

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

**LEONARDO DE SOUZA COUTINHO**

**CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTO GERADOR DE NÉVOA SALINA  
(SALT SPRAY) PARA EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE  
CORROSÃO**

**VOLTA REDONDA**

**2019**

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

**CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTO GERADOR DE NÉVOA SALINA  
(SALT SPRAY) PARA EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE  
CORROSÃO**

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. Alexandre Alvarenga Palmeira, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos linha de pesquisa em materiais metálicos.

Aluno:

Leonardo de Souza Coutinho

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

**VOLTA REDONDA**

**2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária:Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

C871cCoutinho, Leonardo de Souza.

Construção de equipamento gerador de névoa salina (Salt Spray) para execução de ensaios acelerados de corrosão. / Leonardo de Souza Coutinho. - Volta Redonda: UniFOA, 2019.

118p. : Il

Orientador(a): Alexandre Alvarenga Palmeira

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2019

1. Materiais - dissertação. 2.Névoa salina.3. Corrosão. 4. Câmara. I. Palmeira, Alexandre Alvarenga. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

## FOLHA DE APROVAÇÃO

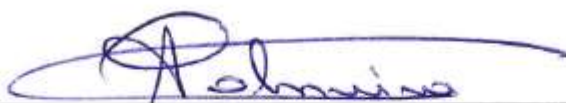
**Aluno: Leonardo de Souza Coutinho**

CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA GERADORA DE NÉVOA SALINA (SALT  
SPRAY) PARA EXECUÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS DE CORROSÃO

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Banca Examinadora



---

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira



Profa. Dra. Monique Osório Talarico da Conceição



---

Prof. Dr. Claudinei dos Santos

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família, em especial minha avó Laura Rosa de Arantes (in memoriam), que mesmo analfabeta me ensinou que o melhor caminho a ser seguido são por meios dos estudos. Dedico também aos meus pais, José Mário Coutinho e Maria de Souza Coutinho (in memoriam), pelos seus esforços e dedicação na formação de meu caráter e construção de meus valores. A minha esposa pela paciência da minha ausência, ao meu irmão, minha cunhada, minha sobrinha e minha tia Maria Helena.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado sabedoria e saúde para conduzir esse curso da melhor forma como foi possível. Agradeço, também, ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre A. Palmeira pelo apoio e disponibilidade que, com suas competências, me orientou e estimulou o desenvolvimento deste projeto e consequente crescimento pessoal. Dentro de todas as dificuldades houveram quatro pessoas que foram primordiais ao desenvolvimento e conclusão deste trabalho: minha madrinha Lourdes, Eduardo Davansso, Alexandre Gomes e Michel Malta. A vocês meu mais sincero muito obrigado.

## RESUMO

A necessidade de se ampliar os conhecimentos sobre o grau de resistência a várias solicitações sejam elas mecânicas, químicas, térmicas e outras fez com que houvesse um vislumbamento de uma necessidade real de se ter um aparelho com características tão distintas quanto o de simular uma atmosfera corrosiva. Essa necessidade serviu de propulsor para desenvolver este projeto. O mesmo projeto se deu baseado em tradução e interpretação das normas ISO 9227, ASTM B 117 e DIN 50 021 aliados a visitas técnicas com pesquisas em sites e catálogos somados a norma ABNT NBR 8094. Foi elaborado um compêndio de idéias cujos objetivos são de aliar o que as normas solicitam com soluções implementadas e já sacramentadas comercialmente. Este trabalho se dá em duas partes distintas que são a engenharia aplicada para a construção da máquina baseado nos critérios normativos e o de verificar se a mesma atingirá os resultados esperados descritos.

A máquina foi construída sendo fiel ao que as normas consultadas recomendam no que diz respeito a sua geometria e a engenharia embarcada se deve ao conhecimento do autor no portfólio da inúmeras possibilidades possíveis de serem empregadas, tais como o saturador e o painel elétrico de comando empregado somados a construção do gabinete da máquina todo em aço carbono 1020, revestido externamente com fibra de vidro. Foi adotado o emprego de óleo térmico na jaqueta em detrimento a água utilizada por fabricantes comerciais, justamente por se entender que este óleo faria uma camada protetiva interna na chaparia do gabinete.

Ao final da sua execução, se fez necessário a consolidação do projeto como sendo um equipamento confiável para ser utilizado na caracterização de materiais metálicos, para tanto se fez necessário a exposição dos corpos de prova padrão adquiridos juntos a PSA em um período de 48 horas, sendo necessário as anotações de perda de massa destes corpos. Feitos os testes, a máquina se mostrou eficaz e todas as perdas de massa anotadas estavam dentro dos parâmetros normativos estabelecidos.

**Palavras-chave:** normas, névoa salina, corrosão, câmara, perda de massa

## ***ABSTRACT***

The need to expand the knowledge about the degree of resistance to various requests, be they mechanical, chemical, thermal and others made it possible to have a glimpse of a real need to have an apparatus with characteristics as different as that of simulating an atmosphere corrosive. This need served as a propellant to develop this project. The same project was based on translation and interpretation of the standards ISO 9227, ASTM B 117 and DIN 50 021 allied to technical visits with searches on websites and catalogs added to the norm ABNT NBR 8094. A compendium of ideas whose objectives are to ally which standards require with solutions implemented and already sacramentadas commercially. This work takes place in two distinct parts that are the applied engineering for the construction of the machine based on the normative criteria and the one to verify if it will reach the expected results described

The machine was built faithful to what the standards consulted recommend with respect to its geometry and the embedded engineering is due to the author's knowledge in the portfolio of the numerous possible possibilities of being employed, such as the saturator and the electrical control panel employed added to the cabinet construction of the entire 1020 carbon steel machine, externally coated with fiberglass. It was adopted the use of thermal oil in the jacket in detriment of the water used by commercial manufacturers, precisely because it was understood that this oil would make an internal protective layer in the plating of the cabinet.

At the end of its execution, it was necessary to consolidate the project as a reliable equipment to be used in the characterization of metallic materials. Therefore, it was necessary to expose the standard test specimens acquired together with PSA in a period of 48 hours, being necessary the notes of loss of mass of these bodies. Once the tests were done, the machine proved to be effective and all the mass losses recorded were within the established normative parameters.

**Keywords: standards, salt spray (fog), corrosion, chamber, mass loss**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Gastos com corrosão nos EUA entre 1999 e 2001 <sup>[1]</sup> .....	18
Figura 2.	Mecanismos de Oxidação <sup>[2]</sup> .....	23
Figura 3.	Curvas de oxidação <sup>[2]</sup> .....	24
Figura 4.	Esquema dos processos de refino e corrosão dos metais <sup>[7]</sup> .....	26
Figura 5.	Diferentes formas de como a Corrosão pode se apresentar <sup>[4]</sup> .....	27
Figura 6.	Corrosão de um aço exposto por anos em diferentes atmosferas <sup>[5]</sup> .....	29
Figura 7.	Laboratório com várias câmaras de testes <sup>[11]</sup> .....	33
Figura 8.	Protótipo de uma máquina de controle de umidade <sup>[17]</sup> .....	35
Figura 9.	Protótipo de uma máquina de teste por névoa salina <sup>[17]</sup> .....	36
Figura 10.	Variação da velocidade da corrosão em função do clima <sup>[5]</sup> .....	39
Figura 11.	Desenho esquemático segundo a norma ISO 9227 <sup>[18]</sup> .....	50
Figura 12.	Desenho esquemático segundo a norma ASTM B 117 <sup>[19]</sup> .....	53
Figura 13.	Desenho esquemático segundo a norma DIN 50 021 <sup>[21]</sup> .....	55
Figura 14.	Desenho esquemático e construtivo de uma máquina Equilan <sup>[37]</sup> .....	56
Figura 15.	Máquina Equilan série SSe <sup>[37]</sup> .....	57
Figura 16.	Salt Spray Fog Liyi Ly-609-60 .....	58
Figura 17.	Esquemático de funcionamento LIYI .....	58
Figura 18.	Esquemático Salt Spray Modelo Coutispray Fogtest [Fonte: autor] .....	61
Figura 19.	Suporte de corpo de prova [Fonte: autor] .....	63
Figura 20.	Sistema de funcionamento do saturador <sup>[41]</sup> .....	64
Figura 21.	Válvula de segurança do saturador [Fonte: autor] .....	65
Figura 22.	Desenho mecânico do saturador de ar comprimido [Fonte: autor] .....	65
Figura 23.	Torre de atomização [Fonte: autor] .....	66
Figura 24.	Bico pulverizador típico sugerido por norma <sup>[19]</sup> .....	67
Figura 25.	Sistema de pulverização utilizado [Fonte: autor] .....	67
Figura 26.	Cilindro pneumático de dupla ação [Fonte: autor] .....	68
Figura 27.	Válvula direcional utilizada [Fonte: autor] .....	68
Figura 28.	Painel elétrico de comando [Fonte: autor] .....	69
Figura 29.	Manômetro do gabinete [Fonte: autor] .....	71
Figura 30.	Termômetro tipo PT100 <sup>[45]</sup> .....	71
Figura 31.	Tampa do gabinete [Fonte: autor] .....	72
Figura 32.	Reservatório de solução [Fonte: autor] .....	73
Figura 33.	Visor de nível de óleo [Fonte: autor] .....	74
Figura 34.	Drenos de solução e de óleo [Fonte: autor] .....	75
Figura 35.	Vista Isométrica do Gabinete Interno [Fonte: autor] .....	77
Figura 36.	Vista Isométrica do Gabinete Externo [Fonte: autor] .....	77
Figura 37.	Dispositivo de coleta de solução [Fonte: autor] .....	79
Figura 38.	Resistência elétrica [Fonte: autor] .....	80
Figura 39.	Filtro de solução [Fonte: autor] .....	81
Figura 40.	Gabinete em chapa de aço carbono [Fonte: autor] .....	90
Figura 41.	Gabinete com geometria final [Fonte: autor] .....	90
Figura 42.	Desenho da tampa revisado [Fonte: autor] .....	91
Figura 43.	Saturador [Fonte: autor] .....	92

Figura 44.	Reservatório [Fonte: autor] .....	92
Figura 45.	Geometria cônica de defletora de névoa na torre [Fonte: autor] .....	94
Figura 46.	Suporte com bico atomizador [Fonte: autor] .....	95
Figura 47.	Torre de atomização completa e montada [Fonte: autor] .....	95
Figura 48.	Suporte dos corpos de prova [Fonte: autor] .....	96
Figura 49.	Projeto inicial da máquina [Fonte: autor] .....	98
Figura 50.	Aspecto da máquina sem uso [Fonte: autor] .....	99
Figura 51.	Aspecto da máquina após o teste [Fonte: autor] .....	100
Figura 52.	Resultado de testes alcançados [Fonte: autor] .....	104
Figura 53.	Corpo de prova protegido por uma película [Fonte: autor] .....	105
Figura 54.	Corpos de prova atacados [Fonte: autor] .....	105
Figura 55.	Corpo de prova decapado [Fonte: autor] .....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Elementos do custo da corrosão <sup>[7]</sup> .....	25
Tabela 2.	Composição do ar ambiente <sup>[5]</sup> .....	28
Tabela 3.	Ensaio de corrosão <sup>[7]</sup> .....	30
Tabela 4.	Características operacionais típicas de um bico pulverizador <sup>[17]</sup> .....	43
Tabela 5.	Valores para a temperatura de água quente na torre de saturação <sup>[18]</sup> ..	44
Tabela 6.	Composição química em percentual por massa do corpo de prova <sup>[18]</sup> ..	45
Tabela 7.	Propriedade mecânicas do corpo de prova <sup>[18]</sup> .....	46
Tabela 8.	Composição da água a ser utilizada <sup>[33]</sup> .....	47
Tabela 9.	Limites Máximos Permitidos de Impurezas no Cloreto de Sódio <sup>[19]</sup> .....	48
Tabela 10.	Volume Interno do Gabinete (em m <sup>3</sup> ) <sup>[Fonte: autor]</sup> .....	76
Tabela 11.	Condições operacionais <sup>[17]</sup> .....	78
Tabela 12.	Componentes da máquina e seus valores <sup>[Fonte: autor]</sup> .....	82
Tabela 13.	Defeitos, causas e soluções <sup>[Fonte: autor]</sup> .....	101
Tabela 14.	Identificação e medições iniciais dos corpos de prova <sup>[Fonte: autor]</sup> .....	103

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AASS	<i>Acetic Acid Salt Spray (Névoa Salina por Ácido Acético)</i>
ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para Testes e Materiais)</i>
C	<i>Carbono</i>
CASS	<i>Copper-accelerated acetic Acid Salt Spray (Névoa Salina pro Ácido Acético Acelerado com Cobre)</i>
CR4	<i>Deep drawing quality aluminum killed non-ageing (Alumínio Lingotado por Estampagem Profunda não Envelhecido)</i>
CRH	<i>Critical Relative Humidity (Humidade Relativa Crítica)</i>
CSN	<i>Companhia Siderúrgica Nacional</i>
DIN	<i>Deutsches Institut Für Normung (Instituto Alemão de Padronização)</i>
EEP	<i>Estampagem Extra Profunda</i>
EUA	<i>Estados Unidos da América</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)</i>
$K_p$	<i>Constante de temperatura que independe de tempo de Oxidação</i>
$K_t$	<i>Constante de temperatura que independe de tempo de Oxidação</i>
NaCl	<i>Cloreto de Sódio</i>
NBR	<i>Norma Brasileira Regulamentadora</i>
NSS	<i>Neutral Salt Spray (Névoa Salina Neutra)</i>
Mn	<i>Magnésio</i>
P	<i>Fósforo</i>
PIB	<i>Produto Interno Bruto</i>

PV	<i>Current Temperature (Temperatura Atual)</i>
PVC	<i>Polyvinyl Chloride (Policloreto de Polivinila)</i>
S	<i>Enxofre</i>
SQL	<i>Structured Query Language (Linguagem de Consulta Estruturada)</i>
Y	<i>Espessura da película formada</i>

## LISTA DE EQUAÇÕES

- Equação 1      *Oxidação do ferro por aquecimento*
- Equação 2      *Oxidação do ferro por perda de elétrons*
- Equação 3      *Relação Parabólica da Taxa de Oxidação*
- Equação 4      *Relação Linear da taxa de Oxidação*
- Equação 5      *Relação Logarítmica da Taxa de Oxidação*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
2. OBJETIVO .....	20
3. JUSTIFICATIVA .....	21
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
4.1. Oxidação .....	22
4.1.1. Taxa de oxidação .....	24
4.2. CORROSÃO .....	25
4.3. Propostas de Ensaios de Corrosão.....	29
4.4. Ensaio de corrosão em instalações ou equipamentos .....	31
4.5. Ensaio de corrosão de campo.....	31
4.6. Ensaio de corrosão de laboratório .....	31
4.6.1. Ensaio de Corrosão em Câmaras Fechadas .....	31
4.6.1. Máquinas de gabinetes para teste.....	34
4.7. Ensaio de Corrosão por Névoa Salina .....	37
4.8. Aparato para teste (máquina de Salt Spray) .....	41
4.8.1. Câmara de Salt Spray .....	41
4.8.2. Reservatório de Solução .....	42
4.8.3. Filtragem da solução .....	42
4.8.4. Ar comprimido.....	42
4.8.5. Sistema de atomização .....	43
4.8.6. Sistema de aquecimento da câmara .....	44
4.8.7. Dispositivo de coleta de solução.....	45
4.8.8. Corpos de prova .....	45
4.8.9. Solução Salina.....	47
4.8.1. Controle das variáveis .....	49
4.9. Recomendações de montagem a serem obedecidas .....	49
4.9.1. Diagrama Esquemático de Montagem Segunda Norma ISO 9227.....	50
4.9.2. Diagrama Esquemático de Montagem Segundo Norma ASTM B 117 ..	52
4.9.3. Diagrama esquemático de montagem segundo a norma DIN 50 021 ...	55
4.10. Máquinas existentes no mercado .....	56
4.10.1. Salt Spray Equilan.....	56

4.10.2.	Modelo LIYI .....	57
5.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	59
5.1.	Projeto da máquina .....	60
5.1.1.	Mancais de articulação .....	62
5.1.2.	Bocal de enchimento .....	62
5.1.3.	Respiro de ar da jaqueta .....	62
5.1.4.	Exaustão da câmara.....	62
5.1.5.	Suportes para corpos de provas.....	63
5.1.6.	Regulador de pressão .....	63
5.1.7.	Saturador .....	64
5.1.8.	Torre nebulizadora.....	66
5.1.9.	Suporte e bico pulverizador .....	66
5.1.10.	Cilindro pneumático.....	68
5.1.11.	Válvula direcional pneumática.....	68
5.1.12.	Painel elétrico de comando .....	69
5.1.13.	Manômetro .....	70
5.1.14.	Termômetro do gabinete .....	71
5.1.15.	Tampa do gabinete .....	72
5.1.16.	Reservatório de solução.....	73
5.1.17.	Visor de nível da jaqueta .....	73
5.1.18.	Dreno de óleo da jaqueta .....	74
5.1.19.	Drenos da solução condensada .....	74
5.1.20.	Dreno do saturador .....	75
5.1.21.	Mangueira de ar do saturador .....	75
5.1.22.	Anteparo para suporte.....	75
5.1.23.	Gabinete.....	76
5.1.24.	Proveta e funil coletor de névoa .....	78
5.1.25.	Jaqueta de óleo .....	79
5.1.26.	Resistência da jaqueta .....	80
5.1.27.	Resistência do saturador.....	81
5.1.28.	Termômetro do saturador.....	81
5.1.29.	Rodízios .....	81
5.1.30.	Filtro de solução .....	81
5.1.31.	Análise de custos com materiais .....	82
5.2.	Metodologia do Ensaio.....	84



5.2.1.	Condições de pré uso.....	84
5.3.	Manual de Funcionamento operacional .....	86
5.3.1.	Funcionamento da câmara .....	86
5.3.2.	Funcionamento do Saturador .....	86
5.3.3.	Funcionamento do conjunto de alimentação de solução .....	87
5.3.4.	Instalação do aparelho .....	88
6.	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	89
6.1.	Construção da Máquina e execução do Ensaio.....	89
6.1.1.	Construção do Gabinete .....	89
6.1.2.	Equipamentos periféricos: saturador e reservatório de solução .....	91
6.1.3.	Variáveis de controle: termômetros, painel e resistências elétricas.....	93
6.1.4.	Sistema de atomização .....	94
6.1.5.	Suportes dos corpos de prova e dispositivo de coleta.....	96
6.1.6.	Preparação das soluções das águas utilizadas.....	97
6.1.7.	Comportamento da máquina após 48 horas de teste .....	97
6.1.8.	Aspecto visual da máquina montada.....	98
6.1.9.	Aspecto visual da máquina testada .....	99
6.1.10.	Defeitos e soluções .....	101
6.2.	Execução do ensaio de névoa salina .....	103
6.2.1.	Corpos de prova .....	103
7.	CONCLUSÕES .....	106
8.	TRABALHOS FUTUROS .....	107
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

## 1. INTRODUÇÃO

Devido a sua importância, inclusive no desenvolvimento da humanidade, o aço e as ligas ferrosas se tornaram objetos de estudos onde os investimentos alcançam a casa dos bilhões de dólares. Inserido neste estudo cabe um capítulo todo especial para se falar sobre corrosão, sua ação e suas diferentes formas de combate. 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, tendo em vista que o aço possui baixa resistência a este fenômeno.

Não existe no Brasil estudos conclusivos ou pesquisas que envolvam os prejuízos causados pela corrosão, entretanto é importante destacar recentes resultados extraídos do estudo intitulado “Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United State” que se deu no período compreendido entre 1999 e 2001 por CC Technologies Highway Administration. Dele chegou-se na cifra de 276 bilhões de dólares que equivale a 3,1% do PIB dos EUA e em 552 bilhões de dólares de custo indireto<sup>[1]</sup>. A figura 1 mostra os gastos com corrosão no período considerado nos cinco maiores setores da economia norte americana que ajudam a compor a cifra citada acima.

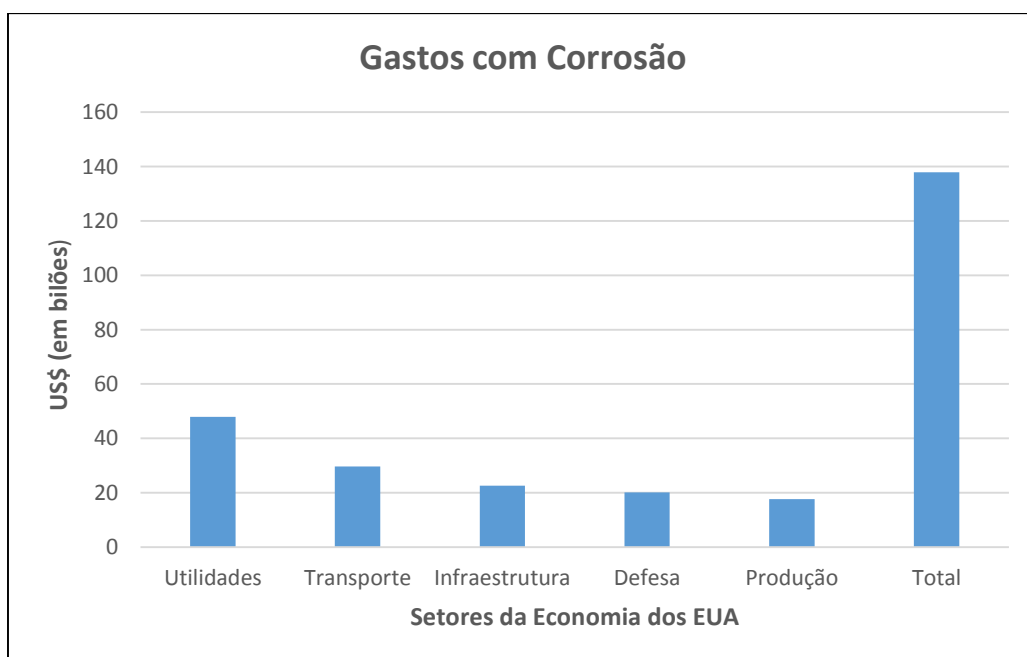


Figura 1. Gastos com corrosão nos EUA entre 1999 e 2001 <sup>[1]</sup>

É importante salientar que proteger contra a corrosão é mais que uma questão puramente econômica. É imperativo para a proteção do meio ambiente, garantia da integridade dos ativos, saúde e segurança das pessoas. No Brasil a mola propulsora para o estudo da corrosão se deve principalmente a PETROBRAS devido a suas plataformas de estruturas metálicas se encontrarem no mar e os estudos e procedimentos lá elaborados servem de parâmetro de utilização para as outras empresas em todo o país.

O conhecimento da composição do aço e suas ligas associados aos fenômenos da corrosão se faz necessário para elaborar o melhor procedimento que atenda a maior quantidade possível de requisitos no combate a sua deterioração. Conhecer e saber identificar os conceitos de composição do aço a ser trabalhado, a corrosão, a oxidação e outros contrapontos são de suma importância para a elaboração de tais procedimentos de proteção que visam mitigar a ação externa sobre as estruturas.

Desenvolver uma máquina para execução de corrosão acelerada por névoa salina com pulverização de uma solução salina sobre as amostras a serem testadas se faz importante em um cenário onde as empresas necessitam um alto grau do produto seja ele vendido ou comprado. Os resultados obtidos por ensaio de névoa salina são utilizados sobretudo em especificações preestabelecida por clientes e literatura técnica servindo para avaliar, por exemplo, os benefícios de novos sistemas de pintura.

## 2. OBJETIVO

Construir uma máquina que obedeça os requisitos mínimos e necessários para a execução e verificação de ensaios acelerados de corrosão em materiais metálicos já estabelecidos e avaliar a corrosividade de uma câmara de salt spray mediante a normas regulatórias internacionais. Após a construção, deve-se prescrever a maneira como os corpos de prova deverão ser tratados para expô-los a ação de uma névoa salina controlada dos fatores que contribuem para a corrosão.

Se utilizar da máquina construída para elaborar procedimentos onde se verifica a deterioração do metal sob o efeito de uma solução química salina principalmente o contido na Norma ABNT NBR 8094 (Material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina).

### 3. JUSTIFICATIVA

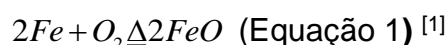
Permitir aos futuros usuários a possibilidade de se poder trabalhar com equipamento que preencha os requisitos construtivos mínimos de uma máquina, se utilizando de procedimentos previamente elaborados baseados principalmente na Norma ABNT NBR 8094 onde, em suas futuras linhas de pesquisas, lhes proporcionem alcançar conclusões mais assertivas acerca do objeto de estudo em materiais metálicos e que estejam mais próximas do que é praticado no mercado corporativo.

Visando a reprodução do intemperismo de forma não natural, a construção de máquinas de névoa salina se mostra como um excelente dispositivo para reproduzir e estudar estes resultados em laboratório. Há grandes possibilidades de fatores atmosféricos que contribuem para a formação de um ambiente corrosivo e os mesmos não podem ser produzidos.

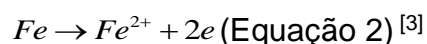
## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. OXIDAÇÃO

É o fenômeno de oxidar, que em outras palavras significa dizer que é uma reação eletroquímica que ocorre quando o metal está em contato com uma atmosfera que contém oxigênio, ou seja, fica restrito às reações onde necessariamente necessitam ter a participação do oxigênio atmosférico com o metal direto<sup>[1]</sup>. Os materiais metálicos se distinguem entre si por uma espécie de difusão circundante de suas interfaces<sup>[2]</sup>. Verifica-se um gradiente de temperatura favorece a ocorrência deste fenômeno onde pode-se citar como exemplo em um processo de aquecimento a seguinte equação química:



Existe também a oxidação por perda de elétrons por uma espécie química que é ligeiramente mais amplo que a oxidação por ganho de oxigênio que neste caso é chamado de redução, sem contar que sob esta ótica, a oxidação por perda de elétrons também tem utilidade no conceito de corrosão. Pode-se ilustrar este conceito como exemplo pela oxidação do ferro que é dado pela equação:



Na equação acima, o elemento ferro perde sua característica ou propriedade relacionada como caráter metálico também chamado de elétron de valência. O fenômeno descrito ocorre no local denominado anodo e o mesmo é frequentemente chamada de reação anódica<sup>[3]</sup>.

A oxidação se dá por várias formas distintas e os mecanismos que a desencadeiam estão ilustrados na figura 2 para os metais, onde é importante frisar que tal conceito não se aplica ao ouro, aumentando assim, em termos conceituais, sua aplicação em relação aos demais metais, embora o mesmo sofra ataque a temperatura ambiente em contato com o mercúrio<sup>[4]</sup>. É senso comum considerar que seja impraticável eliminar a corrosão onde se busca no cotidiano das empresas, projetos com alto grau de confiabilidade no que diz respeito ao combate a ação da oxidação e corrosão em seus processos de controle <sup>[4]</sup>.

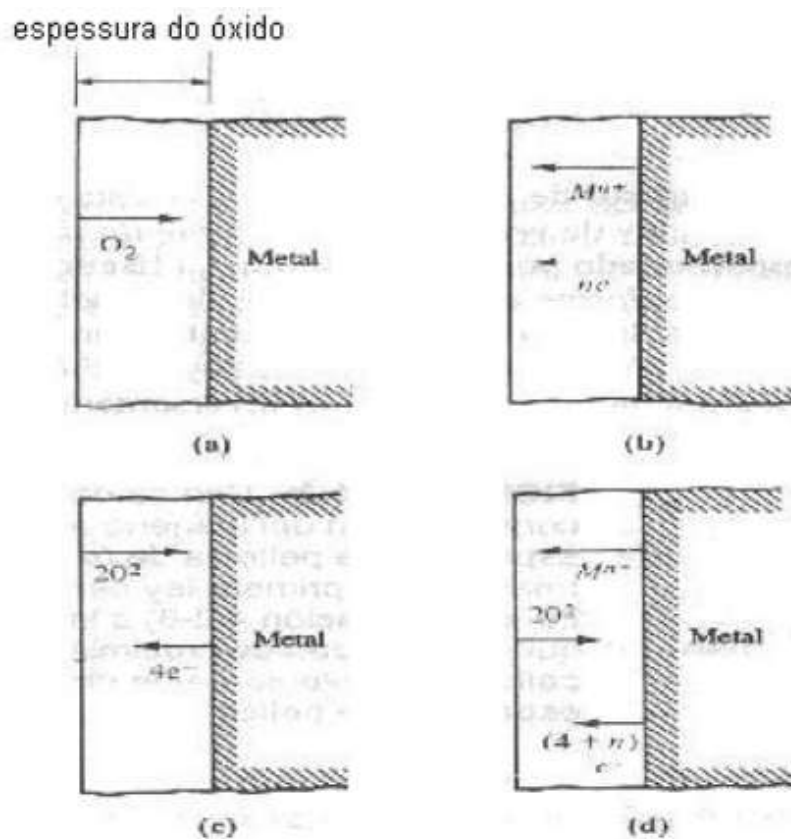


Figura 2. Mecanismos de Oxidação [2]

Tem-se também a oxirredução em termos de número de oxidação que é o aumento algébrico do número de oxidação onde o mesmo não se fixa em elétrons e nem em oxigênio, ou seja, ocorre uma troca de elétrons<sup>[1]</sup>.

De uma forma geral é requerido que deve-se evitar o contato entre os metais, agentes redutores com as substâncias oxidantes como, por exemplo, o oxigênio e a água onde ambos têm tendência a se ganhar elétrons pois deste contato poderá resultar em um processo de oxirredução e posteriormente, em consequência, corrosão do metal. Por este motivo a importância de se conceituar brevemente este fenômeno, pois para a finalidade a que este trabalho se destina é importante a diferenciação de conceito dos dois fenômenos devido a tratativa a ser adotada para mitigar suas ações<sup>[1]</sup>.

A oxidação ocorre por três fatores distintos. São eles: em termos de oxigênio, em termos de elétrons e em termos de números de oxidação. Fica difícil prescrever qual a forma na qual ela mais se desenvolve na natureza, sendo, portanto, sua

ocorrência e desenvolvimento por número de oxidação a forma mais generalizada observável<sup>[1]</sup>.

#### 4.1.1. Taxa de oxidação

É o incremento da espessura do filme que possui, primordialmente, a função de proteger o metal submetido a futuros ataques reativos, relacionado ao volume de metal e de óxido<sup>[2]</sup>.

Existem técnicas para se combater o aumento desta taxa, dentre elas pode-se citar a adição de elementos de ligas, que, vias de regra, promove a formação de uma camada protetiva podendo inclusive melhorar as características daquela que se forma<sup>[2]</sup>.

A taxa de oxidação pode obedecer três relações distintas. São elas:

- $y^2 = k_p \cdot t$  <sup>[4]</sup> relação parabólica (equação 3);
- $y = k_l \cdot t$  <sup>[4]</sup> relação linear (equação 4);
- $y = k \cdot \log(t + 1)$  <sup>[4]</sup> relação logarítmica (equação 5).

As curvas que melhor representam as relações das taxas de oxidação estão descritas na figura 3, onde Y representa a espessura da película formada em qualquer metal no tempo t ou ganho de peso por unidade de área em uma determinada fração de tempo t. A constante K são temperaturas que estão relacionadas ao tempo<sup>[2]</sup>

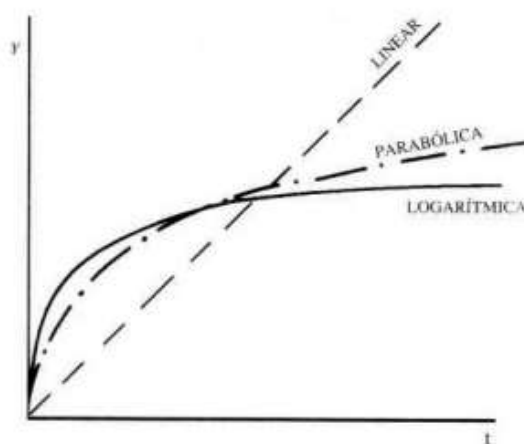


Figura 3. Curvas de oxidação <sup>[2]</sup>



## 4.2. CORROSÃO

A corrosão afeta a integridade do material (metal, neste estudo em específico) de maneira irreversível e afeta intimamente a confiabilidade do ativo da empresa devido a diminuição gradativa do tempo de disponibilidade de utilização dos equipamentos e instalações. Esta degradação prejudicial e indesejável a qual o material é submetido pelo meio externo, tais como desgaste e modificação estrutural o torna inapropriado para o uso. Na elaboração de um projeto de estruturas metálicas, deixou de ser uma boa prática e se tornou mandatório a resistência a corrosão do material ao meio, bem como a necessidade de se apresentar as propriedades mecânicas e características adequadas de fabricação<sup>[5]</sup>.

A corrosão, assim como a oxidação, é um fenômeno de interface que afeta materiais orgânicos e principalmente materiais inorgânicos de forma irreversível e que provoca prejuízo enormes a empresas e até mesmo em países onde dados estatísticos nos informam que há uma perda do PIB de uma nação em percentuais que variam de 3 a 4% se tornando assim, em alguns casos, equivalentes ao que se gasta em educação e/ou projetos de pesquisas<sup>[6]</sup>. Este custo imposto a sociedade em seu combate representa um desafio a ser vencido. Segue tabela 1 onde melhor explicita os elementos impostos no combate a corrosão:

Tabela 1. Elementos do custo da corrosão <sup>[7]</sup>

<b>Custo de Capital</b>
- Substituição de equipamentos e instalação
- Excesso de capacidade
- Equipamentos redundantes
<b>Custos de Controle</b>
- Manutenção e reparo
- Controle da corrosão
<b>Custos de Projeto</b>
- Materiais de construção
- Fator de segurança devido a corrosão
- Fabricação especial

<b>Custos Associados</b>
- Perdas de produtos
- Armazenagem de sobressalentes
- Seguros
- Suporte técnico

A corrosão é, algumas vezes, identificada como o processo inverso da metalurgia extrativa onde ocorrem modificações estruturais importantes que não são bem vindas em ambiente fabril, sendo melhor ilustrado na figura 4. É o ataque gradual e contínuo do metal pelo meio ao qual está inserido. Devido as reações químicas que ocorrem, tem-se uma mudança gradual da aparência física que são, geralmente, sais ou óxidos<sup>[2]</sup>. Os aços carbono não são resistentes à corrosão e vários métodos são usados na engenharia de superfície para proteger eles de ambientes agressivos como o marinho por exemplo. Avaliar as mutações das propriedades metalúrgicas e alterações de suas resistências mecânicas por utilização de pulverização de solução de cloreto de sódio é um ponto a ser considerado<sup>[8]</sup>.

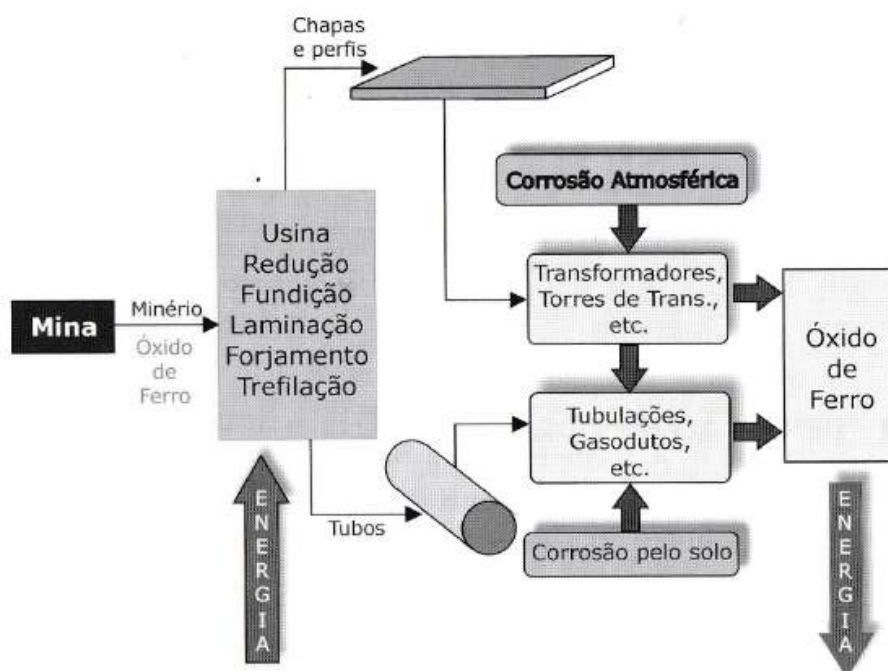


Figura 4. Esquema dos processos de refino e corrosão dos metais <sup>[7]</sup>

As formas para mitigar este fenômeno se fazem necessárias pois os materiais se transformam de tal maneira que o desempenho e a durabilidade dos mesmos deixam de satisfazer aos fins a eles atribuídos. Estes materiais perdem resistência mecânica, estética e ductilidade entre outros fazendo com que o metal perca suas características originais<sup>[5]</sup>.

O fenômeno corrosivo pode se apresentar sob diferentes formas e aspectos provocados por causas distintas com mecanismos diferenciados. Sendo assim, pode-se ter corrosão do metal segundo a sua morfologia, mecanismos diferenciados, pelo meio ao qual o metal está inserido e fatores mecânicos<sup>[4]</sup>.

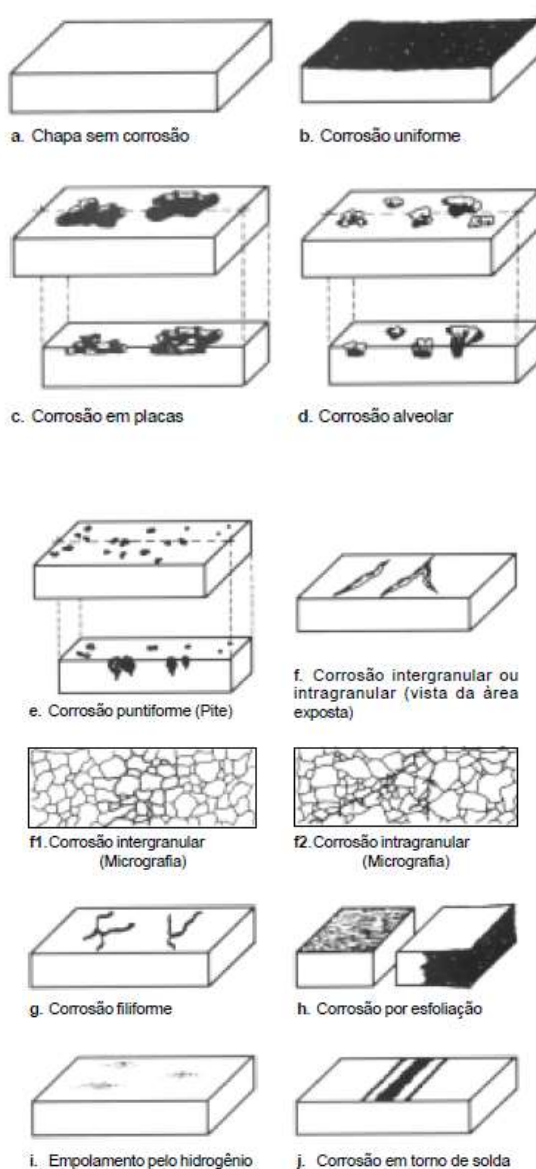


Figura 5. Diferentes formas de como a Corrosão pode se apresentar <sup>[4]</sup>

As principais formas de ataque corrosivo ou a forma como a corrosão se dá será resumida abaixo, não tendo, a priori, a necessidade de evidenciar todos os tipos:

- Chapa sem corrosão – aquela que não sofreu ataque químico superficial<sup>[7]</sup>;
- Corrosão uniforme – quando o fenômeno se desenvolve de maneira uniforme em toda a superfície atingida<sup>[7]</sup>;
- Corrosão em placas – ocorrem quando as placas de corrosão formadas se soltam de forma progressiva<sup>[7]</sup>;
- Corrosão alveolar – a área agredida apresenta aspecto de cratera<sup>[7]</sup>;
- Corrosão por pite – a profundidade do ataque é maior que o diâmetro desprendido da superfície do metal<sup>[7]</sup>;
- Corrosão Inter granular – a manifestação na superfície se dá no contorno dos grãos<sup>[7]</sup>.

A influência das condições atmosféricas na corrosão do aço e sua comunidade microbiana associada foi amplamente estudada em centros especializados pelo mundo. A análise de superfície revelou maior corrosão localizada em aço exposto a atmosferas próximas do oceano com alta deposição de cloreto em comparação com os locais interiores e subalpinos<sup>[9]</sup>. A composição macro do ar ambiente é dada aproximadamente, em porcentagem, pelos valores contidos na tabela 2, podendo entretanto conter vestígios de gases raros dependendo da região e de poluentes. São considerados poluentes o SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, íons de CL<sup>-</sup> e poeira.

Tabela 2. Composição do ar ambiente <sup>[5]</sup>

Elemento Químico	Percentual encontrado (%)
N <sub>2</sub>	77%
O <sub>2</sub>	21%
Ar	1%
H <sub>2</sub> O	2%
CO <sub>2</sub>	0,03%

As regiões marinhas é onde se observa a maior concentração de cloretos presente em aerossóis de água salgada transportada pelo vento.

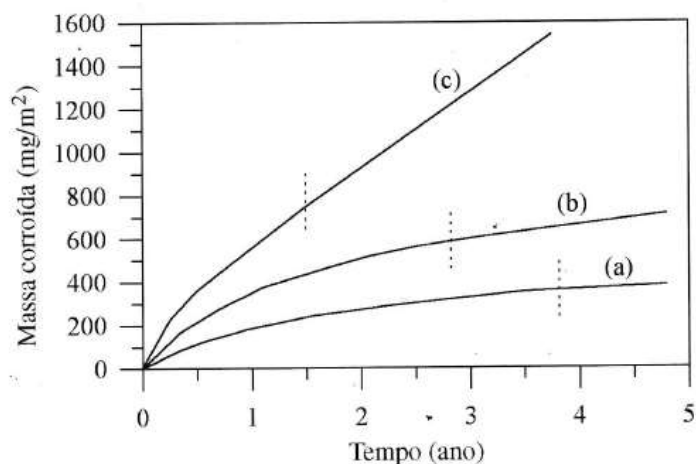


Figura 6. Corrosão de um aço exposto por anos em diferentes atmosferas [5]

No gráfico da figura 6 é externado três situações de massa corroída: a uma atmosfera rural (a), urbana (b) e industrial (c). Os pontilhados no gráfico informam o período estacionário da velocidade de corrosão<sup>[5]</sup>. É de fácil conclusão que em ambientes fabris o ataque corrosivo é mais agressivo devido a alta exposição a atmosferas combinadas que contém substâncias degradantes a superfície do aço diminuindo suas características mecânicas onde é percebido a necessidade de se incrementar uma proteção a estas superfícies<sup>[10]</sup>.

#### 4.3. PROPOSTAS DE ENSAIOS DE CORROSÃO

Os testes de laboratório de corrosão acelerados são o estado-da-arte quando se trata de avaliar desempenho dos materiais, pois representam condições padronizadas e reproduzíveis a permitir que uma avaliação seja feita após um curto período de testes (dias a semanas)<sup>[11]</sup>.

Estes ensaios podem ser de três tipos distintos: em instalações ou equipamentos pilotos, de campo e de laboratório conforme tabela 3.

Tabela 3. Ensaio de corrosão [7]

Tipos de Ensaio		Exemplos	Características
Laboratório	Imersão	<p>Imersão contínua ou alternada</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Imersão contínua com agitação ou com fluxo constante</li> <li>- Imersão em líquidos aquecidos</li> <li>- Imersão em líquidos associados com esforços mecânicos</li> <li>- Imersão em líquido com pressão</li> </ul>	<p>São realizados em condições de laboratórios e visam uma avaliação preliminar de um processo corrosivo. São excelentes indicadores de desempenho de materiais e da aplicação de métodos de proteção. Os resultados não devem ser transplantados diretamente para o que ocorre no campo, e sim correlacionado com o processo de campo.</p>
	Acelerados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Câmara de névoa salina</li> <li>- Câmara de SO<sub>2</sub></li> <li>- Câmara de umidade relativa de 100%</li> <li>- Ensaio de intemperismo</li> <li>- Ensaio cíclicos</li> <li>- Ensaio de eficiência de anodos galvânicos</li> </ul>	
	Técnicas eletroquímicas	<p>Ensaio potencioestáticos</p> <p>Impedância eletroquímica</p>	
Instalações ou equipamentos pilotos		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permutadores de calor</li> <li>- Sistemas de água de refrigeração</li> <li>- Sistemas de água de injeção</li> </ul>	<p><b>Instalações piloto</b> - utiliza-se uma instalação idêntica a que se deseja avaliar a corrosão, apenas em escala reduzida.</p> <p><b>Equipamento piloto</b> - equipamento idêntico aos existentes, porém em escala reduzida, que é colocada em paralelo àqueles e submetidos às mesmas condições de operação</p>
Campo		<p>Cupons de teste e carretéis de teste</p> <p>Acompanhamento da perda de espessura</p> <p>Ensaio de campo de anodos galvânicos</p> <p>Ensaio de corrosão atmosférica</p>	<p>Efetivados nas condições reais de operação</p>

#### **4.4. ENSAIO DE CORROSÃO EM INSTALAÇÕES OU EQUIPAMENTOS**

São simulações executadas em instalações reproduzidas de forma idêntica a que se deseja obter os resultados provocados pela corrosão sendo estas instalações construídas em escalas reduzidas.

O mesmo conceito se vale para os equipamentos pilotos onde o processo de análise se dá em equipamentos do sistema considerados críticos. Estes equipamentos são instalados de forma paralela e submetidos às mesmas condições operacionais, podendo ser bloqueados e retirados de operação a qualquer momento para avaliação [7].

#### **4.5. ENSAIO DE CORROSÃO DE CAMPO**

São executados de maneira análoga as condições operacionais do objeto de análise e com isso permite uma avaliação mais correta da ação do meio sobre o material metálico a ser estudado [1].

Sua utilidade está atrelada em estudar a eficiência de medidas de proteção anticorrosiva e selecionar o material mais adequado para determinado meio corrosivo e estimar a durabilidade provável nesse meio [1].

#### **4.6. ENSAIO DE CORROSÃO DE LABORATÓRIO**

Dependendo do objetivo ao qual se deseja ser alcançado, pode ser feito das duas formas. No laboratório são utilizados corpos de prova de tamanhos reduzidos e de geometria bem definida, com a composição do meio corrosivo bem delineado podendo ou não acelerar o ensaio e manter o processo de análise constante [1].

Será dado ênfase ao ensaio de corrosão em câmaras fechadas por névoa salina por se tratar do conteúdo deste trabalho.

##### **4.6.1. Ensaio de Corrosão em Câmaras Fechadas**

São ensaios executados em máquinas com gabinete fechado onde as condições de contorno são controladas com o intuito de permitir a exposição de corpos

metálicos a um ambiente corrosivo sem, no entanto, promover alterações nos inúmeros mecanismos conhecidos de corrosão<sup>[12]</sup>.

O fenômeno corrosivo em materiais metálicos ou ligas metálicas são influenciados por diferentes fatores que modificam o ataque, promovendo desta forma a idéia de que não pode se ter um único método de ensaio de corrosão. Esta idéia é reforçada pelo fato de haver uma multiplicação dos ditos fenômenos corrosivos, obrigando assim a existência de um número variável de ensaios<sup>[1]</sup>.

Estes ensaios que visam estudar o fenômeno da corrosão sendo ele executado em laboratórios são executados para a verificação de desempenho de novos materiais aplicados em situações reais de utilização com o intuito de estimar o aparecimento da corrosão e com isso aumentar o planejamento estratégico do projeto elaborado, fornecendo uma estimativa de durabilidade do metal aplicado sem que haja a necessidade de se aguardar o resultado de ensaios de longa duração executados em atmosferas naturais<sup>[12]</sup>.

Ensaio corrosivos em câmaras fechadas sempre foram alvos de inúmeras críticas de pesquisadores deste meio pelo fato de não se determinar o ponto de equilíbrio entre os fatores observados no intemperismo natural e os resultados obtidos em laboratório com a utilização delas<sup>[13]</sup>.

Atualmente os procedimentos utilizados em câmaras fechadas são referenciados principalmente para avaliar o desempenho de revestimentos em superfícies metálicas ou em teste de tratamentos químicos em pintura em chapas de aço<sup>[15]</sup>. A detecção de irregularidades em revestimento com propriedades inadequadas ou de qualidade questionável também são características atribuídas a câmaras fechadas onde as mesmas são requeridas na indústria automobilística por exemplo<sup>[13]</sup>.

Câmaras fechadas foram idealizadas para reproduzir o fenômeno da corrosão com a respectiva obtenção de resultados em um período reduzido de análise. Não existe a obrigatoriedade de se reproduzir todos os fatores agressivos aos quais o material a ser analisado estão sujeitos. Em linhas gerais isso é impossível. Portanto os mínimos requisitos a serem alcançados são:

- A obtenção de resultados em tempo reduzido;



- Obter resultados que faça um paralelo entre os dados obtidos de exposição as variações do intemperismo natural e com isso produzir situações de ataque similares;
- Ter validade para uma gama grande de materiais e condições;
- Ser reproduzível não somente em câmaras fechadas mas também em outros ambientes de teste;
- Ser de fácil entendimento e execução, não havendo a obrigatoriedade e/ou a necessidade de operadores para manuseá-las com maiores especialidades se utilizando de equipamentos de custos elevados<sup>[11]</sup>.

Muitos métodos para testar a resistência à corrosão são específicos para materiais específicos e são baseados em condições que prevalecem em determinados ambientes. Um grande número de fatores afetam o comportamento da corrosão, sendo assim, não há corrosão única e universal capaz de englobar todos os aspectos dos materiais em uso. O indicador mais confiável de comportamento de corrosão é o histórico de serviço observado, mas essa informação nem sempre está disponível exatamente conforme necessário para uma decisão mais abrangente. Posto isso, não somente testes em câmaras fechadas são importantes. Testes em campo são requeridos onde, além disso, é necessário testar produtos na condição que terão no pedido do cliente para o qual devem ser usados futuramente<sup>[11]</sup>. Laboratórios de análises do fenômeno conforme o contido na ilustração da figura 7 são utilizados para confrontar as várias formas de como a corrosão pode aparecer.



Figura 7. Laboratório com várias câmaras de testes <sup>[11]</sup>

Na avaliação de novos produtos, os testes de corrosão são um método adequado para compará-los com sistemas conhecidos de proteção contra corrosão. No entanto, tais testes sozinhos não são suficiente para qualificar um produto para uma determinada aplicação como corrosividade do ambiente pode diferir muito de um projeto para outro. No final, é a responsabilidade do usuário para escolher a proteção à corrosão correta com base em informações detalhadas sobre a aplicação, experiência de longo prazo e conhecimento fundamental do sujeito<sup>[11]</sup>.

Em plantas de processamento químico bem projetadas, a seleção de materiais é com base em vários fatores, como histórico de serviço, corrosão em campo na fábrica, testes e ensaios de corrosão em planta piloto e laboratório. Mas, mais tempo, testes de laboratório provaram ser os mais confiáveis e simples. Significa gerar informações para a seleção de materiais de processo. Muitos desses testes são rotineiramente realizados para fornecer informações sobre<sup>[17]</sup>:

- Avaliação da corrosão
- Análise de falhas
- Prevenção e controle da corrosão
- Aceitação de garantia da qualidade
- Questões ambientais envolvendo corrosão
- Desenvolvimento de processo ou de produto

Os testes de corrosão e padronização subdivide o laboratório de testes de corrosão em quatro categorias: testes de gabinete, testes de imersão, testes de alta pressão/alta temperatura e testes eletroquímicos. Práticas modernas de teste refletem esta complexidade através da construção de variações para os testes ou concentrando-se em o pior aspecto de uma situação<sup>[17]</sup>.

#### **4.6.1. Máquinas de gabinetes para teste**

Estes modelos de máquinas são utilizados para se efetuar testes onde as condições de exposição são controladas e principalmente projetadas para acelerar situações específicas de corrosão enquanto tenta emular, quanto possível, os mecanismos de corrosão em jogo. Os testes de gabinete são geralmente usados para

determinar o desempenho de corrosão de materiais destinados a usar em atmosferas naturais. Para correlacionar os resultados dos testes com o serviço a ser desempenhado faz-se necessário estabelecer fatores de aceleração e verificar que os mecanismos de corrosão seguem os mesmos caminhos<sup>[17]</sup>.

Existem basicamente 3 tipos de testes e conseqüentemente três tipos de máquinas de ensaio acelerado de corrosão de gabinetes:

- **Teste de controle de humidade** - o teste básico de umidade é mais comumente utilizado para avaliar a resistência à corrosão dos materiais ou os efeitos da contaminantes. O gabinete no qual esses testes são realizados está demonstrado na figura 8 e deve ser equipado com um sensor de umidade de estado sólido que lê a condição de umidade atual e um controlador de feedback<sup>[17]</sup>.



Figura 8. Protótipo de uma máquina de controle de umidade <sup>[17]</sup>

- **Teste por névoa salina** – Uma solução previamente preparada a base de Cloreto de Sódio é transferida de um reservatório que a contém através de um filtro para o bocal por um sistema de alimentação por gravidade. A figura 9 ilustra a forma de quando o ar quente e úmido e a mistura de solução salina no bocal se misturam, a solução é atomizada em um névoa corrosiva. Isso cria uma condição de umidade relativa de 100% a zona de exposição<sup>[17]</sup>.

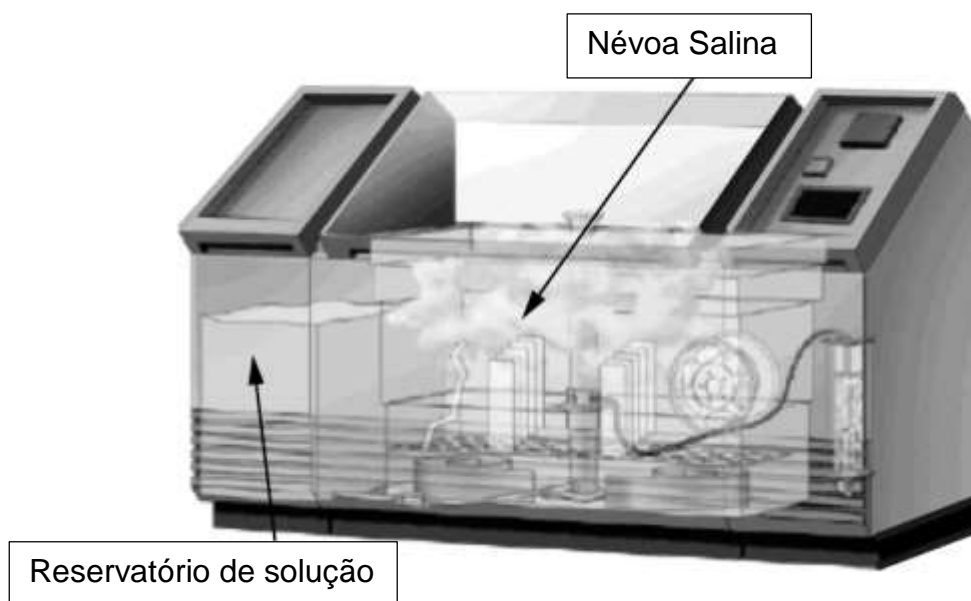


Figura 9. Protótipo de uma máquina de teste por névoa salina <sup>[17]</sup>

- **Teste de corrosividade por gases** - Nestes testes, quantidades controladas de gases são adicionados à umidade para replicar ambientes mais severos. Alguns desses testes são projetados para revelar e amplificar certas características de um material. Este tipo de teste é mais comumente utilizado para se avaliar a corrosividade da porosidade de revestimento por ouro<sup>[17]</sup>.

A máquina a ser projetada e contruída deverá, necessariamente, possuir uma atmosfera interna mínima que corresponda a 0,4 m<sup>3</sup> de volume. Testes anteriores identificaram que volumes inferiores a este valor foi identificado dificuldades em se distribuir uniformemente o spray dentro da máquina<sup>[18]</sup>. A concepção da máquina projetada são diminutas e a necessidade de homogeneidade empregadas em máquinas de grande capacidade não é um fator tão preocupante a ser considerado.

A tampa articulável do gabinete deve ser projetada de tal maneira que não haja gotejamento de solução incidindo em cima dos corpos de prova sob o risco de se perder a confiabilidade nos testes efetuados, tendo em vista que a análise se verifica na névoa e não no contato direto da solução nos corpos de prova<sup>[18, 19]</sup>. Um fator importante a ser considerado é que as gotículas uma vez formadas e que posteriormente se transformam em solução concentrada, não devem ser devolvidas para o reservatório onde a solução foi preparada<sup>[19]</sup>.

#### 4.7. ENSAIO DE CORROSÃO POR NÉVOA SALINA

Este tipo de ensaio é o mais antigo e mais usado teste de gabinete ou câmara fechada e suas premissas básicas de funcionamento e atendimento ao requerido são regidos pelas normas ISO 9227, ASTM B 117 e DIN 50 021. O método para teste de névoa salina consiste em introduzir uma solução atomizada (spray) em uma câmara fechada e bem vedada, onde alguns corpos de provas são atacados em locais e ângulos específicos<sup>[17]</sup>. Em linhas gerais, este ensaio busca alcançar, ou se aproximar, de condições encontradas em atmosferas marítimas por intermédio de uma introdução de névoa a base de cloreto de sódio a uma concentração de 5% de solução em 95% de água destilada ou desionizada<sup>[12, 20]</sup>.

São poucas as vezes em que ocorrem uma correlação direta entre a resistência do metal, a ação de uma solução salina e a resistência à corrosão por outros meios considerados devido aos inúmeros fatores que influenciam a evolução da corrosão. Portanto, os resultados destes testes não devem ser considerados como um guia definitivo para resistência à corrosão dos materiais metálicos testados em todos os possíveis ambientes onde estes materiais possam vir a serem utilizados<sup>[19]</sup>. A correlação e a extrapolação do desempenho de corrosão com base na exposição a ambientação criada na máquina nem sempre são previsíveis devido as diferentes composições do material que está sendo testado e métodos avaliativos selecionados bem como as variáveis operacionais utilizadas<sup>[19]</sup>.

O método avaliativo descrito fornece um meio de verificar se a qualidade comparativa de um material metálico é mantido tendo ele ou não uma proteção contra corrosão. Estes modelos de testes facilitam uma análise rápida de descontinuidades, poros e danos em revestimentos orgânicos e inorgânicos. Outro fator comumente considerado são para controle da qualidade, onde a comparação pode ser feita entre amostras revestidas com o mesmo revestimento<sup>[18]</sup>.

Vias de regra, não é possível se utilizar dos resultados obtidos com o teste de névoa salina como um guia comparativo do comportamento a longo prazo de diferentes sistemas de revestimento, já que o estresses de corrosão durante estes testes difere significativamente do estresses de corrosão encontrados na prática devido, principalmente, a sua ambientação diversificada<sup>[18]</sup>.

Estes ensaios podem ser executados por 3 tipos diferentes de névoa que são introduzidas por atomização. São elas:

- **NSS** – Neutral Salt Spray ou Névoa Salina Neutra. São usados em metais e suas ligas, revestimento metálicos e revestimentos orgânicos em materiais metálicos;
- **AASS** – Acetic Acid Salt Spray ou Névoa Salina de Ácido Acético. São utilizados em testes de revestimento decorativos de cobre + níquel + cromo e revestimento anódico em alumínio;
- **CASS** – Copper-accelerated Acetic Acid Salt Spray ou Névoa Salina Acético acelerado em Cobre. Sua utilização é semelhante a névoa AASS.

A ação a ser executada descreve os métodos empregados para se avaliar a corrosividade na câmara de teste<sup>[18]</sup>. Este teste não especifica as dimensões e composições químicas dos corpos de prova, entretanto, para qualificar a máquina como sendo um aparato capaz de fornecer informações confiáveis as pessoas que fazem uso dela devem utilizar corpos de prova com dimensões e composições químicas específicas para que seja anotado uma perda de massa em determinado tempo de exposição previamente determinado<sup>[18]</sup>.

Os métodos de pulverização salina são todos adequados para verificar se a qualidade comparativa de um material metálico, com ou sem proteção contra corrosão é mantida. Eles não se destinam a serem usados para testes comparativos, para se classificar diferentes materiais em relação uns aos outros no que diz respeito à resistência à corrosão<sup>[18, 19, 21]</sup>.

Nestes tipos de ensaios se faz necessário que os corpos de prova sejam dispostos convenientemente nos suportes internos projetados atendendo as prescrições contidos na Norma ISO 9227 e ASTM B 117 onde a simulação dos efeitos de uma atmosfera marítima é alcançada em materiais metálicos com ou sem película e ou camada protetora em uma das faces. A deposição de partículas de sal em superfícies metálicas desempenha um papel vital na corrosão atmosférica marinha. Os aerossóis marinhos (principalmente NaCl) são principalmente gerados a partir da pulverização marítima, que é produzida pela ação das ondas oceânicas e costeiras. Os aerossóis podem ser transportados para longe em terra pelo vento e provocar

corrosão. Acima da umidade relativa crítica (CRH), o sal absorve a umidade do ambiente e forma gotículas de sal, que podem acelerar substancialmente a corrosão dos metais<sup>[25]</sup>.

A corrosão por imersão também é influenciada por um número grande de outros fatores, incluindo temperatura, nível de nutrientes em água e sua variação de composição<sup>[26]</sup>.

É importante reforçar que estes corpos de prova devem ser frequentemente permutados entre si, de modo que os mesmos sejam atingidos da maneira mais uniforme quanto possível, evitando assim conclusões erradas<sup>[15]</sup>.

O ensaio acelerado de resistência a corrosão sob aplicação de névoa salina por uma máquina de salt spray é aceito como sendo sendo uma ferramenta de avaliação de superfícies metálicas, onde são analisadas suas uniformidade na espessura e a porosidade de revestimentos aplicados a esta superfície. Uma forma plausível de utilização técnica deste tipo de ensaio é o de verificar a qualidade do produto ofertado, onde o cliente determina a taxa de resistência que o material deve ter sob o ataque em câmaras de salt spray em período pré determinado para atender suas demandas. Estas especificações em uso trás uma exigência do cliente para que a amostra exiba um número específico de horas de ataque até apresentar a falha <sup>[15]</sup>. Para tanto, conhecer as formas como esse fenômeno se mostra é importante, pois permite observar e compreender a influência determinante do período de exposição à umidade<sup>[5]</sup>.

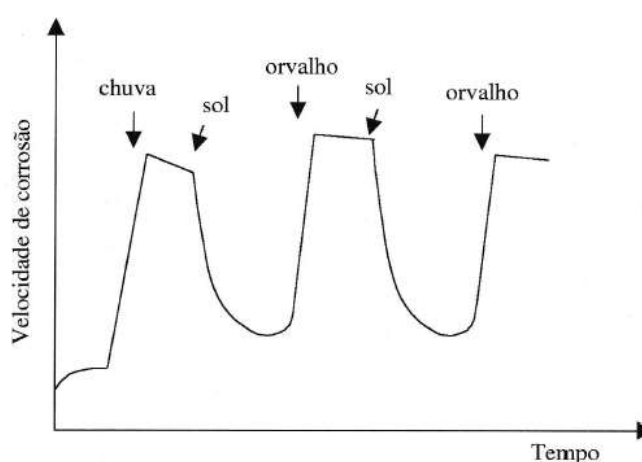


Figura 10. Variação da velocidade da corrosão em função do clima <sup>[5]</sup>

É possível que se utilizando do ensaio não se tenha uma idéia conclusiva acerca da qualidade do produto para que o mesmo seja aceitável, entretanto, se o desempenho no ensaio se mostrar abaixo do padrão, pode-se presumir que o desempenho externo também possa vir a ser diminuído<sup>[15]</sup>. Um fator que não é possível mensurar em ensaios de névoa salina são a importância devido ao dióxido de enxofre<sup>[26]</sup>.

É muito importante que durante o manuseio para os testes de névoa salina os corpos de prova não sejam recontaminados após a limpeza efetuada por descuido durante o novo manuseio. Deve-se salientar que as bordas dos corpos de prova sejam devidamente protegidas e que os suportes que os recebem devam ser confeccionados com material isolante inerte a névoa aplicada na atmosfera interna da câmara.

Os suportes que receberão os corpos de prova devem ter uma geometria tal que estes corpos sejam posicionados a um ângulo compreendido entre 15 e 30° da vertical preferencialmente paralelo à direção do fluxo de neblina lançado no interior da câmara <sup>[19]</sup>.

As massas das amostras devem ser determinadas por uma balança de precisão antes do início dos ensaios para que, posteriormente, seja feita uma nova aferição determinando assim a massa perdida decorrente do ensaio executado. Caso tenha algum resquício de revestimento protetor ou de corrosão após o final do teste o mesmo deve ser removido imediatamente por limpeza mecânica e química<sup>[27]</sup>.

Recomenda-se que para na limpeza química, a utilização de uma solução com uma fração mássica de 20% de citrato de diamônio  $[(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7]$  de grau analítico reconhecido diluído em água por 10 minutos a 23 °C ou uma fração volumétrica de 50% de ácido clorídrico de grau analítico reconhecido, em água onde esta mesma água deve conter 3,5 g/l de hexametilenotetranina como inibidor de corrosão <sup>[18]</sup>.

Considerando um tempo de teste ininterrupto de 48 horas onde o material do corpo de prova deverá ser aço laminado a frio, é mandatório para que a operação do equipamento de teste seja satisfatória uma perda de massa de  $70 \pm 20$  gramas por metro quadrado de massa do corpo de prova <sup>[29]</sup>.

Em hipótese alguma deve-se colocar corpos de prova de diferentes composições metalúrgicas sob pena de se ter um resultado pouco preciso em relação



ao esperado, devido a possível contaminação a ser desencadeada e o gabinete deve ser aberto somente apenas breves inspeções visuais dos corpos de prova em teste.

Ao final dos testes as amostras devem ser submetidas a um tratamento que consiste em deixá-las secar por 0,5 a 1 hora antes de enxaguar, com o objetivo de mitigar o risco de remoção dos produtos de corrosão. Considera-se um método adequado o de lavar ou molhar os corpos de prova suavemente em água corrente limpa a uma temperatura não superior a 40 °C e secá-las imediatamente em uma corrente de ar a uma distância de aproximadamente de 300 milímetros.

#### **4.8. APARATO PARA TESTE (MÁQUINA DE SALT SPRAY)**

O aparato para teste deve, obrigatoriamente, possuir itens que permite sua execução. Estes itens são: câmara, reservatório de solução, fornecimento adequado de ar comprimido, no mínimo um bico atomizador, suporte para os corpos de provas, sistema de aquecimento da câmara e um controle eficaz das variáveis físicas descritas<sup>[19]</sup>.

Todos estes itens bem como suas funcionalidades no processo serão descritos a seguir em minúcias, ressaltando que, para uma máquina ser reconhecida tem que atender minimamente tudo que for descrito, podendo exceder sem perda de propriedades.

##### **4.8.1. Câmara de Salt Spray**

Sua geometria construtiva deve obedecer a um volume interno mínimo de 0,4 m<sup>3</sup>, uma vez que, ensaios em câmaras menores houve dificuldade em garantir uma distribuição uniforme do spray o que promovia também oscilações nas taxas de coletas não permitindo que as mesmas se encontrassem dentro dos limites especificados . Em gabinetes maiores se faz necessário garantir que as condições de homogeneidade e distribuição da pulverização sejam atendidas. Para tanto, em alguns casos, exista a necessidade de implantação de mais de um sistema de atomização<sup>[18]</sup>

#### **4.8.2. Reservatório de Solução**

Componente externo da máquina ou acoplada a mesma por um projeto monobloco cuja função é o de armazenar a solução preparada para uso. Este reservatório deve ser feito de material inerte que o permita armazenar os três tipos de solução utilizadas em testes com câmaras fechadas. Este reservatório deve ter a capacidade de armazenamento e fornecimento de solução para os tempos determinados<sup>[18]</sup>.

#### **4.8.3. Filtragem da solução**

No projeto deve ser contemplado um sistema de filtragem de solução como forma de mitigar e/ou eliminar possíveis entupimentos nos orifícios dos bicos pulverizadores, aumentando assim a confiabilidade que a máquina deva possuir em situações nas quais a mesma não estiver sendo monitorada mais de perto, como nos finais de semanas e feriados onde se tenha a necessidade da sua utilização<sup>[18, 20]</sup>.

Em hipótese alguma a solução deve ser reaproveitada nos ensaios já executados<sup>[20]</sup>.

#### **4.8.4. Ar comprimido**

A máquina deve ser ligada a um compressor responsável por fornecer o ar a uma pressão satisfatória. O ar comprimido deve ser de boa qualidade e livre de aerossol a fim de se evitar uma possível corrosão galvânica no sistema<sup>[30]</sup> e contaminar os testes. Para tanto, o ar deve ser submetido a passagem por um filtro para remover todos os vestígios de contaminantes que possa vir a aparecer<sup>[25]</sup>. A pressão de ar a ser fornecida deve ser constante na base da torre de saturação para atender as pressões sugeridas no topo da torre de saturação. A pressão de atomização deve ter uma sobrepressão garantida de 0,7 bar<sup>[18, 19]</sup>.

O ar comprimido deve, primordialmente, ser suficiente para atomizar a solução preparada em mistura com um ar saturado por umidade. Este processo de umidificação (saturação) do ar ocorre no saturador<sup>[18, 19]</sup>.

#### 4.8.5. Sistema de atomização

Os bocais podem ser feitos de de borracha dura, plástico ou qualquer outro material inerte. Os mesmos devem ser calibrados para garantir estabilidade e confiabilidade aos testes. As características operacionais esperadas são dadas na tabela 4 descrita abaixo.

Tabela 4. Características operacionais típicas de um bico pulverizador <sup>[17]</sup>

Altura do sifão, cm	Fluxo de ar, dm <sup>3</sup> /min				Consumo de solução, cm <sup>3</sup> /h			
	10	19	26,5	31,5	36	2100	3840	4584
20	19	26,5	31,5	36	636	2760	3720	4320
30	19	26,5	31,5	36	0	1380	3000	3710
40	19	26,6	31,5	36	0	780	2124	2904
	34	69	103	138	34	69	103	138
	<b>Pressão de ar, kPa</b>				<b>Pressão de ar, kPa</b>			

Em bicos padronizados e em consulta a tabela 4, percebe-se que o consumo de ar é relativamente estável às pressões comumente utilizadas, todavia ocorre uma redução considerável na solução pulverizada se o nível da solução puder cair consideravelmente no decorrer do teste<sup>[19]</sup>.

Acontecendo a não uniformidade de uma atomização não uniforme, existe a necessidade de redirecionar a pulverização por um deflector com o intuito de recolher as gotas maiores formadas e evitar que elas entrem em contato direto com os corpos de prova por colisão. Os bicos pulverizadores não se localizam, necessariamente, em alguma extremidade do gabinete, mas podem ser colocados na região central da câmara e a pulverização gerada pode ser direcionada verticalmente através de uma torre adequada<sup>[19]</sup>.

Para se evitar a possibilidade de evaporação da solução pulverizada, o ar deve ser umedecido antes de se adentrar ao pulverizador. Isso é possível pela passagem do mesmo por uma torre de saturação contendo água destilada em temperatura controlada. A temperatura a ser determinada está diretamente relacionada a pressão de trabalho e do tipo de bocal atomizador e deve ser ajustado de maneira tal que, a taxa de coleta do spray no gabinete e a concentração da solução coletada sejam mantidos dentro dos limites estabelecidos<sup>[18]</sup>.

Na tabela 5, são fornecidos valores de orientação para a temperatura da água aquecida na torre de saturação a diferentes pressões. Importante se atentar para o nível de água que necessariamente deve ser mantido para garantir assim uma umidificação adequada<sup>[18]</sup>.

Tabela 5. Valores para a temperatura de água quente na torre de saturação <sup>[18]</sup>

Atomização sobre pressão	Valores orientados para temperatura em graus Celcius da água quente na torre de saturação ao executar os diferentes testes de pulverização de sal.	
kPa	Spray de sal neutro e spray salino de ácido acético AASS	Cobre – acelerado com pulverização de ácido acético (CASS)
70	45	61
84	46	63
98	48	64
112	49	66
126	50	67
140	52	69

A velocidade de escoamento da água salgada ou solução de cloreto de sódio dentro da tubulação varia entre 1,5 a 2,5 m/s <sup>[36]</sup> e a quantidade de solução que entra deverá ser a mesma da que sai.

Os pulverizadores devem ser projetados e montados de forma que a incidência direta de névoa não recaia diretamente nos corpos de prova<sup>[20]</sup>.

#### 4.8.6. Sistema de aquecimento da câmara

A região onde os corpos de prova são alocados devem possuir um controle de temperatura contínuo. Para tanto emprega-se um sistema de aquecimento indireto e

esta temperatura deve ser anotada pelo menos uma vez ao dia, muito embora seja recomendado a utilização de dispositivo de gravação contínua ou por um termômetro que fornecerá informações on line tantas vezes quanto forem requeridas<sup>[18, 19]</sup>.

#### 4.8.7. Dispositivo de coleta de solução

É importante que conste no projeto um sistema de coleta de solução onde se observe uma quantidade coletada variante entre 1 a 2 mL de solução preparada por hora e o período mínimo a ser observado seja de 16 horas para esta atividade<sup>[20]</sup>.

Tal dispositivo de coleta é constituído por funil feito de material quimicamente inerte a corrosão e sua haste deve ser acoplada em cilindros graduados ou qualquer outro tipo de recipiente semelhante. Este funil ou estes funis, devem possuir um diâmetro de coleta de 100 milímetros que corresponde a uma área de recolha de aproximadamente de 80 cm<sup>2</sup>. Sua localização deve ser tal que, apenas a névoa e não o líquido já contaminado excedente dos corpos de prova caia para ser coletado<sup>[18]</sup>.

#### 4.8.8. Corpos de prova

Na verificação da qualidade do aparelho a ser fabricado deve-se utilizar amostras (corpos de provas) de aço de estampagem profunda tipo CR4<sup>[18]</sup>. Para fins de comercialização, o tipo e o número de corpos de prova a serem utilizados bem como os critérios a serem considerados para a avaliação dos resultados dos testes, devem ser definidos nas especificações relativas ao material ou produto exposto ou devem ser mutuamente acordados entre quem compra o material testado e a instituição que efetua os testes<sup>[19]</sup>.

A designação para este tipo de metal é dado no resumo da tabela 6.

Tabela 6. Composição química em percentual por massa do corpo de prova <sup>[18]</sup>

Qualidade		C (máx)	Mn <sup>a</sup> (máx)	P (máx)	S (máx)
Designação	Nome				
CR4	Alumínio lingotado por estampagem	0,08	0,45	0,03	0,03

	profunda (não envelhecido)				
<sup>a</sup> Titânio pode ser totalmente trocado ou parcialmente por nióbio ou vanádio. Carbono e nitrogênio deve estar completamente estabilizado.					

Para efeitos de qualificação da máquina projetada sendo baseado na Norma ISO 3574 <sup>[34]</sup>, os corpos de prova devem ser laminados a frio e possuir, como referência, de  $1 \pm 0,2$  milímetros de espessura sendo estes corpos de forma retangular cujas dimensões devam variar de  $150 \pm 70$  milímetros. Baseado na tabela acima e consultando a Norma NBR 5915, tem-se que os corpos de provas devam sofrer conformação por meio de estampagem, estiramento e repuxamento em grau de estampagem extra profunda (EEP)<sup>[34, 35]</sup>.

Estes corpos de provas necessitam ser acondicionados apoiados em suporte quimicamente inerte ao ataque da névoa para que não ocorra a possibilidade de contaminação. Os mesmos devem estar posicionados em uma angulação que deve variar entre 15 a 30 graus da vertical<sup>[19]</sup>. Para tanto foram confeccionados suporte em madeira.

As propriedades mecânicas deste aço utilizado como corpo de prova para validar a funcionalidade da máquina construída em complemento da tabela 7 de composição química se encontra na tabela abaixo:

Tabela 7. Propriedade mecânicas do corpo de prova <sup>[18]</sup>

<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS</b>					
Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento			Dureza Máxima (HRB)
		Espessura (mm)	Base de medida (mm)	Valor mín. %	
$e \leq 0,5$ : 140 - 270	270 - 350	$e \leq 0,5$	50 / 80	34 e 32	50
$0,5 \leq e \leq 0,7$ : 140 - 250		$0,5 \leq e \leq 0,7$		36 e 34	
$e > 0,7$ : 140 - 230		$e > 0,7$		38 e 36	

Os critérios para avaliação dos resultados dos testes será definido para validar a funcionalidade da máquina construída que deve-se, vias de regra, atender aos valores mínimos estabelecidos<sup>[19]</sup>. Importante frisar que a corrosão não pôde ser iniciada sob gotículas de eletrólito NaCl relativamente pequenas, com um tamanho crítico de aproximadamente 40 a 100  $\mu\text{m}$  para o aço de baixo carbono <sup>[25]</sup>.

Segundo a norma ISO 9227 os corpos de prova padrão foram adquiridos do fabricante Chemetall cuja designação é o GARDOBOND C com dimensões aferidas de 190 x 105 x 1 milímetros. Para estas medidas dos corpos de provas são esperados perdas de massa padrão na ordem de  $1,4 \pm 0,2$  gramas já feitos os devidos cálculos baseados no que a norma solicita.

#### 4.8.9. Solução Salina

A solução salina deve, necessariamente, ser preparada dissolvendo um valor de massa de cloreto de sódio em água destilada ou desionizada. Esta água a ser utilizada, segundo a norma ASTM B-117, deve obedecer as recomendações contidas na tabela 8 que correspondem a água tipo IV na especificação da norma ASTM D1193, onde a mesma pode ser preparada por destilação, troca iônica, osmose reversa, eletrodialise ou uma combinação das mesmas.

Tabela 8. Composição da água a ser utilizada <sup>[33]</sup>

Especificações	Valor
Condutividade elétrica máxima, $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 298 K (25°C)	5,0
Resistividade elétrica mínima, $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ a 298 K (25°C)	0,2 continar depois
pH a 298 K (25°C)	De 5.0 a 8.0
Total de carbono orgânico	Sem limite
Sódio máximo $\mu\text{g}/\text{L}$	50
Cloretos máximo $\mu\text{g}/\text{L}$	50
Total de sílica máxima $\mu\text{g}/\text{L}$	Sem limites

O cloreto de sódio deve conter em sua composição menos de 0,001% de fração mássica do cobre e menos de 0,001% de fração mássica de níquel determinada por um método analítico de alta sensibilidade. Importante ressaltar que não deve conter mais de 0,1% de fração mássica de iodeto de sódio ou mais de 0,5% de fração mássica do total de impurezas calculado para o sal seco.

Outro fator importante a ser obedecido refere-se ao pH da solução preparada a temperatura ambiente considerada de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se estiver fora do intervalo correspondido entre 6,0 e 7,0, é importante que seja averiguada a presença de impurezas indesejáveis ao processo no sal e/ou na água<sup>[18]</sup>.

Nota: o ajuste do pH deve ser executado de acordo com a avaliação feita mediante a coleta da solução pulverizada. Isto está ligado diretamente aos resultados a serem alcançados<sup>[19]</sup>. O ajuste do pH deve ser conseguido empregando solução diluída em ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH) altamente puro<sup>[20]</sup>.

A medição de pH deve ser registrada uma vez ao dia, exceto nos finais de semana ou feriados, quando o teste de névoa salina é executado de forma ininterrupta para verificar ou reabastecer a solução no reservatório. Para tanto, somente o ácido clorídrico (HCl) com grau reagente diluído, ou o hidróxido de sódio reagente (NaOH), devem ser utilizados para ajustar o pH requerido<sup>[19]</sup>. Estes valores são melhores extratificados na tabela 9.

Tabela 9. Limites Máximos Permitidos de Impurezas no Cloreto de Sódio <sup>[19]</sup>

<b>Descrição da Impureza</b>	<b>Quantidade Permitida</b>
Impurezas Totais	$\leq 0,3\%$
Brometo, fluoreto e iodeto excluindo cloreto	$\leq 0,1\%$
Cobre	$< 0,3\text{ ppm}$
Agente anti-aglomerativo	0,0%

Possíveis alterações no pH podem resultar da perda de dióxido de carbono da solução quando ela é pulverizada. Tais alterações podem ser evitadas reduzindo o teor de dióxido de carbono da solução. Isto pode ser executado aquecendo-se a água a uma temperatura acima dos 35 graus no momento que antecede o início de operação da máquina ou fazendo a solução utilizando água recentemente fervida<sup>[18]</sup>.



A máquina deve ser preparada para trabalhar com testes AASS e CASS. O procedimento para se trabalhar com este tipo de solução é melhor esmiuçado em conteúdo contido nas normas ISO 9227 e ASTM B-117, cada qual com a sua devida particularidade.

#### **4.8.1. Controle das variáveis**

As variáveis físicas que devem ser controladas são: temperatura, pressão e humidade para se obter sucesso na execução do projeto da máquina<sup>[19]</sup>. Os locais onde são aplicados tais controles devem ser:

- Temperatura – no gabinete de pulverização e na água do saturador;
- Pressão – do ar comprimido que é uma dos componentes do sistema de atomização;
- Humidade – no saturador, que é por onde o ar comprimido passa e é filtrado e saturado em água cuja temperatura de trabalho é controlada;

Estes parâmetros devem ser avaliados e controlados por uma central eletro-eletrônica que deve ser posicionada próximo a máquina que está sendo utilizada.

#### **4.9. RECOMENDAÇÕES DE MONTAGEM A SEREM OBEDECIDAS**

Máquinas que executam este tipo de ensaio necessitam que tenham uma engenharia embarcada para controle do ambiente de forma confiável. Estes controles visam padronizar o funcionamento destas máquinas para que o resultado final a ser alcançado seja satisfatório. Como já foi mencionado, existem três normas distintas que delimitam os controles a serem montados. Tendo isto posto, será externado as sugestões de montagens de cada norma. Baseado no esquemático apresentado, visitas técnicas e pesquisas em sites de fabricantes de máquinas que são comercializadas. Posteriormente foi compilado tudo observado e elaborado a sugestão da máquina a ser construída com seus respectivos mecanismos de montagem e controle.

#### 4.9.1. Diagrama Esquemático de Montagem Segunda Norma ISO 9227

Esta norma foi a adotada para delimitar o projeto a ser apresentado como sendo a idéia principal a ser seguida.

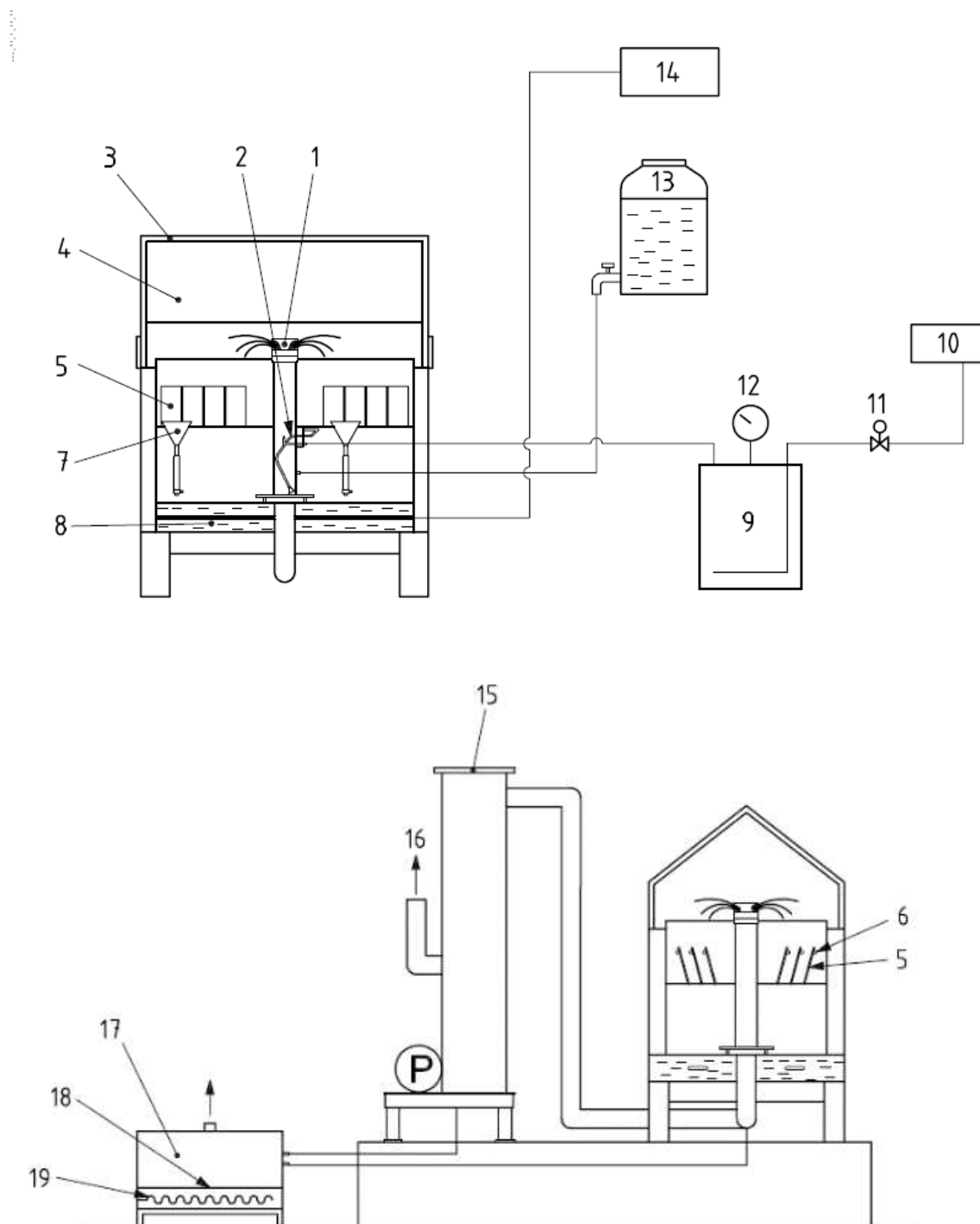


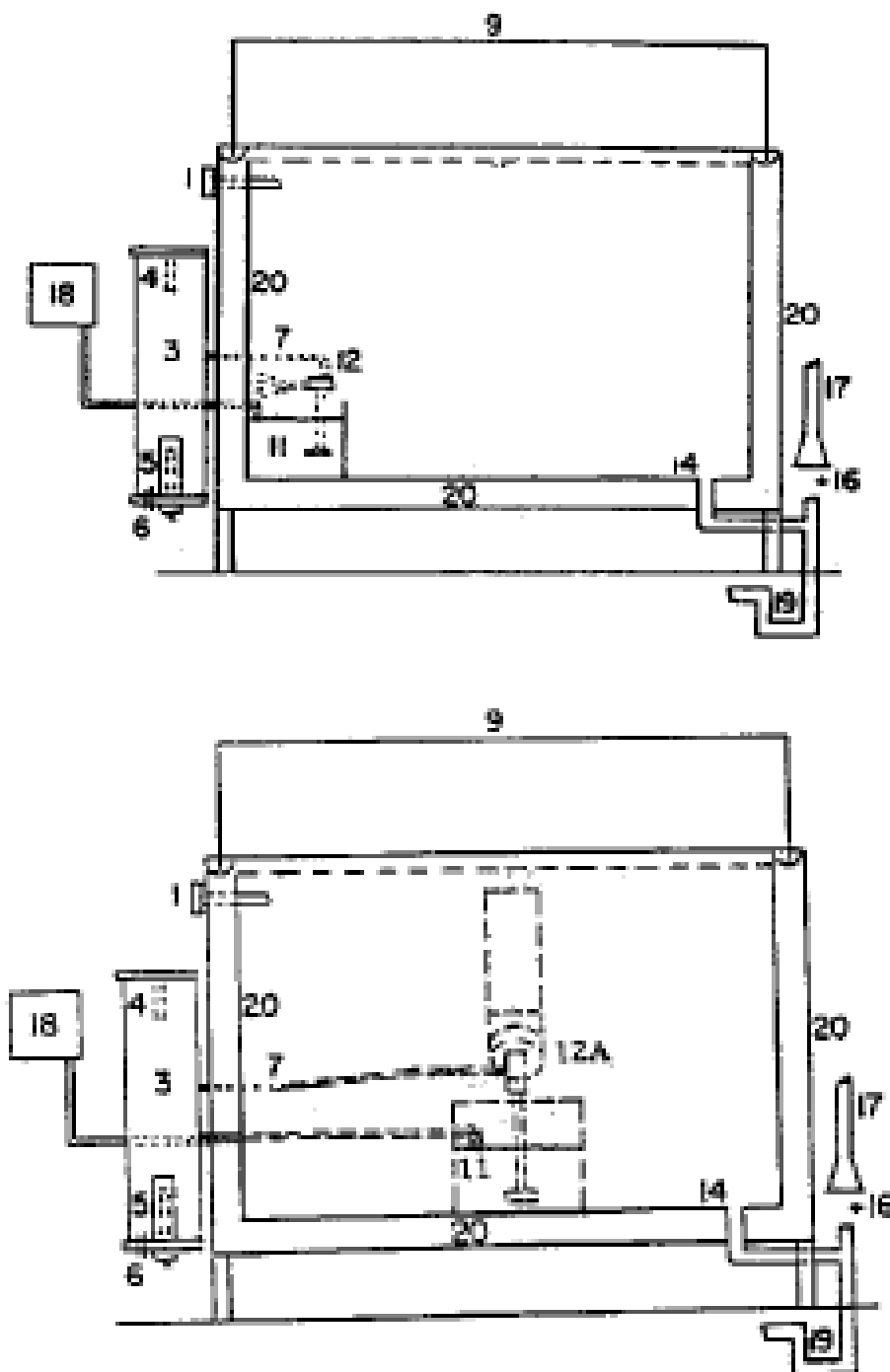
Figura 11. Desenho esquemático segundo a norma ISO 9227 <sup>[18]</sup>

## Componentes da máquina segundo a Norma ISO 9227

1. Difusor de neblina
2. Atomizador
3. Tampa
4. Câmara de teste
5. Corpo de prova
6. Suporte para corpo de prova
7. Coletor de névoa
8. Jaqueta de homogeneidade de aquecimento
9. Saturador de ar
10. Compressor de ar
11. Válvula solenóide ou válvula de bloqueio
12. Manômetro
13. Tanque de solução
14. Aquecedor do fluido da jaqueta
15. Eliminador de névoa
16. Respiro (aliviador) de ar
17. Dreno de solução
18. Bandeija de sal
19. Aquecedor de corpos de provas

#### 4.9.2. Diagrama Esquemático de Montagem Segundo Norma ASTM B 117

Embora seja a norma internacional mais adotada para este trabalho ela foi usada somente como consulta para se determinar o melhor modelo de projeto a ser elaborado e empregado.



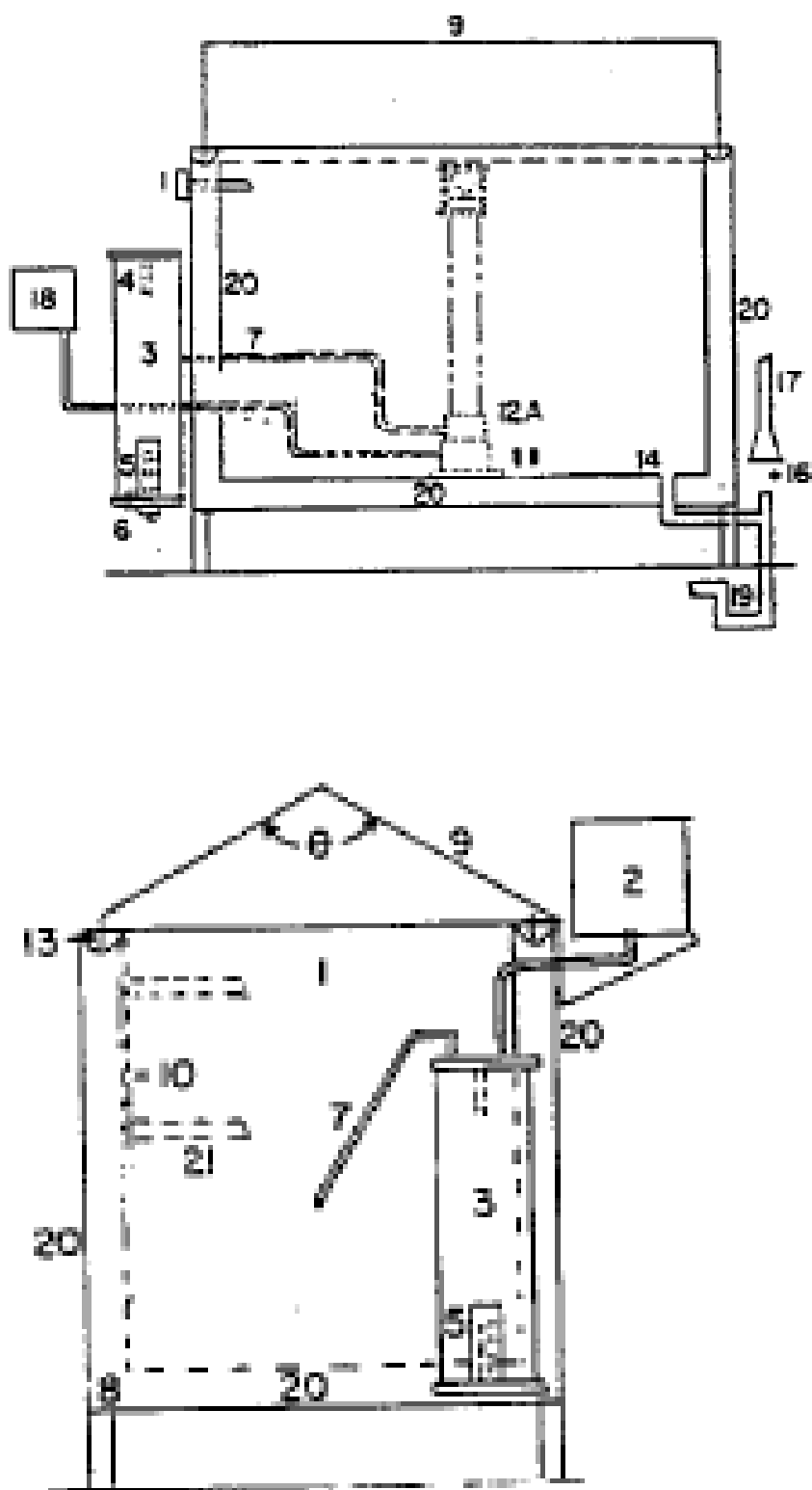


Figura 12. Desenho esquemático segundo a norma ASTM B 117 [19]

Componentes numerados da máquina segundo a ASTM B 117:

1. Termômetro e termostato para controlar a temperatura interna da câmara;
2. Dispositivo automático de nivelamento de água;
3. Saturador
4. Regulador automático de temperatura para controlar o aquecedor;
5. Aquecedor de imersão (inoxidável);
6. Entrada de ar, aberturas múltiplas;
7. Tubo de ar para esguicho de névoa;
8. Aquecedor em base
9. Dobradiça de topo, hidráulicamente operada ou contrabalanceada;
10. Suporte para os corpos de prova
11. Reservatório interno
12. Pulverizador com placa defletora
- 12A. Bico pulverizador alojado na torre de dispersão localizada preferencialmente no centro da cabine.
13. Sêlo de água da tampa
14. Combinação de dreno e exaustão
15. Não há nada
16. Separação completa entre a descarga pelo tubo de escoamento forçada (item 17) pelo dreno e exaustor combinados (item 14 e 19) para evitar sucção indesejável ou contrapressão
17. Descarga forçada pelo tubo
18. Dispositivo de nivelamento automático para reservatório
19. Sifão de resíduos
20. Jaqueta

### 4.9.3. Diagrama esquemático de montagem segundo a norma DIN 50 021

Similar a Norma ASTM B 117 para este trabalho, esta Norma foi utilizada como consulta para se contruir a máquina que é basicamente idealizada e conceituada a partir da Norma ISO 9227.

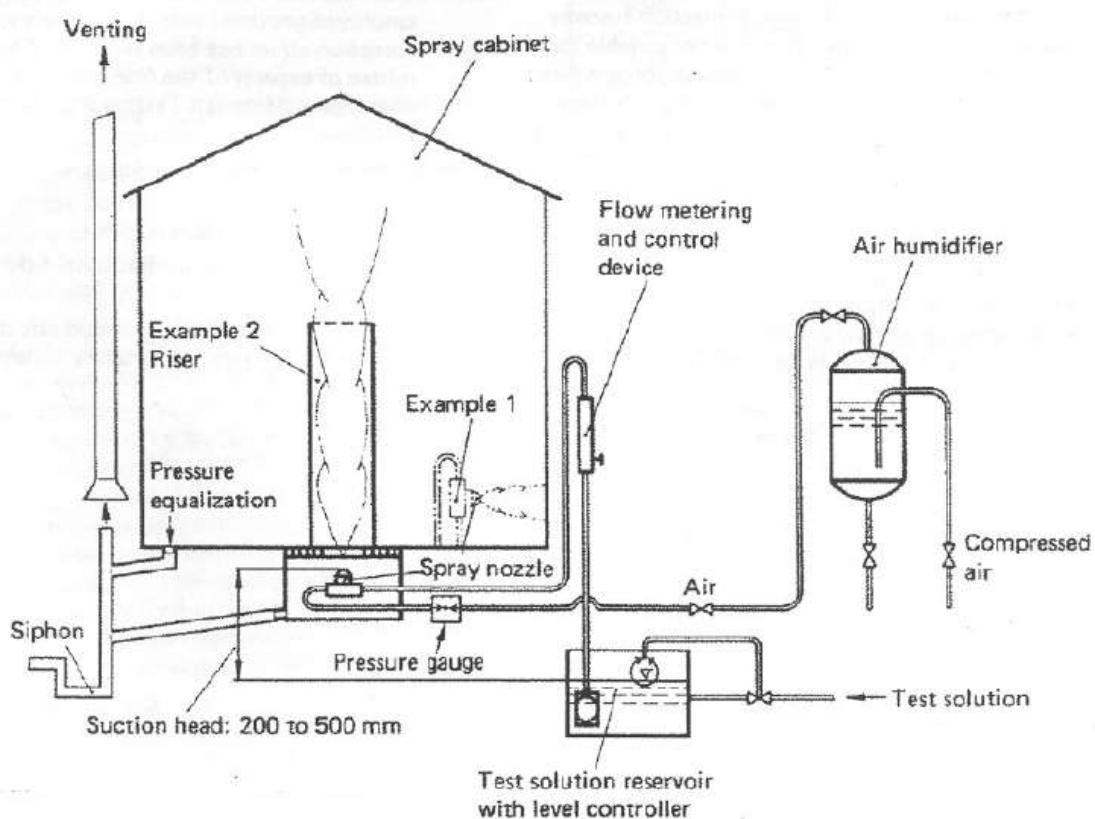


Figura 13. Desenho esquemático segundo a norma DIN 50 021 [21]

Diferentemente das demais, as funções de cada componente da máquina sugestionado por esta norma se encontram no próprio desenho esquemático da mesma.

Todos os três esquemáticos apresentados possuem similaridades e, de alguma forma, se complementam se comparadas umas as outras. O sucesso do projeto se dará pelo compêndio de idéias contidas nestas normas supra citadas.

#### 4.10. MÁQUINAS EXISTENTES NO MERCADO

Existem quantidades relativamente alta de máquinas de ensaio acelerado de corrosão no mercado e dentro do portfólio nacional. É importante que algumas sejam pesquisadas e evidenciadas para enriquecer a idéia de como o projeto tenha evolução na sua construção.

##### 4.10.1. Salt Spray Equilan

Câmara utilizada em indústria automobilística da região, construída sem qualquer presença interna de metal que possa vir a interferir no resultado final esperado dos testes com referencial esquemático externado abaixo <sup>[37]</sup>.

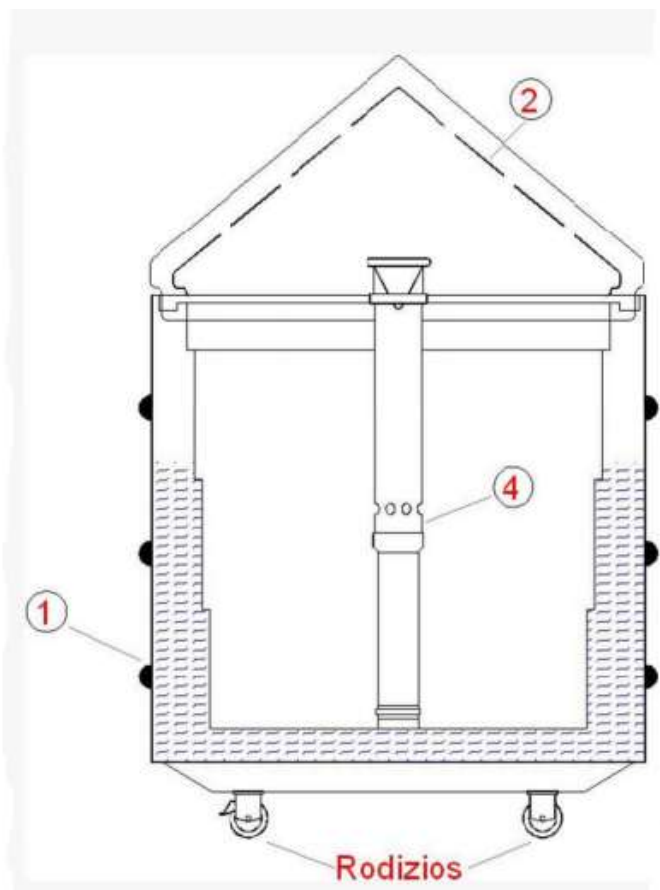


Figura 14. Desenho esquemático e construtivo de uma máquina Equilan <sup>[37]</sup>



1. Jaqueta: para este modelo o gabinete interno possui aquecimento indireto por água. A mesma é representada na figura com preenchimento lateral;
2. Tampa: com acabamento liso e sem ondulações que atende os pré requisitos preconizados pela Norma ASTM B 117;
3. Construção monobloco, ou seja, tanque de solução, Saturador e Painel conjugado em um único volume;
4. Bico de atomização central: construído em acrílico que permite ajustes. A névoa é distribuída de forma uniforme proporcionado por um difusor maciço cônico atendendo sugestão contida na Norma ASTM B 117<sup>[37]</sup>.

O gabinete interno e externo são construídos em fibra de vidro com resina éster vinílica bifenol A. O painel de controle possui horímetro e controladores de temperatura microprocessado<sup>[37]</sup>.

Na figura 15 pode-se verificar com detalhes o que acaba de ser explanado.

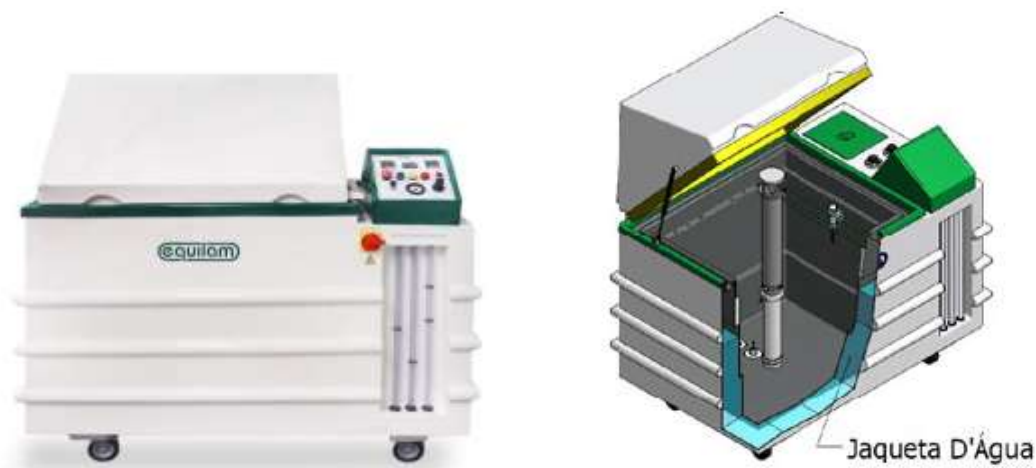


Figura 15. Máquina Equilan série SSe <sup>[37]</sup>

#### 4.10.2. Modelo LIYI

Câmara de origem chinesa. Possui em seu portfólio máquinas que não obedecem um pré requisito contido na Norma ISO 9227 que é o volume interno da

atmosfera ser de  $0,4 \text{ m}^3$ . Suas dimensões internas, segundo referencial de compra são:  $600 \times 450 \times 400$  milímetros<sup>[38]</sup>

Modelo monobloco feita em PVC com tampa em acrílico transparente, coletores interno com receptáculos externos de amostragem de quantidade de atmosfera salina coletada com difusor central cônico<sup>[38]</sup>.

Tanto o modelo quanto o esquemático de funcionamento estão evidenciados nas figuras 16 e 17.



Figura 16. Salt Spray Fog Liyi Ly-609-60

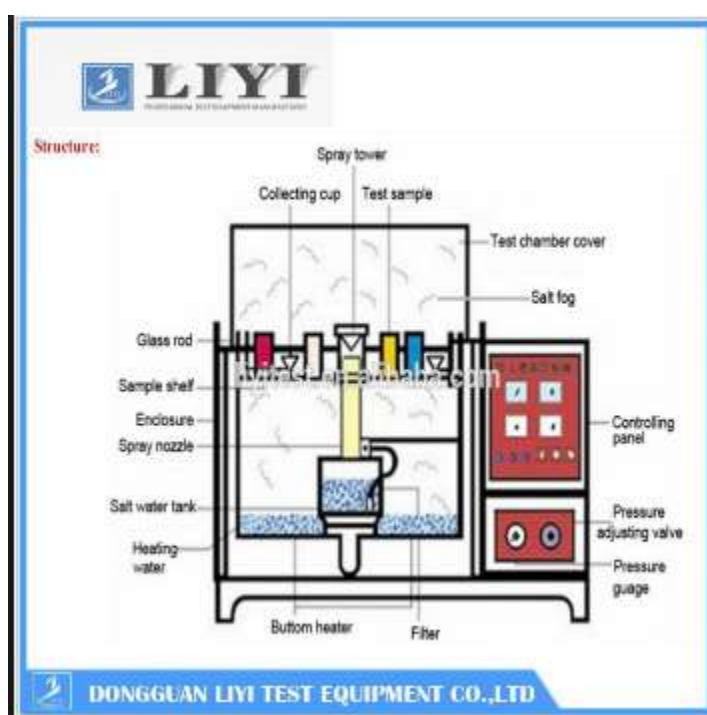


Figura 17. Esquemático de funcionamento LIYI

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Se valendo dos itens que a máquina deve possuir minimamente pela forma já descrita, será explanado a seguir a metodologia utilizada para execução do projeto em seu tratamento e análise dos dados obtidos.

Para este trabalho em questão, serão consideradas duas divisões para materiais e métodos. A primeira é sobre o projeto de construção da máquina e a segunda é sobre sua operacionalização com seus respectivos procedimentos a serem alcançados bem como sua preparação para um pré uso.

Para máquina em questão, será usado névoa salina neutra (NSS), embora a mesma esteja preparada para receber névoa salina por ácido acético (AASS) ou névoa salina por ácido acético acelerado por cobre (CASS), desde que a mesma seja lavada adequadamente.

Todos os itens contidos no esquemático do projeto contidos na figura 18 serão abordados em minúcias.

A máquina construída atendeu aos pré requisitos descritos abaixo segundo ao que a Norma ISO 9227 solicita.

São eles:

- O volume interno do gabinete não deve ser inferior a  $0,4 \text{ m}^3$ ;
- A pressão de atomização deve ter uma sobrepressão garantida de 0,7 BAR;
- De acordo com a pressão de trabalho, há um guia de valores de temperatura de água quente dentro da torre de saturação que deve ser respeitado<sup>[18]</sup>.
- A máquina deve possuir dispositivo de coleta de névoa adequado constituídos por funis compostos de material quimicamente inerte, com suas hastes inseridas em coletores graduados ou recipiente semelhante;

- Deve-se usar de 4 a 6 corpos de provas corpos de prova de tiras laminadas a frio cujas dimensões são: 1 milímetro de espessura com  $150 \pm 70$  milímetros de comprimento e largura respectivamente;
- A operação do equipamento de teste somente será considerada satisfatória se a perda de massa de cada amostra devidamente posicionada dentro do aparato for de  $70 \pm 10 \text{ g/m}^2$  durante 48 horas de operação;
- Os suportes dos corpos de prova também devem ser feitos de material metálico inerte ao processo de corrosão metálica;

Mesmo atendendo os pré requisitos acima deve-se observar também os seguintes itens:

- Alteração revelada pelo exame micrográfico;
- Alteração das propriedades mecânicas
- Tempo decorrido antes do aparecimento dos primeiros sinais de corrosão.

## **5.1. PROJETO DA MÁQUINA**

O projeto de máquina foi construído baseado no esquemático da figura 18. Seus pormenores serão devidamente explorados e detalhados.

Uma leitura detalhada sobre a máquina é de total importância para futuras intervenções e ações mais acertivas e rápidas em problemas que possam vir a aparecer quando a mesma estiver sendo utilizada. Todos os itens numerados serão detalhados.

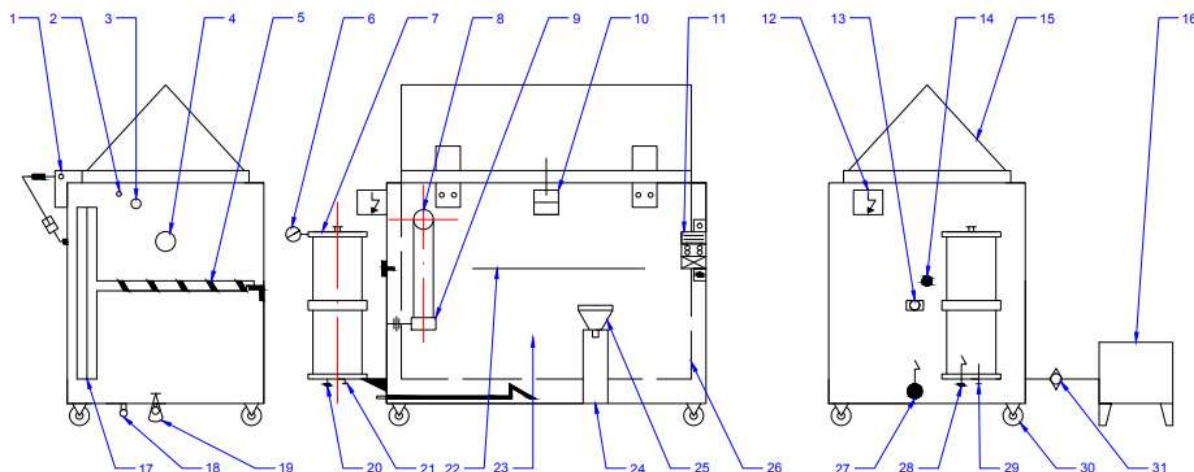


Figura 18. Esquemático Salt Spray Modelo Coutispray Fogtest [Fonte: autor]

- |                                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Mancal de articulação        | 16. Reservatório de solução      |
| 2. Bocal de enchimento          | 17. Visor de nível da jaqueta    |
| 3. Respiro de ar da jaqueta     | 18. Dreno de óleo da jaqueta     |
| 4. Exaustão da câmara           | 19. Dreno da solução             |
| 5. Suportes para corpo de prova | 20. Dreno do saturador           |
| 6. Regulador de pressão         | 21. Mangueira de ar do saturador |
| 7. Saturador                    | 22. Anteparo para suporte        |
| 8. Torre nebulizadora           | 23. Gabinetes                    |
| 9. Suporte e bico pulverizador  | 24. Proveta coletora de solução  |
| 10. Cilindro pneumático         | 25. Funil coletor de solução     |
| 11. Válvula pneumática          | 26. Jaqueta de óleo              |
| 12. Painel elétrico de comando  | 27. Resistência da jaqueta       |
| 13. Manômetro                   | 28. Resistência do saturador     |
| 14. Termômetro do gabinete      | 29. Termômetro do saturador      |
| 15. Tampa do gabinete           | 30. Rodízios                     |

## 31. Filtro de solução

### 5.1.1. Mancais de articulação

Foi projetado um modelo de mancal articulável por intermédio de pino para possibilitar a abertura e fechamento da tampa do gabinete.

Os mesmos foram confeccionados de PVC por se tratar de um elemento inerte a qualquer tipo de solução que possa vir a ser utilizada. Os pinos foram confeccionados de aço inox por ser mais resistente a corrosão e possuir maior resistência mecânica que os mancais.

### 5.1.2. Bocal de enchimento

Foi pensando único e exclusivamente no preenchimento de óleo do reservatório da jaqueta. O preenchimento deve ser executado com o auxílio de um funil plástico que acompanha a máquina, cuja finalidade é mitigar possíveis ocorrências de contaminação do solo pelo óleo utilizado em vazamentos. Uma vez feito o preenchimento, este bocal deve ser vedado.

### 5.1.3. Respiro de ar da jaqueta

O óleo introduzido na jaqueta, quando aquecido, começa a desprender gases que não são aproveitados e constrói assim, um aumento da pressão interna deste reservatório. Sendo assim, com o intuito de preservar a pressão atmosférica dentro deste reservatório, foi introduzido um sistema conhecido como respiro de ar<sup>[39]</sup>.

É prática comum a instalação de respiros na parte superior de todo e qualquer reservatório para garantir que a pressão atmosférica no interior do tanque estando ele com ou sem fluído<sup>[40]</sup>.

### 5.1.4. Exaustão da câmara

Todo excedente de névoa produzido deve ser devidamente descartado fora do recinto onde se encontra a máquina de salt spray sob o risco de proporcionar contaminações indesejadas nas outras instalações do laboratório. Seria uma boa

prática instalar as máquinas de salt spray em laboratórios isolados dos demais. Na impossibilidade disso acontecer, o sistema de exaustão ou despressurização da câmara deve ser instalado de maneira estanque para que a névoa seja lançada para do laboratório e descartada em local próprio para isso, como em canaleta de esgoto por exemplo.

#### 5.1.5. Suportes para corpos de provas

É importante que estes suportes a serem utilizados sejam quimicamente inerte ao ataque da névoa para que não ocorra a possibilidade de contaminação. Os mesmos devem estar posicionados em uma angulação que deve variar entre 15 a 30 graus da vertical<sup>[19]</sup>. Para tanto foram confeccionados suportes em madeira e com a menor área de contato possível com os corpos de prova conforme ilustração contida na figura 19.

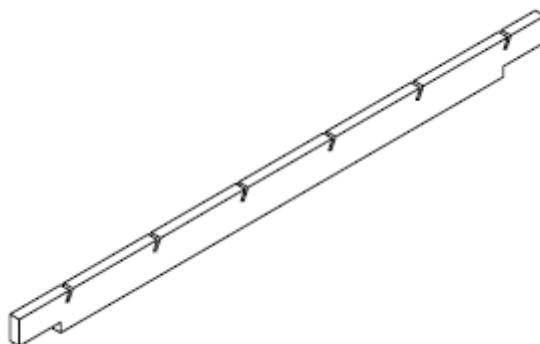


Figura 19. Suporte de corpo de prova [Fonte: autor]

#### 5.1.6. Regulador de pressão

Sua função primordial, como o próprio nome já diz, é o de regular (ajustar) a pressão de ar fornecido pelo compressor. Possui um elemento filtrante incorporado no seu corpo cuja função é o de reter particulado sólido contidos no trecho de tubulação contido entre o compressor e o consumidor final que neste caso é a própria máquina de ensaio.

### 5.1.7. Saturador

Para evitar a evaporação da água das gotículas pulverizadas, o ar comprimido deve ser tratado antes de ser atomizado em um processo inicial de filtragem e regulagem de pressão de trabalho. Este tratamento se dá no saturador cujo esquemático está ilustrado na figura 20, que é o equipamento responsável por saturar o ar comprimido a ser pulverizado dentro da câmara com aumento de sua umidade garantindo um nevoeiro úmido<sup>[18, 19]</sup>.

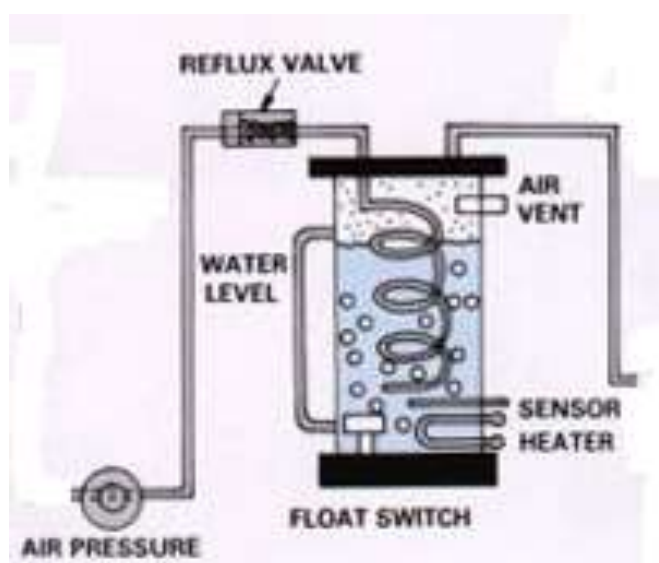


Figura 20. Sistema de funcionamento do saturador <sup>[41]</sup>

É um equipamento que deve ser preenchido com água. Esta água a ser introduzida no saturador também é destilada ou deionizada a uma temperatura acima do valor medido de temperatura do gabinete. Esta temperatura está associada a pressão usada e do tipo de bocal do atomizador e deve ser ajustado de modo que a taxa de coleta do spray no gabinete e a concentração coletado sejam mantidos dentro dos limites especificados<sup>[18]</sup>. O gradiente alcançado desta temperatura é conseguido por aquecimento por intermédio de uma resistência elétrica.

A saturação do ar comprimido é feita no recipiente inferior do saturador. Este saturador não deve interferir na temperatura interna do gabinete. A pressão do ar saturado e sua temperatura podem ser controladas por instrumentos tais como termômetro e manômetro montados logo após o saturador. Por segurança uma válvula automática apontada na figura 21 é montada no saturador permite o escape



do ar no caso de sobre pressão, evitando-se assim uma possível trinca em sua parede.



Figura 21. Válvula de segurança do saturador [Fonte: autor]

O desenho demonstrado na figura 22 informa fisicamente a forma do saturador, deste que é um importante item do processo de ensaio acelerado de corrosão. Embora não tenha contato direto com a solução salina é importante que os componentes também sejam inertes a solução para não ter sua vida útil reduzida por ação da névoa produzida.

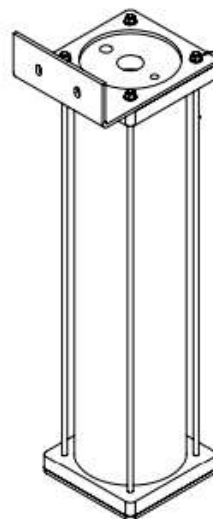


Figura 22. Desenho mecânico do saturador de ar comprimido [Fonte: autor]

O dispositivo adequado para manter o nível de líquido na torre do saturador ou no reservatório da solução de teste pode ser projetado por um grupo de engenharia

local ou pode ser adquirido de fabricantes de gabinetes de teste como sendo um acessório<sup>[19]</sup>.

### 5.1.8. Torre nebulizadora

Responsável por conduzir a névoa produzida até a parte superior do gabinete antes do início da tampa e vedação da máquina.

É importante que a névoa produzida não seja lançada diretamente nos corpos de prova sob a pena de provocar possíveis condensações indesejadas de solução sobre os mesmos, o que afetaria nas medições de performance da mesma.

Os detalhe construtivos deste sistema pode ser melhor elucidado no desenho da figura 23.

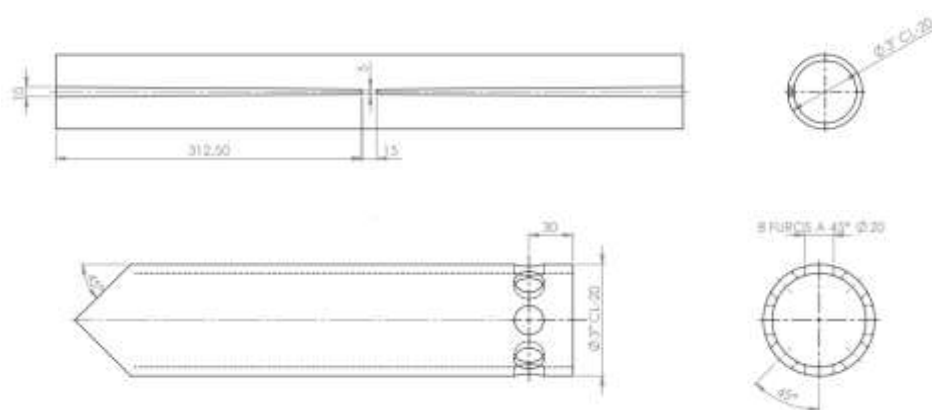


Figura 23. Torre de atomização [Fonte: autor]

### 5.1.9. Suporte e bico pulverizador

Responsável por efetuar a mistura da solução de NaCl com o ar comprimido fornecido sob a pressão de 0,7 BAR. Esta mistura é expulsa do pulverizador sob a forma de névoa salina saturada.

Existe uma configuração construtiva do bico de pulverização sugerido pela norma ASTM B-117 conforme figura 24.

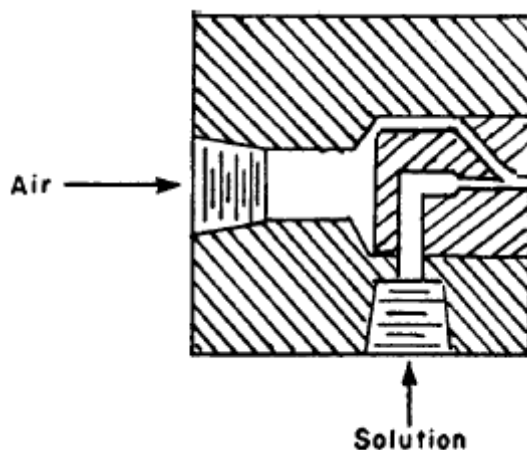


Figura 24. Bico pulverizador típico sugerido por norma <sup>[19]</sup>

Todo o dispositivo do atomizador é composto por um bico atomizador que recebe as conexões tanto de ar comprimido quanto da solução de NaCl, uma torre atomizadora tubular e um difusor de neblina que deve ser construído de maneira tal que a névoa seja distribuída de maneira uniforme para a atmosfera interna na câmara de forma a atingir igualmente todos os corpos de provas lá contidos. O importante é que a pressão interna seja garantida sob a forma de névoa.

O ar comprimido que vem do saturador, ao passar pelo bico de pulverização onde há um estrangulamento, aspira a solução do copo de alimentação por um fenômeno físico chamado princípio de Venturi que ocorre devido a diferença de densidade verificada entre o ar e a solução<sup>[42]</sup> ilustrado na figura 25. O excesso de solução aspirada retorna ao corpo por gravidade. No copo é previsto um filtro de solução de nylon, para a proteção do bico pulverizador.



Figura 25. Sistema de pulverização utilizado [Fonte: autor]

### 5.1.10. Cilindro pneumático

Elemento de máquina introduzido no projeto para prover a abertura e fechamento da tampa. Sua forma construtiva é de um cilindro pneumático de dupla ação com fixação por olhal traseiro conforme figura 26.



Figura 26. Cilindro pneumático de dupla ação [Fonte: autor]

### 5.1.11. Válvula direcional pneumática

Elemento de máquina introduzido para direcionar o fluxo de ar comprimido para o cilindro que aciona a tampa, ora para abrir ou ora para fechar. Sua forma representativa é de uma válvula direcional pneumática, de três posições e cinco vias acionada por duplo solenóide e centrada por mola. A mesma se encontra em fotografia na figura 27 para consulta.



Figura 27. Válvula direcional utilizada [Fonte: autor]

### 5.1.12. Painel elétrico de comando

Painel desenvolvido com dois controladores cuja função é o de sincronizar a entrada e a saída do acionamento das resistências fazendo uma interface de comunicação entre as mesmas e os termômetros instalados. Este painel também possui um contador de tempo que trabalha exclusivamente na modalidade automática de parametrização com display dedicado conforme figura 28.

Neste mesmo painel é possível controlar a abertura e fechamento da tampa devido a sua ligação direta aos solenóides da válvula direcional. Os valores de comando ajustados são referenciados em normas.



Figura 28. Painel elétrico de comando [Fonte: autor]

O modelo do controlador digital de temperatura é o TC4 Series do fabricante Autonics<sup>[43]</sup>. Instrumento utilizado para traduzir informações fornecidas pelos termômetros PT100, onde o mesmo ordena que se faça o ligamento ou o desligamento das resistências de acordo com as temperaturas ajustadas para os testes.

Os parâmetros ajustados nos componentes do painel bem como a forma como estes ajustes foram feitos serão transcrevidos abaixo respeitando os valores indicados

nas normas, que são: 47 °C com histerese de  $\pm 2$  para o saturador e de 40 °C com histerese de  $\pm 1,5$  para o óleo da jaqueta.

O modelo do temporizador é FS-1201- AAF01 do fabricante FScheib [44]. É instrumento responsável por contar o tempo de ensaio. Pode ser devidamente ajustado de acordo com o tempo que se deseja efetuar os procedimentos de análise de acordo com os parâmetros pré ajustados mediante aos seus modos de funcionamento.

Sua faixa de contagem varia entre 0 a 9999 unidades somadas a uma faixa de temporização contemplada entre 0,01 segundos até a 99:59 horas, o que permite utilizá-lo da forma como for melhor conveniente para se efetuar os testes necessários para a qualificação da máquina. Importante salientar que o mesmo trabalha a uma faixa de temperatura compreendida entre -10 °C e 60 °C, onde o funcionamento da máquina é ajustado para se trabalhar com em uma faixa compreendida entre estes dois valores.

As indicações de como se efetua ajustes dos instrumentos tanto dos controladores quanto do temporizador então contidas no anexo I e II deste trabalho na íntegra dos seus respectivos manuais.

### **5.1.13. Manômetro**

Instrumento responsável por medir a pressão de ar comprimido a ser utilizado pela máquina. Para este projeto foram contemplados dois manômetros. Um para o regulador de pressão interligando a linha geral de fornecimento do ar comprimido e outro que antecede a entrada do sistema de atomização como redundância de garantia de que o fornecimento esteja dentro do valor estabelecido por norma.

Este manômetro está instalado a um anteparo que deflete o ar que vem do saturador conforme mostrado na figura 29.



Figura 29. Manômetro do gabinete [Fonte: autor]

#### 5.1.14. Termômetro do gabinete

Para este projeto, foram contemplados dois termômetros do tipo PT100 ilustrados na figura 30, que operam baseados no princípio de variação de resistência ôhmica em função da temperatura e boa repetibilidade de leitura<sup>[45]</sup>. Eles são responsáveis por captar a temperatura interna do gabinete e outro instalado no saturador para captar o valor da temperatura da água. Estes valores são enviados para os controladores digitais localizados no painel elétrico que executam a tarefa de ligar e desligar as resistências.



Figura 30. Termômetro tipo PT100 <sup>[45]</sup>

### 5.1.15. Tampa do gabinete

A mesma foi totalmente construída em acrílico e possui um reforço metálico atuando como olhal interligado em sua geometria para que não ocorra uma possível trinca em seu acionamento pneumático. Optou-se por um sistema de abertura e fechamento pneumático, com fornecimento de ar independente, válvula de duplo solenóide, cinco vias e três posições com centro fechado para garantir a estabilidade da tampa na posição em que se deseja a partir do momento no qual se pára de acionar a botoeira no painel.

A geometria da tampa foi adotada baseado em solicitação normativa e seu ângulo de cunha foi dado por 125 graus conforme indicado no desenho<sup>[19]</sup>. Esta tampa deve ser projetada de maneira tal que, as gotículas de solução pulverizada que se formam em sua superfície não caia nos corpos de prova que estão sendo testados<sup>[18, 19]</sup> conforme figura 31.

Devem ser adotadas cores para segurança em estabelecimentos ou locais de trabalho, a fim de indicar riscos existentes <sup>[46, 47]</sup>. Por se tratar de uma parte móvel do equipamento, esta tampa deverá ter uma sinalização para atentar o operador durante seu manuseio. Esta indicação poderá ser alaranjado para indicar “perigo” ou amarelado para indicar “cuidado”<sup>[46]</sup>.

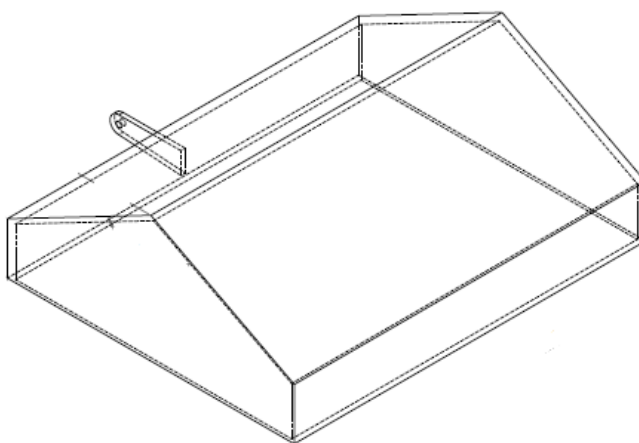


Figura 31. Tampa do gabinete [Fonte: autor]



### 5.1.16. Reservatório de solução

Componente do projeto responsável por armazenar a solução preparada. Deve possuir capacidade suficiente de armazenamento de solução que seja capaz de atender todo o ensaio em sua plenitude.

Possui um sistema de equalização de pressão atmosférica acoplado em sua carcaça que não permite o transbordamento e conseqüente perda de solução quando a máquina estiver em operação conforme figura 32.



Figura 32. Reservatório de solução [Fonte: autor]

Uma nota importante acerca deste item é que não é recomendado utilizar o mesmo reservatório para diferentes tipos de solução a ser aplicada, sob pena de contaminar e não proporcionar leituras confiáveis influenciando assim no resultado final esperado<sup>[18, 19]</sup>.

### 5.1.17. Visor de nível da jaqueta

Responsável indicar o nível de óleo contido na jaqueta conforme figura 33. Este nível deve ser constantemente inspecionado, onde em caso de nível baixo pode

ocasionar um superaquecimento da resistência e sua possível queima, além de não proporcionar um aquecimento uniforme na atmosfera interna do gabinete.



Figura 33. Visor de nível de óleo [Fonte: autor]

#### **5.1.18. Dreno de óleo da jaqueta**

Responsável para drenar o óleo introduzido quando, em algum momento de utilização da máquina isso se fizer necessário. Seja pela contaminação, vida útil do óleo, ou seja por um eventual transporte onde é mais prudente que se faça com o reservatório vazio a fim de impedir a contaminação do solo.

#### **5.1.19. Drenos da solução condensada**

A máquina foi concebida com a possibilidade de se trabalhar com três tipos de solução distintas (NSS, AASS e CASS). Existe a necessidade de uma limpeza geral da máquina caso o processo de análise seja permutado e visando uma facilidade para a limpeza da mesma para que um processo não contamine o outro e produza resultados errados, foi introduzido no projeto este dreno para facilitar esta limpeza conforme figura 34.

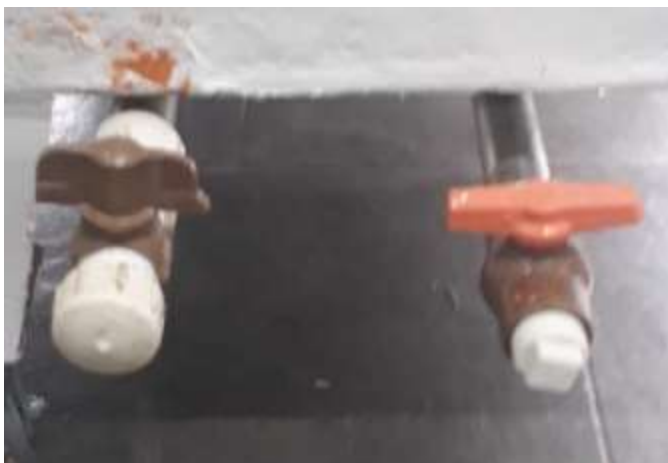


Figura 34. Drenos de solução e de óleo [Fonte: autor]

#### **5.1.20. Dreno do saturador**

O saturador deve se trabalhar preenchido com água. Embora este saturador deva ser estanque, esta água é consumível no processo bem como em períodos longos de não utilização da mesma, esta água deva ser drenada quando a máquina for ficar por longos períodos sem utilização para não se formar colônias de fungos dentro do saturador.

#### **5.1.21. Mangueira de ar do saturador**

Responsável por fazer a interligação do ar comprimido da rede que passa pelo saturador e se conecta no sistema de atomização da máquina.

Sua função é a de expulsar mais rapidamente a névoa aos finais de cada ensaio.

#### **5.1.22. Anteparo para suporte**

Idealizado para comportar os suportes de madeira dos corpos de prova. O par de anteparos praticamente atravessa o corpo interno do gabinete para se ampliar o

leque de opções do posicionamento dos corpos de prova dentro da máquina e sair fora do posicionamento do coletor de solução.

### 5.1.23. Gabinete

O gabinete necessariamente não pode possuir uma capacidade atmosférica interior inferior a  $0,4 \text{ m}^3$  uma vez que, em volumes menores, houve dificuldades em garantir uma distribuição uniforme do spray<sup>[18]</sup>. Para tanto, foram calculados as dimensões mínimas que devem ser atendidas, considerando a área do cubo do gabinete mais a área geométrica fornecida pela tampa.

As chapas do gabinete possuem espessuras de  $1/8''$  (um oitavo de polegada) de aço 1020 sendo posteriormente revestidas com fibra.

A tabela 10 informa as dimensões básicas do gabinete, o qual foi particionado em três figuras geométricas distintas seguido do desenho preliminar da máquina:

Tabela 10. Volume Interno do Gabinete (em  $\text{m}^3$ ) [Fonte: autor]

Região do Gabinete	Frente (em m)	Altura (em m)	Profundidade (em m)	Volume (em $\text{m}^3$ )
Cubo Interior	0,77	0,73	0,61	0,343
Cubo Retangular da Tampa	0,825	0,13	0,645	0,0692
Cubo Triangular da Tampa	0,645	0,16788	0,825	0,0447
<b>Volume Total</b>	<b>0,457 <math>\text{m}^3</math></b>			

Segue desenhos do gabinete considerando as dimensões mínimas a serem utilizadas.

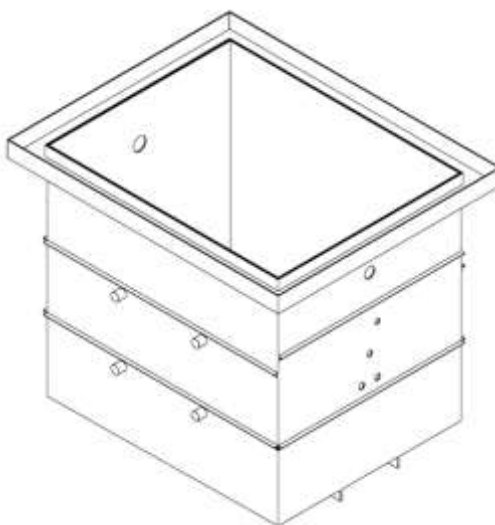


Figura 35. Vista Isométrica do Gabinete Interno [Fonte: autor]

**Nota:** o desenho da figura 35 já contempla um perfil tipo U em que se promove um espaçamento necessário a ser considerado do sêlo de água da tampa, ou seja, existe uma caixa interna e uma externa. Para efeitos de cálculo do volume de atmosfera para o experimento da névoa, somente as dimensões interna são consideradas e as mesmas que estão contempladas na tabela 10.

Abaixo é apresentado o isométrico do gabinete externo. A distância interna entre os gabinetes formam a jaqueta cuja função é ajudar a manter a homogeneidade da temperatura no interior da câmara.

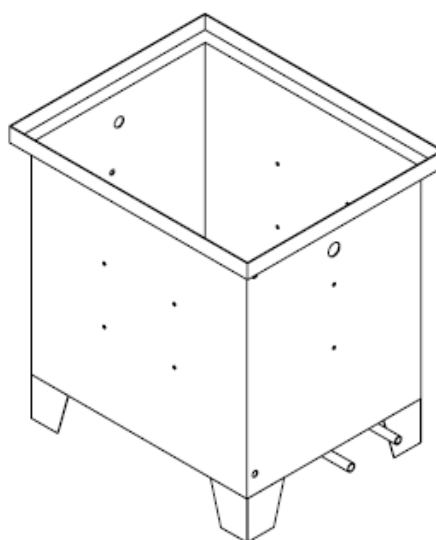


Figura 36. Vista Isométrica do Gabinete Externo [Fonte: autor]

#### 5.1.24. Proveta e funil coletor de névoa

Elemento considerado no projeto por determinação das normas que foi fixado por fibra na região central interna da máquina. A coleta de solução deve ser feito por dispositivo feito de material quimicamente inerte, em recipiente graduado. Este recipiente deve ser acoplado a um funil de diâmetro de 100 milímetros, o que corresponde a uma área de recolha de aproximadamente 80 cm<sup>2</sup>. Os dispositivos coletores devem ser colocados na zona do gabinete interno onde os corpos de prova são colocados.

O tamanho e a forma do gabinete devem ser tais que a taxa de coleta de solução no gabinete esteja dentro dos limites considerando somente o spray de sal neutro (NSS) conforme tabela 11:

Tabela 11. Condições operacionais <sup>[17]</sup>

Item do Método de Teste	Spray de Sal Neutro (NSS)
Temperatura	35 °C ± 2 °C
Taxa de coleta média para uma área de coleta horizontal de 80 cm <sup>2</sup>	1,5 ml/h ± 0,5 ml/h
Concentração de cloreto de sódio (solução coletada)	50 g/l ± 5 g/l
pH (solução coletada)	6,5 a 7,2

Como a máquina em questão possui dimensões mínimas solicitadas por norma foi optado se colocar somente um coletor devido ao espaço por ele consumido. Este coletor deve ser posicionado de forma que apenas a névoa e não o líquido que cai dos corpos de prova ou de partes do gabinete sejam coletadas. O mesmo foi fixado por fibra no fundo do gabinete em uma região próxima a central e pode ser melhor ilustrado conforme figura 37.



Figura 37. Dispositivo de coleta de solução [Fonte: autor]

Antes do primeiro teste é necessário verificar a taxa de coleta quando a câmara estiver vazia ou completamente preenchida com amostras falsas. Somente depois de confirmar que as condições de teste estão dentro de um intervalo especificado é que, então a câmara deve ser preenchida com os corpos de prova a serem utilizados e os teste iniciados e mensurados.

Uma nota importante é que a taxa média de recolha da solução em cada dispositivo deve ser medida durante um período mínimo de 24 horas de pulverização contínua e a solução de teste que foi pulverizada não deve ser reutilizada <sup>[18]</sup>.

#### **5.1.25. Jaqueta de óleo**

Jaqueta é um recipiente localizado entre os gabinetes interno e externos da máquina onde a principal finalidade é proporcionar um aquecimento indireto e homogêneo da temperatura interna do gabinete. Para este projeto foi deixado uma distância lateral de 25 milímetros nas laterais e na parte frontal e 45 milímetros no fundo onde será inserido uma resistência de imersão como particionado importante no controle desta temperatura.

Foi feito uma visita técnica a uma empresa na qual a jaqueta era preenchida com água. Para este protótipo foi optado usar óleo térmico aquecido com resistência

elétrica devido a este tipo de fluido manter suas propriedades térmicas por um período mais prolongado e sua taxa de decaimento de temperatura ser menor que a da água, contribuindo assim com a eficiência energética do projeto.

Este reservatório deve ser altamente estanque e o nível do fluido utilizado deve ser constantemente controlado por intermédio de inspeções frequentes de vazamento e nível através de um visor de nível de vidro circular transparente. O nível mínimo a ser considerado não deve ser inferior a instalação da resistência sob a possibilidade de queimá-la ou até mesmo de se originar leituras errôneas do instrumento.

O fluido a ser utilizado é um óleo térmico de alto desempenho destinado à utilização em instalações fechadas com aquecimento indireto. Apresentam boa eficiência de transferência de calor e o ponto de fulgor destes produtos não diminui significativamente durante a operação, devido a sua resistência à degradação térmica nas temperaturas de operação para as quais são recomendados <sup>[41]</sup>.

#### **5.1.26. Resistência da jaqueta**

A função da resistência é a de reaquecer e manter a temperatura do reservatório térmico que, em conjunto com um termostato liga e desliga de acordo com o range de temperatura previamente ajustado. Por conta disso este reservatório deve ser altamente estanque e o nível do fluido utilizado deve ser constantemente controlado por intermédio de inspeções frequentes de vazamento e nível.

A resistência utilizada é de 110/220 volts x 2000 watts de potência com um comprimento de 650 milímetros acoplada em uma bucha de rosca cujo diâmetro é 1.1/4" conforme figura 38.



Figura 38. Resistência elétrica [Fonte: autor]



### **5.1.27. Resistência do saturador**

Idem definição 5.1.26, porém possui um comprimento menor e sua especificação para compra é de 220 volts x 600 watts.

### **5.1.28. Termômetro do saturador**

Idem item 5.1.14, sendo inclusive da mesma marca e tamanho

### **5.1.29. Rodízios**

Elemento de máquina instalado cuja finalidade é de facilitar a movimentação da máquina dentro do laboratório, sendo que somente dois dele possuem sistema de frenagem.

### **5.1.30. Filtro de solução**

Elemento introduzido ao projeto conforme figura 39 para que fique em um posição intermediária ao reservatório de solução e o sistema de atomização. Os orifícios do bico pulverizador são de diâmetros muito pequenos e pensando como um possível contra medida para o não entupimento destes ou destes bicos fora introduzido um elemento filtrante cuja finalidade primordial é impedir que eventuais cristais de cloreto de sódio possa vir a entupir este bico colocando assim a integridade do teste executado a prova devido a uma descontinuidade provocada por entupimento deste bico<sup>[20]</sup>.



Figura 39. Filtro de solução [Fonte: autor]

### 5.1.31. Análise de custos com materiais

Na tabela 12 serão listados e valorados todos os componentes que unidos formaram a máquina construída.

Tabela 12. Componentes da máquina e seus valores [Fonte: autor]

Posição	Qt	Descrição	Valor
01	02	Conjunto de mancais da articulação em PVC, montado e ajustados com pinos de inox	R\$1.000,00
02	01	Niple de $\frac{3}{4}$ inox + joelho e plug de PVC + funil de plástico	R\$ 460,00
03	01	Niple de inox + bucha de redução $\frac{1}{2}$ x $\frac{3}{8}$ " + tampão de PVC de $\frac{1}{2}$ "	R\$ 320,00
04	01	Niple de inox 1.1/4" + luva de PVC	R\$110,00
04	2 m	Mangueira de 1.1/4"	R\$ 30,00
04	02	Abraçadeira ajustável + espigão em bronze de 1.1/4"	R\$ 40,00
05	02	Suporte dos corpos de prova	R\$ 45,00
06	01	Regulador de pressão com filtro incorporado Norgreen $\frac{1}{4}$ B07-201M1EA + tê de latão + (2) válvulas agulha	R\$ 630,00
07	01	Saturador completo	R\$ 5.500,00
08	01	Torre nebulizadora em tubo de PVC de 3"	R\$ 360,00
09	01	Base e bico pulverizador	R\$ 460,00
09.1	02	Nipples de PVC de $\frac{1}{2}$ " NPT	R\$ 0,50
09.2	01	Luva de PVC de $\frac{1}{2}$ " NPT	R\$ 0,80
10	01	Cilindro pneumático de dupla ação Joucomatic PES2	R\$ 350,00
11	01	Válvula Pneumática de 3 posições, 3 vias XCPC	R\$ 200,00
11.1	01	Regulador de pressão $\frac{1}{4}$ "	R\$ 30,00
12	01	Painel elétrico montado e comissionado com dois controladores e um temporizador digital	R\$1.950,00
13	01	Suporte deflector + manômetro	R\$ 120,00

14	01	Manômetro tipo PT100 + bucha de redução de PVC	R\$ 210,00
15	01	Tampa de acrílico transparente	R\$ 480,00
15.1	01	Fita adesiva plástica sinalizadora	R\$ 14,00
16	01	Reservatório de solução de 25 litros + carcaça para elemento filtrante + niple 1/2" + válvula Tigre de 1/2"	R\$ 1.100,00
17	01	Indicador de nível consistindo de: tubo de vidro transparente + cantoneira de inox protetora + anél o'ring de vedação + bico de PVC regulador de pressão atmosférica	R\$ 360,00
18	01	Dreno de inox de 3/4" + luva de PVC + válvula de PVC + niple de PVC + tampão NPT de PVC + indicador nível mínimo e máximo	R\$ 320,00
19	01	Dreno de inox de 3/4" + válvula de PVC + plug de 3/4"	R\$ 180,00
20	01	Resistência elétrica da jaqueta	R\$ 180,00
21		Revestimento	R\$ 1.210,00
22	02	Suporte em cantoneira	R\$ 120,00
23 e 26	01	Gabinete interno e externo fabricado em chapa de aço carbono de 1/8 + mão de obra	R\$ 2.000,00
24 e 25	01	Funil e proveta graduada de vidro	R\$ 210,00
27	01	Resistência elétrica do saturador	R\$ 40,00
29	01	Termômetro PT100 do saturador	R\$ 170,00
30	04	Rodízios	R\$ 180,00
31	01	Filtro de solução	R\$ 190,00
32	01	Preparação e detalhamento do projeto	R\$ 3.000,00
33	80 litros	Óleo térmico	R\$ 2.300,00

Total aproximado de execução do projeto: R\$ 44.570,30

## 5.2. METODOLOGIA DO ENSAIO

Neste capítulo será externado os procedimentos adotados para se testar a máquina construída. Os procedimentos foram seguidos baseados no que as normas regem para se alcançar um resultado satisfatório.

### 5.2.1. Condições de pré uso

Antes de se iniciar os testes algumas medidas devem ser tomadas para o sucesso desejado. A seguir serão enumerados alguns pontos importantes que devem ser obedecidos antes do manuseio da máquina. São eles:

- I. Ligar a máquina somente no 110 volts e 60 hertz;
- II. Antes de ligar o disjuntor de acionamento do compressor que fornece o ar comprimido, certifique-se que a válvula de bloqueio do ar comprimido esteja fechada dentro do laboratório;
- III. limpar os bicos atomizadores com uma agulha;
- IV. após serem limpos, o bico deve ser montado sem o auxílio de ferramenta, somente com o aperto manual em seu suporte de sustentação;
- V. preencher a região de encaixe da tampa (calha) com água para efetuar o selo contra o vazamento de névoa;
- VI. ajustar as pressões pneumáticas de abertura e fechamento da tampa e de alimentação do saturador conforme normas;
- VII. verificar o nível de óleo da jaqueta;
- VIII. encher o saturador com água destilada até o nível indicado e fechar perfeitamente o bocal de enchimento;
- IX. a solução preparada é o suficiente para tentes contínuos em até 72 horas. Este reservatório deve estar bem lacrado para se manter o equilíbrio de pressão interna no reservatório;

- X. preparar os corpos de prova e posicioná-los dentro da câmara conforme solicitação das normas;
- XI. fechar a câmara e se certificar de sua estanqueidade;
- XII. certificar se o ajuste de temperatura estão de acordo com o teste do material a ser feito conforme normas;
- XIII. remover a tampa do copo de solução e recolher o excesso de solução que transborda pelo copo, em um recipiente qualquer até que o nível no copo se estabilize;
- XIV. recolocar a tampa do copo de solução após a saída do excesso de solução. Quando acontecer a estabilização do nível do copo a máquina, então, está pronta para iniciar a nebulização dentro da câmara, iniciando o ensaio definitivamente;
- XV. o excesso de solução dentro da câmara deve ser descartado em área externa. Para tanto, se faz necessário posicionar a mangueira de dreno neste local a ser definido;
- XVI. Após decorrido o tempo de ensaio, desligue o aparelho na alimentação elétrica;
- XVII. Abrir a válvula e inserir ar comprimido dentro da câmara para forçar mais rapidamente a saída da névoa residual de dentro do gabinete. Efetuar este procedimento por volta de 5 minutos;
- XVIII. Retirar os corpos de provas e efetuar a limpeza completa do aparelho. Esta limpeza é importante para eliminar os vestígios de cloreto de sódio que pode atacar certas partes do aparelho. Este procedimento pode ser feito com água corrente e sabão de côco, não sendo necessário remover o óleo da jaqueta que pode ser utilizado para outros ensaios sem perda de propriedade;

### **5.3. MANUAL DE FUNCIONAMENTO OPERACIONAL**

Após execução dos procedimentos de pré-uso do equipamento, deve-se proceder com o passo a passo descrito abaixo para efetivamente iniciar o ensaio de corrosão.

A finalidade deste manual somada ao descrito nas condições de pré uso é o mitigar toda e qualquer dúvida que possa vir a ocorrer para se manusear a máquina de forma confiável.

Para um melhor entendimento as seguinte legendas serão utilizadas

#### **5.3.1. Funcionamento da câmara**

- a) Os corpos de prova deverão ser dispostos convenientemente em suportes adequados no interior da câmara de ensaio, conforme prescrição de normas;
- b) A jaqueta preenchida com óleo térmico aquecido pela resistência elétrica mantém a câmara de ensaio em temperatura adequada e ajustada para o trabalho a ser executado, conforme prescrição das normas;
- c) O sistema nebulizador produz névoa salina mediante mistura de ar comprimido saturado de água, com solução salina através do bico interno a torre nebulizadora, preenchendo toda a câmara de ensaio e envolvendo os corpos de prova;
- d) Durante todo o ensaio a tampa deve permanecer fechado, exceto se faz no momento em que houver necessidade de se fazer verificações das condições visuais dos corpos de prova e dos equipamentos internos da máquina, como entupimento do bico por exemplo;

#### **5.3.2. Funcionamento do Saturador**

- a) O ar comprimido da rede é filtrado e tem sua pressão regulada conforme prescrição das normas antes de entrar no saturador;

- b) Asaturação do ar comprimido ocorre no recipiente inferior do saturador, onde o ar passa através da água destilada, onde a mesma é aquecida por uma resistência elétrica;
- c) O nível de água no recipiente inferior é mantido, mediante compensação automática, de água proveniente do recipiente superior. A quantidade água contida no saturador é suficiente para ensaios de curta duração. Segundo o fabricante são considerados ensaios de curta duração aqueles que duram até 72 horas;
- d) A pressão do ar saturado e sua temperatura podem ser controladas no termômetro e manômetros montados logo após o saturador. Por segunça, uma válvula automática montada no saturador permite o escape do ar no caso de sobrepressão;

### **5.3.3. Funcionamento do conjunto de alimentação de solução**

- a) A solução foi preparada pesando 50 g de NaCl em um becker de 100 ml com balança previamente tarada. Foi adicionado sal em outro becker de 600 ml com aproximadamente 400 ml de água deionizada e feito a dissolução. Foi então transposto para um balão volumétrico de 1 litro e completado o volume para 1 litro em uma relação de 95% de água para 5% de cloreto de sódio;
- b) O ar comprimido que vem do saturador ao passar pelo bico de pulverização, aspira a solução do copo de alimentação pelo princípio de venturi. O excesso de solução aspirada retorna ao copo por gravidade. Neste mesmo copo é previsto um filtro de solução feito em nylon para prteção do bico contra entupimento;
- c) A transferência da solução para o reservatório é feita manualmente quando este esvaziar ou quando se trar do primeiro preenchimento efetuando-se a filtragem da solução em um funil com filtro. Durante esta manobra a válvula de bloqueio de solução deverá permanecer fechada;
- d) Após preenchido o reservatório, o bocal de preenchimento deverá ser mantido bem lacrado e estanque para que, quando se virar o copo onde

o filtro de solução fica alojado seja girado a 180 graus, mantendo assim a pressão atmosférica equalizada em ambas as partes;

#### **5.3.4. Instalação do aparelho**

Este aparelho não exige fundamento ou piso especial para sua instalação, porém algumas providências devem ser tomadas. São elas:

- a) Energia elétrica: ligar o aparelho na rede elétrica monofásica 110 voltz e 60 Hz;
- b) Ar comprimido: ligar na rede de 3 a 4 kgf/cm<sup>2</sup>. Um filtro regulador deverá ser instalado na linha e ajustado para 2 kgf/cm<sup>2</sup>. O mesmo deverá ser lacrado para evitar possíveis acidentes de manuseio;
- c) Esgoto: a descarga do aparelho deverá ocorrer para um ambiente externo a fim de se eviatar a contaminação de possíveis aparelhos e ou instrumento instalados dentro do reservatório que irá comportar a máquina. Deverá se evitar sifões ou curvas que possam vir a acumular sal;
- d) Jaqueta de óleo: preencher a mesma com óleo térmico. Os níveis máximos e mínimos estão indicados de maneira a não extrapolar o nível máximo e promover vazamentos indesejados e formação de gases desprendidos do seu aquecimento e cobrir em sua plenitude a resistência elétrica diminuindo assim, o risco de sua queima prematura;



## **6. RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **6.1. CONTRUÇÃO DA MÁQUINA E EXECUÇÃO DO ENSAIO**

A máquina foi idealizada para atender os requisitos solicitados por normas sendo que a mesma deveria, necessariamente, ser construída com materiais robustos que suportassem a ação atmosférica agressiva criada por ela em seu processo operacional.

Após visita técnica feita a uma empresa automobilística da região foi possível formular uma idéia de como a máquina poderia ser montada considerando um compêndio de peças de vários fabricantes e idéias próprias apoiadas nas considerações das normas que convergissem para atingir o objetivo final que era a sua construção, parametrização, comissionamento para possibilitá-la a executar ensaios em corpos de provas até o atingimento de perda de massa esperada e alteração na composição de sua micro estrutura.

Será externado abaixo o passo a passo de projeto e construção da máquina em histórico das dificuldades encontradas e o que se foi pensado para corrigir estas dificuldades.

#### **6.1.1. Construção do Gabinete**

Sendo um processo de pesquisa contínua nos pormenores do projeto, o primeiro desafio a ser superado seria a definição da geometria do gabinete que ficasse o mais próximo possível do volume interno definido pela norma ISO 9227, que determina um volume interno mínimo atmosférico da máquina de de  $0,4 \text{ m}^3$ . Para atingir esta meta o material contrutivo deveria ser o principal item a ser levado em conta aliado a geomeria a ser adotada. Na visita feita e em consulta do catálogo de venda da máquina utilizada na empresa automobilística, foi constatado que a máquina adquirida não possuía componentes metálicos na sua construção que pudessem ser atacados em função de ensaios corrosivos e da névoa gerada por estes ensaios. Na dificuldade em se encontrar mão de obra especializada na região que executasse tal tipo de serviço com material não metálico especial, foi optado por ser construir este gabinete em chapas de aço carbono comum.

Foram compradas três chapas inteiras com a idéia de se dobrar o máximo possível evitando assim a utilização de soldas que poderia comprometer a estanqueidade do gabinete melhor ilustrado na figura 40.



Figura 40. Gabinete em chapa de aço carbono [Fonte: autor]

Para compor a geometria final do gabinete cujo somatório daria o volume interno mínimo a ser alcançado foi utilizado uma tampa de PVC transparente, cuja finalidade e idéia inicial seria o de observar o andamento dos ensaios enquanto forem executados pela máquina. Esta tampa se encaixa em uma canaleta de chapa dobrada onde é feito um selo de água para garantir que a névoa formada não polua a atmosfera externa do laboratório. Sendo assim, o resultado construtivo parcial da caixa fica evidenciado conforme figura 41.



Figura 41. Gabinete com geometria final [Fonte: autor]

Após construída a caixa, se mostrou necessário com algum composto para protegê-la. Foi idealizado em revesti-la com derakene e em seguida utilizar fibra de vidro por se tratar de um material inerte ao ataque corrosivo. No decorrer deste particionado do projeto foi detectado uma melhoria ser executada, pois a abertura e fechamento da tampa ocorre por ação de um cilindro pneumático, sendo assim houve a necessidade de se confeccionar um suporte metálico com olhal sendo posteriormente também revestido por fibra de vidro. Para melhorar este problema em potencial, foi alterado o desenho da tampa fazendo este suporte em peça única com a tampa de acrílico e com maior espessura da parede do acrílico conforme sugere o desenho da figura 42.

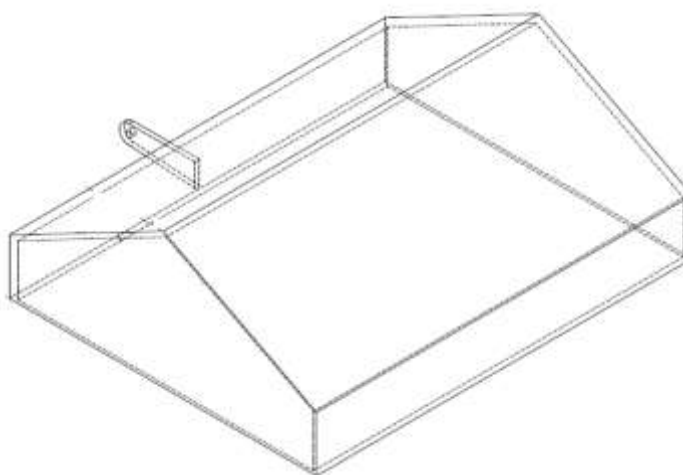


Figura 42. Desenho da tampa revisado [Fonte: autor]

### 6.1.2. Equipamentos periféricos: saturador e reservatório de solução

Esses equipamentos foram adquiridos junto a fabricante específico e homologados para este tipo de função aos quais se destinam. Para a máquina construída, mediante a informação do próprio fabricante considerando um teste de 48 horas, um reservatório de 20 litros era suficiente para execução, todavia este mesmo fabricante possuía um reservatório de 75 litros no seu estoque que estava funcional porém com uma trinca na parte superior e necessitava somente que se efetuasse uma solda a frio e, por motivos financeiros, foi adquirido este reservatório maior.

A seguir serão mostradas fotos ilustrativas destes dois equipamentos periféricos adquiridos e que são de total importância para o processo ao qual a máquina se destina.

Na figura 43 é mostrado o saturador cuja função é a de saturar o ar com umidade de água.



Figura 43. Saturador [Fonte: autor]

Já na figura 44 trata-se do reservatório de solução a ser utilizada, lembrando que a máquina foi idealizada e preparada para se trabalhar com três tipos distintos de solução, sendo, portanto, necessário a aquisição de reservatórios distintos para que não ocorra a menor possibilidade de contaminação de uma solução em outra.



Figura 44. Reservatório [Fonte: autor]

### **6.1.3. Variáveis de controle: termômetros, painel e resistências elétricas**

Para estes itens do projeto, foram adquiridos instrumentos de temperatura tipo PT100 que captam informações de temperatura proporcionado pelas resistências elétricas. Existem informações normativas sobre as temperaturas máximas e mínimas de trabalho da máquina, sendo assim o painel desenvolvido deveria ser capaz de se trabalhar como uma central de controle de todos os parâmetros a serem obedecidos. Nos painel foram programadas as informações parametrizadas de tempo de processo, temperaturas de controle e acionamentos pneumáticos no controle de abertura e fechamento da tampa.

Importante ressaltar que houve a necessidade de uma construção especial da resistência da jaqueta no que diz respeito ao seu comprimento devido as dimensões reduzidas da máquina. No caso a mesma teve que ser cortada e todos os seus ligamentos elétricos refeitos. A mesma foi testada em bancada e posteriormente nos ensaios executados e respondeu muito bem aos comandos não apresentando nenhuma anormalidade aparente que comprometesse a qualificação da máquina.

O painel é robusto e o seu diagrama unifilar de funcionamento se encontra nos anexos deste trabalho, bem como os manuais operacionais dos dois controladores e do temporizador. Alguns itens sobressalentes de relés estão alocados dentro do painel em uma eventual queima.

Pelo exposto, conclui-se que o painel funciona como uma central de comando onde estão alocados todos os dispositivos que fazem a leitura dos parâmetros normativos inseridos. Para o manuseio cujo objetivo seja o de alterar qualquer padrão com o intuito de se fazer testes específicos, necessita de uma consulta no manual dos instrumentos contidos nos anexos deste trabalho, podendo ser trabalhado em qualquer tempo com os valores lá inseridos. Sendo os dispositivos de controles digitais, a sua leitura é de fácil percepção ficando a margem de erro contidas somente na histerese dos dispositivos, reduzindo assim um possível erro de paralaxe.

#### 6.1.4. Sistema de atomização

O sistema de atomização foi adquirido junto a um fabricante homologado para a fabricação deste tipo de equipamentos. Fisicamente se observa a diferença pelo sistema sugerido pelas normas que sugerem um defletor cônico que, em teoria, facilitaria a dispersão da névoa de forma igualitária para todos os pontos internos da câmara. A geometria de confecção e montagem deste defletor de névoa é melhor ilustrado na figura 45 onde pode-se observar sua geometria cônica no topo da torre deflectora.

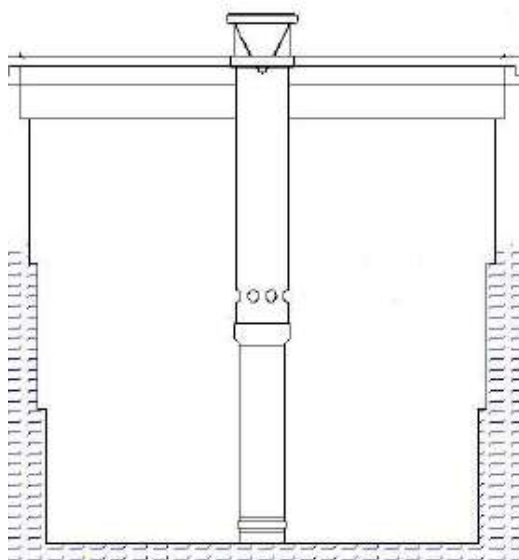


Figura 45. Geometria cônica de defletora de névoa na torre [Fonte: autor]

Com o intuito de diferenciar este conceito sem perda de propriedade a finalidade destinada, foi adotado para esta máquina um sistema semelhante ao utilizado em uma máquina de pintura que pulveriza névoa de tinta na parte interna da bandagem, antes que a mesma se torne um pneu. Considerando os resultados obtidos de perda de massa dos corpos de prova, pode-se afirmar que o emprego desta técnica se mostrou bastante eficaz.

As figuras 46 e 47 ilustram o sistema de atomização empregado na construção da máquina.



Figura 46. Suporte com bico atomizador [Fonte: autor]



Figura 47. Torre de atomização completa e montada [Fonte: autor]

### 6.1.5. Suportes dos corpos de prova e dispositivo de coleta

Por força de solicitação normativa, as duas únicas restrições ou solicitações acerca dos suportes dos corpos de prova são de que os mesmos fossem confeccionados de material inerte a solução aplicada e que permitissem que os corpos de prova fossem acondicionados em posições que poderiam variar de 15 a 30 graus de inclinação para qualificar a máquina.

Os mesmos foram projetados e confeccionados de madeira e a angulação foi respeitada. Vale lembrar que para peças (corpos de provas futuros) não existe a necessidade de que esta angulação seja respeitada, uma vez que a máquina seja validada não necessita mais que este detalhe seja considerado, a menos que os futuros estes sejam feitos em chapas preparadas. Desta forma, os mesmo suportes hoje utilizados podem servir para acondicionar os futuros materiais a serem testados pela máquina.

A figura 48 melhor ilustra a forma construtiva destes suportes e a forma como os corpos de prova se encaixam neles para a execução dos ensaios.

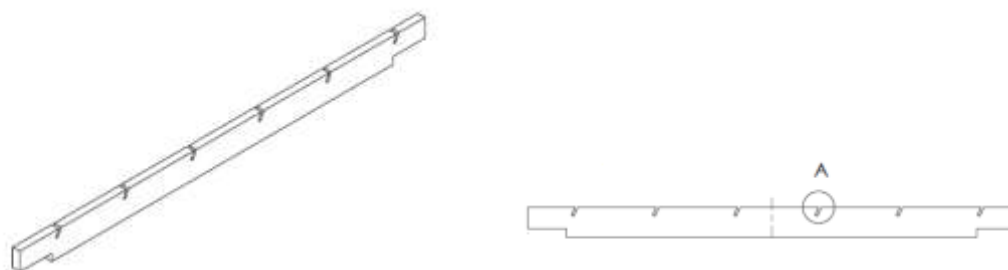


Figura 48. Suporte dos corpos de prova [Fonte: autor]

Pode-se verificar da figura acima no detalhe A destacado que os corpos de prova serão posicionados em ângulo nos suportes.

Quanto ao dispositivo de coleta, existe uma resolução normativa que solicita que o mesmo seja composto por um funil fabricado de material inerte a solução e que



a abertura maior de coleta possua 100 milímetros de diâmetro. Esta solicitação foi plenamente atendida com a aquisição de um funil de vidro e um becker graduado também de vidro. Os mesmos foram fixados na região central da máquina para efetuar a coleta

#### **6.1.6. Preparação das soluções das águas utilizadas**

A solução a ser preparada foi transcrita no trabalho e seus detalhes de execução foram retirados das normas em sua composição e utilização.

A preparação esperada tanto da água do saturador quanto da solução salina do reservatório são possíveis de serem adquiridas pelo corpo técnico da instituição, sendo recomendado que estes procedimentos sejam solicitados a eles devido a sua maior expertise neste tipo de trabalho não havendo portanto, a necessidade de uma preocupação maior da pessoa que está manipulando a máquina se preocupar com este item.

#### **6.1.7. Comportamento da máquina após 48 horas de teste**

A máquina se mostrou estável em seu funcionamento durante todo o período do teste. Dois aspectos atrapalharam neste processo mas foi de grande valia para o aumento do aprendizado sobre seu manuseio. O primeiro foi do corte de energia no período noturno pela instituição fazendo com que o ensaio fosse refeito iniciando do zero novamente. Houve a necessidade de uma solicitação por escrito de que a máquina tivesse garantias de funcionamento no período considerado. O segundo foi o entupimento em um dos três orifícios do bico pulverizador, externando assim uma necessidade de se executar inspeções periódicas no decorrer do ensaio. Para tanto, a máquina possui dispositivos para que seja feita esta inspeção no menor tempo possível sem comprometer a qualidade. Estes dispositivos seriam o corte rápido de fornecimento de solução mediante ao fechamento da válvula de bloqueio e uma tubulação extra que trabalha normal fechada para agilizar a purga de névoa de solução sendo, posteriormente, aberta a tampa do gabinete.

### 6.1.8. Aspecto visual da máquina montada

A máquina se apresentou de forma coerente com o que era esperado baseado nas informações contidas na normas ISO e ASTM.

Todas as possíveis interferências que poderiam vir a ocorrer foram sanadas no comissionamento da máquina, tais como: descarte da sobrepressão de névoa gerada, adequação do plug de fornecimento de energia, inserção de um regulador de pressão independente e dedicado a válvula pneumática direcional.

Na figura 49 são informados por intermédio de foto ilustrativa a máquina montada. Inicialmente ela possuía uma cor externa alaranjado para diferenciar das demais máquinas existentes no mercado.



Figura 49. Projeto inicial da máquina [Fonte: autor]

Posteriormente a mesma foi pintada de branco para padronizar em cor com as demais máquinas do laboratório. A figura 50 melhor ilustra esta modificação sem perda de propriedade da máquina com a mesma já alocada dentro do laboratório da instituição.



Figura 50. Aspecto da máquina sem uso [Fonte: autor]

#### **6.1.9. Aspecto visual da máquina testada**

Feito todos os testes e com os objetivos alcançados sob todos os aspectos esperados, visualmente falando a máquina se mostrou bastante estável suportando muito bem aos eventuais ataques agressivos proporcionados pela máquina. Importante ressaltar que por conta dos problemas descritos no item 6.1.7 no que diz respeito ao fornecimento de energia e entupimento de orifício do bico pulverizador fez-se necessário a criação de uma planilha de intervenção para sanar os eventuais problemas durante os testes que seja de forma rápida e eficaz.

A máquina apresentou também um pequeno vazamento de óleo da jaqueta. Como este óleo necessita trabalhar com temperatura elevada em função do que o processo requer e considerando que a viscosidade do fluido é inversamente proporcional a sua temperatura de trabalho, será necessário o acompanhamento do eventual aumento do vazamento. Caso o vazamento continue pequeno pode-se considerar a coleta do óleo vazado e retorná-lo ao reservatório. Entretanto, se este vazamento aumentar demasiadamente será necessário o esgotamento de todo o óleo e acondicioná-lo em recipiente convenientemente limpo. Após feito isso, desmontar a resistência elétrica na jaqueta, inserir vedante suficiente na rosca com posterior torque da melhor forma possível. Antes de voltar com o óleo para o reservatório da jaqueta, preencher a mesma com água, ligar a resistência e verificar sua estanqueidade. Uma

vez verificado que a jaqueta não possuia mais vazamentos na rosca da resistência, esgotar toda a água e preencher novamente com o óleo térmico

A figura 51 iustra a máquina após ter operado em teste de corrosão acelerado em um tempo superior a 60 horas. Importante salientar que as marcas expostas na figura abaixo se devem ao transporte da mesma da oficina para o laboratório da instituição e a deformação aparente da tampa se deve a ma decisão equivocada considerada inicialmente sobre a coleta de névoa aparente. Isto provocou uma sobrepressão na tampa que a deformou. Para solucionar este problema para que não mais ocorra, o excedente de névoa será descartado na parte externa do laboratório por um mangote passado por entre a janela. Lembrando novamente que o projeto da tampa foi refeito a tornando mais robusta para este tipo de ocorrência.



Figura 51. Aspecto da máquina após o teste [Fonte: autor]

### 6.1.10. Defeitos e soluções

No decorrer do comissionamento da máquina em teste, foram solucionados alguns defeitos e vislumbrados outros eventuais que poderiam vir a acontecer. Pensando nisso, foi elaborado a tabela de defeito e soluções visando reduzir o tempo de reposição operacional da máquina em uma eventual pane. Caso o problema não seja solucionado, o responsável pelo projeto deverá ser acionado.

Tabela 13. Defeitos, causas e soluções [Fonte: autor]

<b>Defeitos ou falhas</b>	<b>Causas</b>	<b>Solução</b>
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Falta de energia elétrica	Inspeccionar / corrigir
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Voltagem incorreta	Inspeccionar / corrigir
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Ligações elétricas incorretas	Inspeccionar / corrigir
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Fusíveis soltos ou queimados	Inspeccionar / substituir
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Resistência queimadas ou com defeitos	Substituir
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Terminais das resistências soltos	Corrigir
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Terminais das resistências com mau contato	Corrigir
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Painel de comando com defeito	Contatar assistência técnica
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Termômetro com defeito	Substituir
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Termistor com defeito	Substituir
Aquecimento irregular na câmara/saturador	Termistor - tomada solta ou com defeito	Inspeccionar / substituir

Pouca produção de névoa durante o ensaio	Falta de ar comprimido	Inspeccionar
Pouca produção de névoa durante o ensaio	Problema no refil controlador de pressão	Inspeccionar
Pouca produção de névoa durante o ensaio	Manômetro com defeito	Substituir
Pouca produção de névoa durante o ensaio	Interligação incorreta das mangueiras	Corrigir
Pouca produção de névoa durante o ensaio	Mangueiras furadas	Substituir
Pouca produção de névoa durante o ensaio	Entrada de ar falso pela base do bico	Inspeccionar / corrigir
Pouca produção de névoa durante o ensaio	Entrada de ar pelo tampão do saturador	Corrigir / substituir
Pouca produção de névoa durante o ensaio	Bico entupido	Desmontar / limpar
Pouca produção de névoa durante o ensaio	Tampa da câmara não estanque	Inspeccionar / corrigir
Nível irregular no copo de solução	Tampão do reservatório com defeito ou mal colocado	Corrigir / substituir
Nível irregular no copo de solução	Excesso de líquido nas mangueiras	Inspeccionar
Nível irregular no copo de solução	Falta de solução no reservatório	Inspeccionar / corrigir
Nível irregular no copo de solução	Filtro de copo de solução saturado	Inspeccionar / limpar
Nível irregular no copo de solução	Respiro do reservatório de solução obstruído	Limpar

## 6.2. EXECUÇÃO DO ENSAIO DE NÉVOA SALINA

Para este capítulo, será externado de forma sucinta, a metodologia aplicada para execução do teste informando, principalmente, o histórico de execução do mesmo.

Constará a preparação e caracterização dos corpos de provas até os resultados esperados e obtidos pela máquina até a sua qualificação.

### 6.2.1. Corpos de prova

Os corpos de prova foram limpos imediatamente antes dos testes de forma a eliminar qualquer tipo de impureza que possa ser considerada como contaminante e consequentemente influenciar nos resultados dos testes <sup>[18]</sup>. A limpeza foi feita por imersão em solução e lavada com água corrente. Esta imersão ocorreu em solvente composto por acetona em uma mistura 1:1 de etanol, sendo posteriormente seca por um jato de ar seco e limpo <sup>[49]</sup>. Após esta limpeza foi feita uma nova pesagem para se verificar se houve alguma variação na massa dos corpos de prova a serem trabalhados.

Feito isso, os corpos foram identificados por intermédio de tipagem mecânica. Para tanto foram identificados 18 dos quais serão usados 4 para qualificação técnica da máquina e os valores iniciais de identificação se encontram na tabela abaixo.

Somente serão considerados os corpos que foram usados efetivamente para os testes. Alguns foram usados para ajuste da máquina. Os valores de referência são para 48 horas de ensaio. O tempo decorrido efetivo de ensaio foi de 46 horas.

Segue valores encontrados no teste contidos na tabela 14.

Tabela 14. Identificação e medições iniciais dos corpos de prova [Fonte: autor]

Identificação tipada	Massa medida	Perda esperada	Massa máxima	Massa mínima	Massa encontrada	Perda de massa
5B	124,4405	1,4 ± 0,2	123,2405	122,8405	123,1505	1,2903
6B	124,1772	1,4 ± 0,2	122,9772	122,5772	123,0173	1,1599
7B	124,0357	1,4 ± 0,2	122,8357	122,4357	122,8384	1,1973
8B	124,1417	1,4 ± 0,2	122,9417	122,5417	122,9092	1,2324

O gráfico da figura 52 melhor ilustra os resultados obtidos.

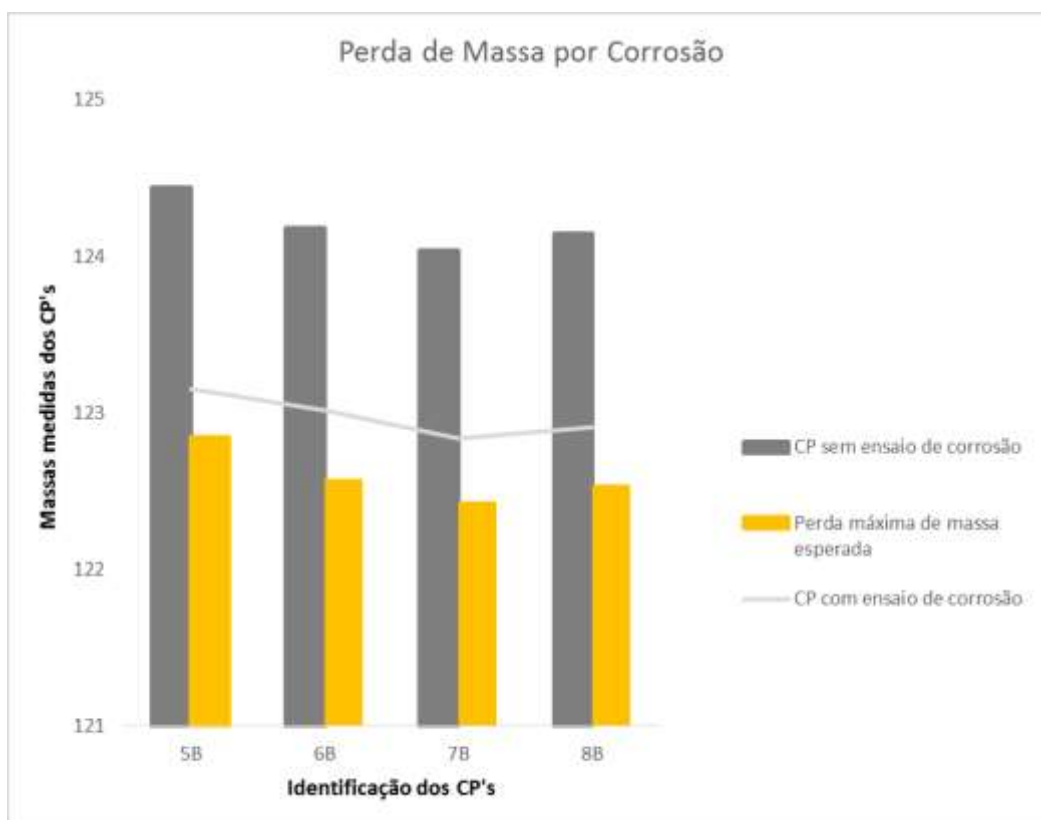


Figura 52. Resultado de testes alcançados [Fonte: autor]

Este gráfico informa que foram verificadas as massas dos corpos antes e logo após o ensaio. O valor esperado teria que necessariamente estar compreendido entre o valor máximo de massa do corpo de prova medido antes da execução do ensaio e a massa máxima perdida devido a execução do ensaio. O gráfico aponta que a máquina alcançou o objetivo proposto, podendo portanto, ser utilizada como uma ferramenta de caracterização de resistência do metal submetida em atmosferas corrosivas altamente concentradas.

A mesma se mostrou robusta para ensaios com alta repetitividade com pouco ou nenhum desgaste aparente da máquina e em seus instrumentos embarcados. O único problema encontrada e já alterado no projeto original concebido foi aumentar a espessura das paredes da tampa e inserir o olhal na mesma fazendo-a como sendo peça única para receber o encaixe do cilindro pneumático.

O aspecto visual dos corpos de prova testados se encontram nas fotografias contidas nas figuras 53, 54 e 55.





Figura 53. Corpo de prova protegido por uma película [Fonte: autor]



Figura 54. Corpos de prova atacados [Fonte: autor]



Figura 55. Corpo de prova decapado [Fonte: autor]

## 7. CONCLUSÕES

A máquina foi confeccionada dentro do que foi planejado respeitando todos os detalhes construtivos e obedecendo as imposições da norma ISO 9227, associada as valiosas informações técnicas contidas na norma ASTM B 117. Foi inserido uma automação robusta para controle dos parâmetros determinados e operacionalmente falando, foram feitos os testes com os corpos de prova, sendo atingidos os resultados impostos pelas normas no que diz respeito a perda de massa de no mínimo 4 corpos de provas em uma operação de 48 horas de exposição.

## 8. TRABALHOS FUTUROS

Se utilizar da máquina construída e instalada nos laboratório da instituição e efetuar ensaios com materiais diferentes ao solicitado para a qualificação da máquina. Um comparativo dos resultados obtidos em outras máquinas comerciais executados em condições semelhantes entre ambos é interessante. Estas condições seriam a utilização dos mesmo valores e de concentração da solução corrosiva e dos parâmetros de controle de temperatura e pressão de ar comprimido.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GENTIL, V. **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2011.

[2] **Deterioração de materiais**. Disponível em: <<http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap9.pdf>>. Acesso em: 02/05/2018.

[3] Jr., W. D. C.; RETHWISCH, D.G. **Ciência e Engenharia dos Materiais – Uma introdução**. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016.

[4] FERREIRA, L.A. **Química Aplicada: Corrosão**. Curitiba: Petrobras: UnicenP, 2002.

[5] GERMELLI, E. **Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização** 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2014.

[6] SERRA, E. T. **Corrosão e proteção anticorrosiva dos metais no solo** 1ª ed. rev. – Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

[7] NUNES, L. P. **Fundamentos de Resistência à Corrosão**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência: IBP: ABRACO, 2007.

[8] BRITO, V.R.S.S, BASTOS, I.N, COSTA, H.R.M. – **Corrosion resistance and characterization of metallic coatings deposited by thermal spray on carbon steel**. Materials & Design. Volume 41, October 2012, Pages 282-2882012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306912003093?via%3Dihub>> Acesso em: 02/05/2018.

[9] MACHUCA, L.L.; JEFFREY, R.; MELCHERS, R.E. **Microorganisms associated with corrosion of structural steel in diverse atmosphere**. International Biodeterioration & Biodegradation 114:234-243. 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/305379966\\_Microorganisms\\_associated\\_with\\_corrosion\\_of\\_structural\\_steel\\_in\\_diverse\\_atmospheres](https://www.researchgate.net/publication/305379966_Microorganisms_associated_with_corrosion_of_structural_steel_in_diverse_atmospheres)>. Acesso em: 02/05/2018.

[10] PARETO, L. **Resistência e ciência dos materiais**. Hemus. 2003.

- [11] HILT. **Corrosion Handbook**. 2015.
- [12] ASSIS, S.L. **Estudo Comparativo de Ensaio Acelerados para Simulação da Corrosão Atmosférica**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN. 2000.
- [13] SOUZA, D.O.; N. P. HAMMEL; W. I. A. SANTOS; A. H. RAMIREZ; N. ROJO; I, COSTA. **Investigação da Corrosividade do Ensaio de Névoa Salina Segundo Norma ISO 9227**. Encontro e Exposição Brasileira de tratamento de superfície III INTERFINISH Latino Americano. 2012.
- [14] BHANDARI, J.; KHAN, F.; ABBASSI, R.; GARANIYA, V.; OJEDA, R. **Modelling of pitting corrosion in marine and offshore steel structures – A technical review**. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Volume 37, September 2015, p. 39-62.
- [15] 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](http://www.icz.org.br/site/pdf/galvanizacao/GalvInfoNote_3_4.pdf)>. Acesso em: 02/05/2018.
- [16] SCHIMIDT, D.P.; SHAW, B.A.; SIKORA, E.; SHAW, W.W.; LALIBERTE, L.F. **Corrosion protection assessment of sacrificial coating systems as a function of exposure time in a marine environment**. Corrosion. The Journal of Science and Engineering. April 2006, Vol. 62, No. 4, pp. 323-339. 2006. Disponível em: <<https://www.corrosionjournal.org/doi/pdf/10.5006/1.3280665>>. Acesso em 02/05/2018.
- [17] ROBERGE, P.R. **Handbook of Corrosion Engineering**. United States of America: McGraw-Hill . 2000. 1140 p.
- [18] ISO 9227 INTERNATIONAL STANDARD. **Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests** - jul 2006. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/33276.html>>. Acesso em 02/05/2018.
- [19] ASTM B-117; **Methods of Salt Spray (Fog) Testing**. Annual Book of ASTM Standards, vol. 03.02, (Philadelphia, PA: ASTM) – 2003. Disponível em: <http://www.galvanizeit.com/uploads/ASTM-B-117-yr11.pdf>. Acesso em 02/05/2018.
- [20] ABNT NBR 8094: Julho 1983. **Material metálico revestido e não revestido - Corrosão por exposição à névoa salina**. Jul 1983.

[21] DIN 50 021; **Salt Spray Testing** – 1975. Disponível em :<  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lpro/peralta\\_r\\_e/apendiceC.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/peralta_r_e/apendiceC.pdf)>.  
Acesso em 02/05/2018.

[22] ASTM D 1654-05. **Standard test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments**. Disponível em:<  
<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D1654-05.htm>>. Acesso em  
02/05/2018.

[23] MORADI, M.; XIAO, T.; SONG, Z. **Investigation of corrosion inhibitory process of marine *Vibrio neocaledonicus* sp. Bacterium for carbon steel**. Corrosion Science 100. August 2015. Disponível em: <  
[https://www.researchgate.net/publication/282623872\\_Investigation\\_of\\_corrosion\\_inhibitory\\_process\\_of\\_marine\\_Vibrio\\_neocaledonicus\\_sp\\_bacterium\\_for\\_carbon\\_steel](https://www.researchgate.net/publication/282623872_Investigation_of_corrosion_inhibitory_process_of_marine_Vibrio_neocaledonicus_sp_bacterium_for_carbon_steel)>.  
Acesso em 02/05/2018.

[24] PRATIKNO, H. **Aging treatment to increase the erosion-corrosion resistance of AA6063 alloys for marine application**. Procedia Earth and Planetary Science, vol. 14:41-46. Dez. 2015. Disponível em :<  
[https://www.researchgate.net/publication/282831644\\_Aging\\_Treatment\\_to\\_Increase\\_the\\_Erosion-Corrosion\\_Resistance\\_of\\_AA6063\\_Alloys\\_for\\_Marine\\_Application](https://www.researchgate.net/publication/282831644_Aging_Treatment_to_Increase_the_Erosion-Corrosion_Resistance_of_AA6063_Alloys_for_Marine_Application)>.  
Acesso em 02/05/2018.

[25] LI, S. ; HIHARA, L. H. **The comparison of the corrosion of ultrapure iron and low-carbon steel under NaCl-electrolyte droplets**. Corrosion Science, vol. 108 -2016. Disponível em:<  
[https://www.researchgate.net/publication/297744818\\_The\\_comparison\\_of\\_the\\_corrosion\\_of\\_ultrapure\\_iron\\_and\\_low-carbon\\_steel\\_under\\_NaCl-electrolyte\\_droplets](https://www.researchgate.net/publication/297744818_The_comparison_of_the_corrosion_of_ultrapure_iron_and_low-carbon_steel_under_NaCl-electrolyte_droplets)>.  
Acesso em 02/05/2018.

[26] JAMES, M.N; HATTING, D.G. **Case studies in marine concentrated corrosion**. Enginereeng Failure Analysis. Volume 47, Part A, January 2015, p. 1-15. 2015. Disponível em:<  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135063071400274X>>. Acesso em 02/05/2018.

[27] ISO 8407 International Standard – **Metals and alloys – procedures for removal of corrosion products from corrosion test specimens**. Disponível em:<  
<https://www.iso.org/standard/42634.html>>. Acesso em 02/05/2018.

[28] ZHANG, C.; GUO, R.Q.; YANG, Y.; WU, Y.; LIU, L. **Influence of the size of spraying powders on the microstructure and corrosion resistance of Fe – based amorphous coating**. 2011.

[29] SHIGERU SUGA and SHIGEO SUGA, “**Report on the results from the ISO/TC 156/WG 7 International Round Robin Test Program on ISO 9227 Salt Spray Tests**”; J. Surface Finish. Soc. Japan; Vol. 56, p. 28 (2005).

[30] OLIVEIRA, M.G., **Manual de Filtração Industrial**. Altiber Editora. 2010.

[31] OZCELIK, B.K.; ERGUN, C. **Synthesis and characterizations of iron oxide particles using spray pyrolysis technique**. 2014.

[32] CHALIAMPALLIAS, D., et al. – **High temperature oxidation and corrosion in marine environments of thermal spray deposited coatings**. Applied Surface Science 255(5):3104-3111 . Dez. 2008. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/222936745\\_High\\_temperature\\_oxidation\\_and\\_corrosion\\_in\\_marine\\_environments\\_of\\_thermal\\_spray\\_deposited\\_coatings](https://www.researchgate.net/publication/222936745_High_temperature_oxidation_and_corrosion_in_marine_environments_of_thermal_spray_deposited_coatings)>. Acesso em 02/05/2018.

[33] ASTM D 1193. **Standard Especification for Reagent Water**. October 2001. Disponível em:<<https://codehub.building.govt.nz/home/resources/astm-d1193/>>. Acesso em 02/05/2018.

[34] ISO 3574 International Standard – **Cold-reduced carbon steel sheet of commercial and drawing qualities**. Jun 1999.

[35] ABNT NBR 5915 – **Bobinas e chapas finas a frio de aço carbono para estampagem**. 2008. Disponível em:<<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=000959>>. Acesso em 02/05/2018.

[36] TELLES, P. C.S., **Tubulações Industriais – Cálculo** – 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2014.

[37] **MÁQUINA EQUILAN**. Disponível em:<[http://equilan.com.br/admin/acoes/descritivo\\_tecnico\\_ss600e\\_ss1000e\\_ss1300e\\_ss3000e.pdf](http://equilan.com.br/admin/acoes/descritivo_tecnico_ss600e_ss1000e_ss1300e_ss3000e.pdf)>. Acesso em 02/05/2018.

[38] **SALT SPRAY FOG LIYI LY-609-60.** Disponível em:<<http://www.liyi-tech.com/sale-8414236-salt-spray-salt-spray-corrosion-test-chamber-108l-270l-salt-fog-test-equipment.html>>. Acesso em 02/05/2018.

[39] DREXLER. P. et al. **Planejamento e Projeto de Sistemas de força hidráulica.** Volume 3. 2008.

[40] FIALHO, A. B., **Automação Hidráulica (Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos).** 2ª ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2003.

[41] **SISTEMA DE FUNCIONAMENTO DO SATURADOR.** Disponível em:<<http://www.t-machine.com.tw/webls-en-us/cate20131213101322.html>>. Acesso em 02/05/2018.

[42] RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; KRANE, K.N. **Física 2**, 5ª ed. 2008.

[43] MANUAL AUTONICS. Controlador de Temperatura Série TC4. Disponível em:<[http://www.automacenter.com.br/manuais/autonics/tc4s\\_manual\\_portugues.pdf](http://www.automacenter.com.br/manuais/autonics/tc4s_manual_portugues.pdf)>. Acesso em 02/05/2018.

[44] MANUAL FSCHEIB – **Contador e temporizador.** Disponível em:<<http://www.fscheib.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Manual-FS-1201-AAF01-REV003.pdf>>. Acesso em 02/05/2018.

[45] **TERMÔMETRO TIPO PT100.** Disponível em:<<http://campcontroles.com.br/produto-page.php?id=48&uri=pt100-termoresistencia-montagem-mineral&menu=8>>. Acesso em 02/05/2018.

[46] ABNT. NBR 7195. **Cores para Segurança.** Jun. 1995. Disponível em:<[https://rrmarques.com.br/normasabnt/NBR7195\\_Cores\\_para\\_seguranca.pdf](https://rrmarques.com.br/normasabnt/NBR7195_Cores_para_seguranca.pdf)>. Acesso em 02/05/2018.

[47] NORMA REGULAMENTADORA 26. 1978. **Sinalização de Segurança.** Disponível em: <http://www.sbac.org.br/wp-content/uploads/2017/04/NR-26.pdf>. Acesso em 02/05/2018.

[48] MOBIL. Catálogo Mobiltherm série 600. **Óleos para transferência de calor.** 2013. Disponível em:<[http://mobil.moovelub.com/sites/default/files/produtos/mobiltherm\\_600\\_series\\_pds\\_2\\_013.pdf](http://mobil.moovelub.com/sites/default/files/produtos/mobiltherm_600_series_pds_2_013.pdf)>. Acesso em 02/05/2018.



[49] ABNT NBR 6210. Dez 2006. **Corrosão atmosférica – Materiais metálicos** - Preparo, limpeza e determinação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios de corrosão.

[50] ABNT NBR 6023. Ago 2002. **Informações e documentação, Referências** - Elaboração.

**ANEXOS**