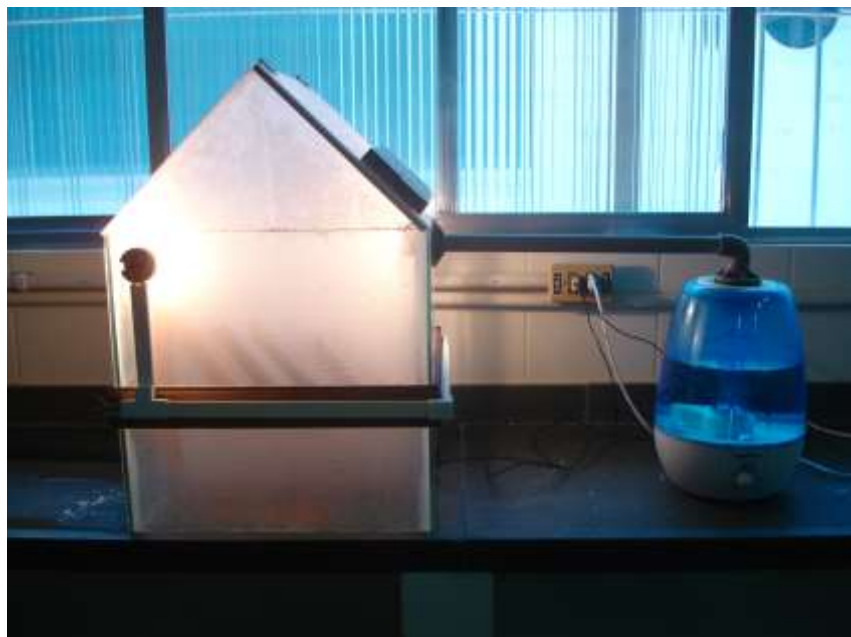
[22] ABNT NBR 8094 - Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina, Jul 1983.

[23] SSI Equipamentos, Fonte: <http://www.ssiequipamentos.com/>, acessado em 14/03/2017.

[24] ASTM B117 - Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, 2011.

[25] ISO 9227 International Standard - Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests, jul 2006.

[26] ISO 8407 International Standard - Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens, 2009.

APÊNDICE***Manual de Operação******Equipamento para Realização de Ensaios com
Névoa Salina para Avaliar a Resistência à Corrosão
em Metais***

ÍNDICE

1. DESCRIÇÃO	72
2. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES.....	73
3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	74
4. MANUTENÇÃO PREVENTIVA	75
5. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	76
6. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.....	78

1. DESCRIÇÃO

O equipamento desenvolvido destina-se à realização de ensaios para avaliar a resistência à corrosão por exposição à névoa salina de materiais metálicos protegidos ou não com inibidores, a fim de se verificar o comportamento dos metais frente aos ensaios acelerados de laboratório para poder estudar o mecanismo do processo corrosivo e poder indicar o material metálico mais adequado para determinado meio corrosivo. O equipamento foi projetado para operar sobre bancada de ardósia, permitindo ao operador uma posição de manuseio bastante confortável, e com possibilidade de ampla disposição de corpos de prova de até 30 cp's, colocados em 3 porta amostras distribuídos dentro da câmara para a realização do ensaio.

O equipamento vem com um sistema de pulverização que varia de acordo com a regulação de vazão na válvula situada na parte frontal do umidificador e com um controlador de temperatura que monitora a temperatura, constantemente, no interior da câmara, durante a realização do ensaio de névoa salina. Para os ensaios salinos usamos pequenos corpos de prova bem definidos pelas Normas Técnicas (ASTM, ABNT e ISO), fixando e mantendo constantes as condições do ensaio para acelerarmos o processo e conseguirmos resultados mais rápidos.

2. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

ABNT NBR 8094 (1983) - Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina.

ASTM B117 (2011) - Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.

ISO 9227 (2006) - Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests.

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

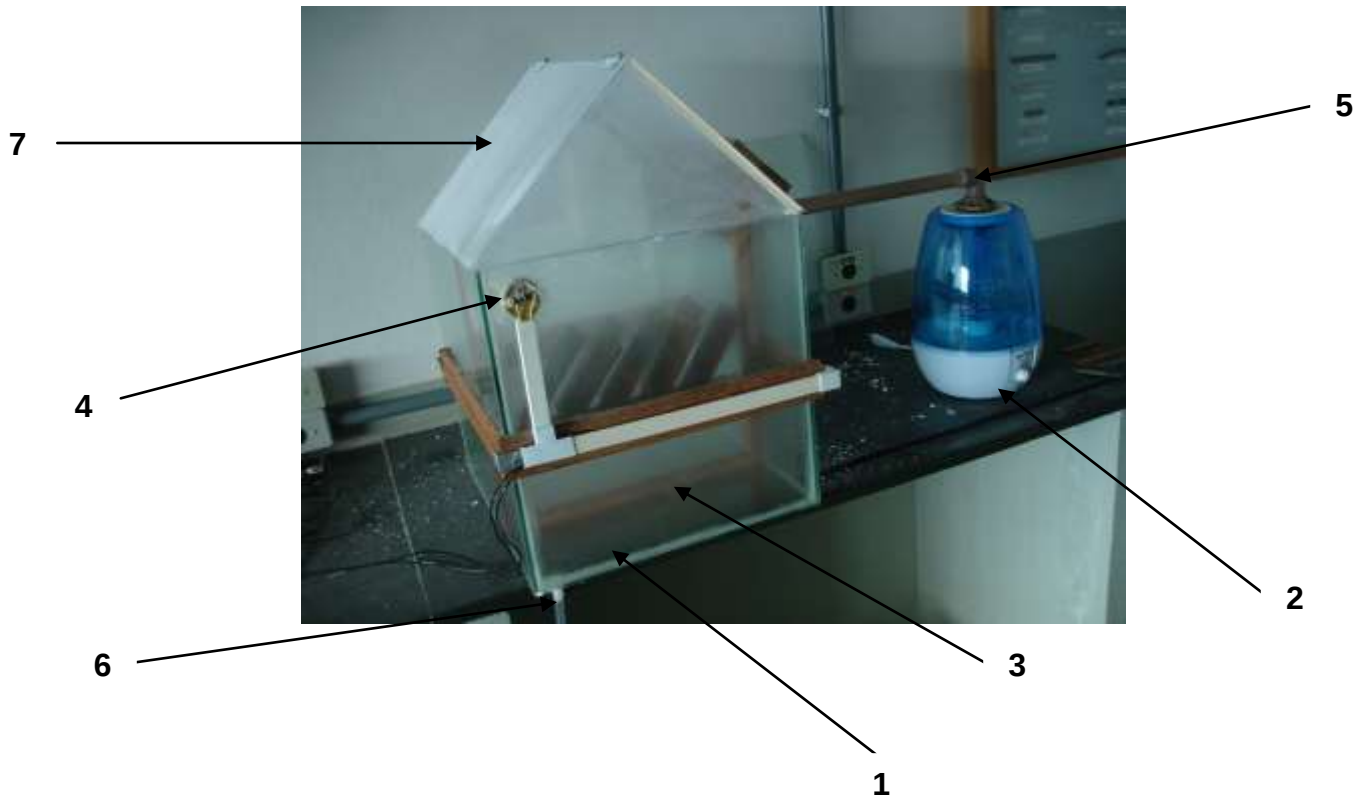
- Dimensão da base da câmara: 400 mm x 400 mm x 4,77 mm
- Altura da câmara: 400 mm
- Volume: 64.000.000 mm³
- Acionamento do pulverizador e do sistema de aquecimento: elétrico
- Capacidade do reservatório: 5 litros
- Válvula seletora de vazão: 8 posições
- Faixa de vazão: até 5,75 ml/s
- Capacidade do controlador de temperatura: 150°C
- Massa aproximada: 12 kg

4. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A título de manutenção preventiva, recomenda-se os seguintes procedimentos:

- 1.** Após o ensaio, desligar o umidificador e o sistema de aquecimento para manusear a câmara e efetuar as limpezas e manutenções necessárias;
- 2.** Retirar a solução aquosa de NaCl restante dentro do reservatório para efetuar a limpeza do umidificador (pulverizador). Limpar também a tubulação que encaminha a névoa salina para o interior da câmara para remover o excesso de sal encrostado nas paredes, que poderia dificultar, posteriormente, a pulverização da solução em outros ensaios;
- 3.** Retirar as lâmpadas incandescentes dos bocais para avaliar se foram ou não afetados pelo sal durante o ensaio, podendo acarretar em mau funcionamento do sistema de aquecimento, posteriormente;
- 4.** Quanto à limpeza da câmara de vidro, deve ser utilizado pano umedecido em água e detergente ou álcool etílico para remoção do excesso de sal e para limpeza;
- 5.** Cuidados especiais, que freqüentemente são esquecidos, devem ser tomados, principalmente, com o sistema de aquecimento da câmara, em que a fiação fica exposta, constantemente, e deve-se evitar contato com água ou qualquer outro produto que possa causar algum curto-circuito;
- 6.** Executar todas as verificações para um mesmo dia, sempre após a realização do ensaio salino, o que diminuirá a um mínimo a chance de possíveis oxidações pelo excesso de sal encrostado, em algumas partes mais vulneráveis do equipamento.

5. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES



1- Câmara de vidro de 400 x 400 x 400 mm;

2- Umidificador de ar Britânia Fresh 5 L;

3- Porta amostras;

4- Sistema de aquecimento;

5- Sistema de pulverização;

6- Coletor de solução pulverizada;

7- Tampa da câmara;

8- Controlador de temperatura Novus N321-NTC de capacidade de 150°C.



6. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

O ensaio de resistência à névoa salina (*salt spray*), segundo as Normas ASTM B117, ISO 9227 e ABNT NBR 8094, tenta reproduzir uma atmosfera marinha em laboratório com a utilização de uma solução de Cloreto de Sódio (NaCl) num reservatório, sendo pulverizada sobre amostras de aço dispostas dentro da câmara de ensaio.

6.1. SOLUÇÃO AQUOSA DE NaCl PARA O ENSAIO DE NÉVOA SALINA

Preparar uma solução aquosa pela dissolução de (250 ± 5) g de cloreto de sódio (5% de NaCl) num volume de água, permitindo a obtenção de 5 L de solução, à temperatura ambiente.

6.2. DISPOSIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NOS PORTA AMOSTRAS

Colocar os corpos de prova dispostos na porta amostras disponíveis (3) de acordo com a quantidade de amostras a serem ensaiadas; um com encaixes a 15° e outro com encaixes a 30°; e um outro com 15 furos para pendurar as amostras, utilizando linha de nylon. Quando estiver todos encaixados na porta amostras, posicioná-los na base da câmara de vidro, mantendo uma distância entre eles e fora do alcance da tubulação em que sai a solução.

6.3. TEMPO DE EXPOSIÇÃO

Selecionar a posição da válvula reguladora do consumo / vazão do nevoeiro, seguindo a tabela 1, de acordo com a escolha da agressividade do ensaio e com os períodos de exposição recomendados pela norma ISO 9227, que são de 2 h, 6 h, 24 h, 48 h, 96 h, 168 h, 240 h, 480 h, 720 h e 1 000 h.

Tabela 1 - Consumo e vazão da solução

Posição	Tempo do Consumo de 5000 ml de Solução (s)	Vazão (ml/s)
1	0,00	0,00
2	9600,00	0,52
3	8040,00	0,62
4	3180,00	1,57
5	1860,00	2,69
6	1800,00	2,78
7	900,00	5,56
8	870,00	5,75

6.4. MONITORAMENTO DA TEMPERATURA

Ligar o sistema de aquecimento (lâmpadas incandescentes) e observar as condições de ensaio, constantemente, monitorando a temperatura da zona de exposição da câmara de ensaio, que deve ser mantida a uma temperatura de $(35 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, através de um controlador de temperatura colocado, externamente, à câmara, para que todas as suas oscilações sejam notadas.

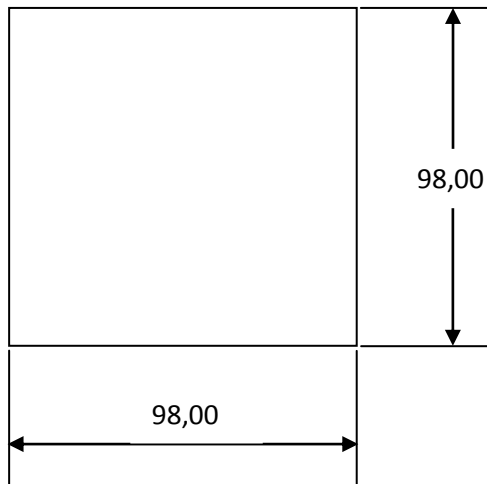
6.5. RESERVATÓRIO / PULVERIZADOR

Colocar a solução aquosa de 5% de NaCl dentro do umidificador de ar Britânia Fresh 5 L e ligá-lo para iniciar a pulverização do nevoeiro salino sobre as amostras dispostas dentro da câmara, simulando uma atmosfera marinha em laboratório.

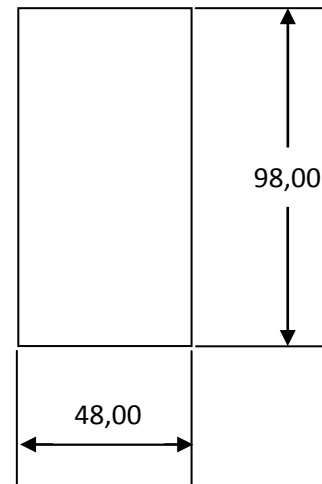
6.6. APÓS O ENSAIO

Dado o tempo de ensaio, desligar o umidificador, retirar as amostras de aço para avaliação do processo de corrosão e a solução aquosa de NaCl restante dentro do reservatório para efetuar a limpeza do umidificador (pulverizador). Desligar também o sistema de aquecimento para manusear a câmara e efetuar as limpezas e as manutenções preventivas necessárias.

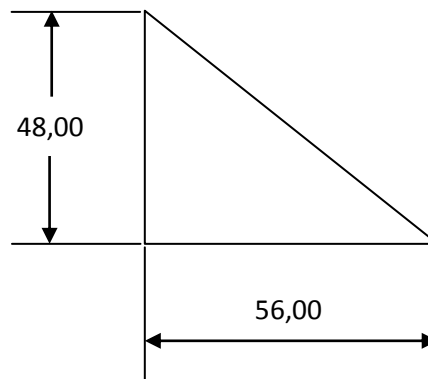
ANEXO 1 - Dimensão da caixinha de acrílico, em que será colocado o controlador de temperatura Novus N321-NTC de capacidade de 150°C.



Parte superior e inferior



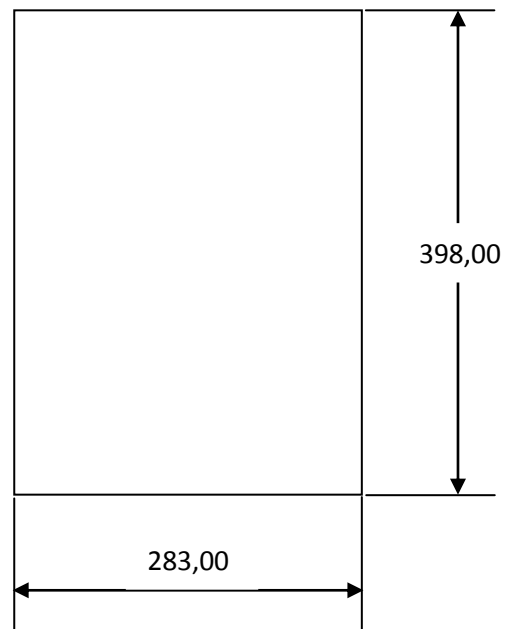
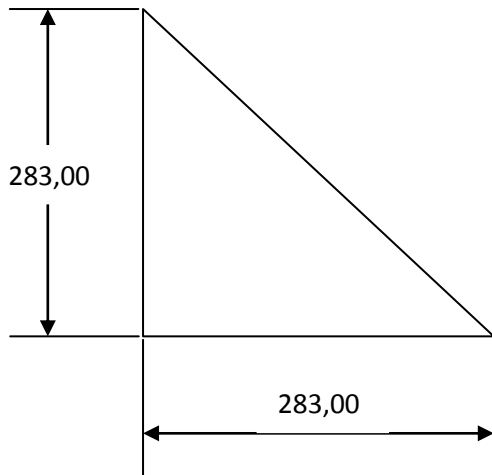
Parte lateral



Mão francesa

OBS: As medidas estão em “mm”.

ANEXO 2 - Dimensão das placas triangulares e retangulares de acrílico, para confecção do teto da câmara de névoa salina, obedecendo à angulação especificada pela norma ASTM B117, que é de 90 a 125°.



OBS: As medidas estão em “mm”.