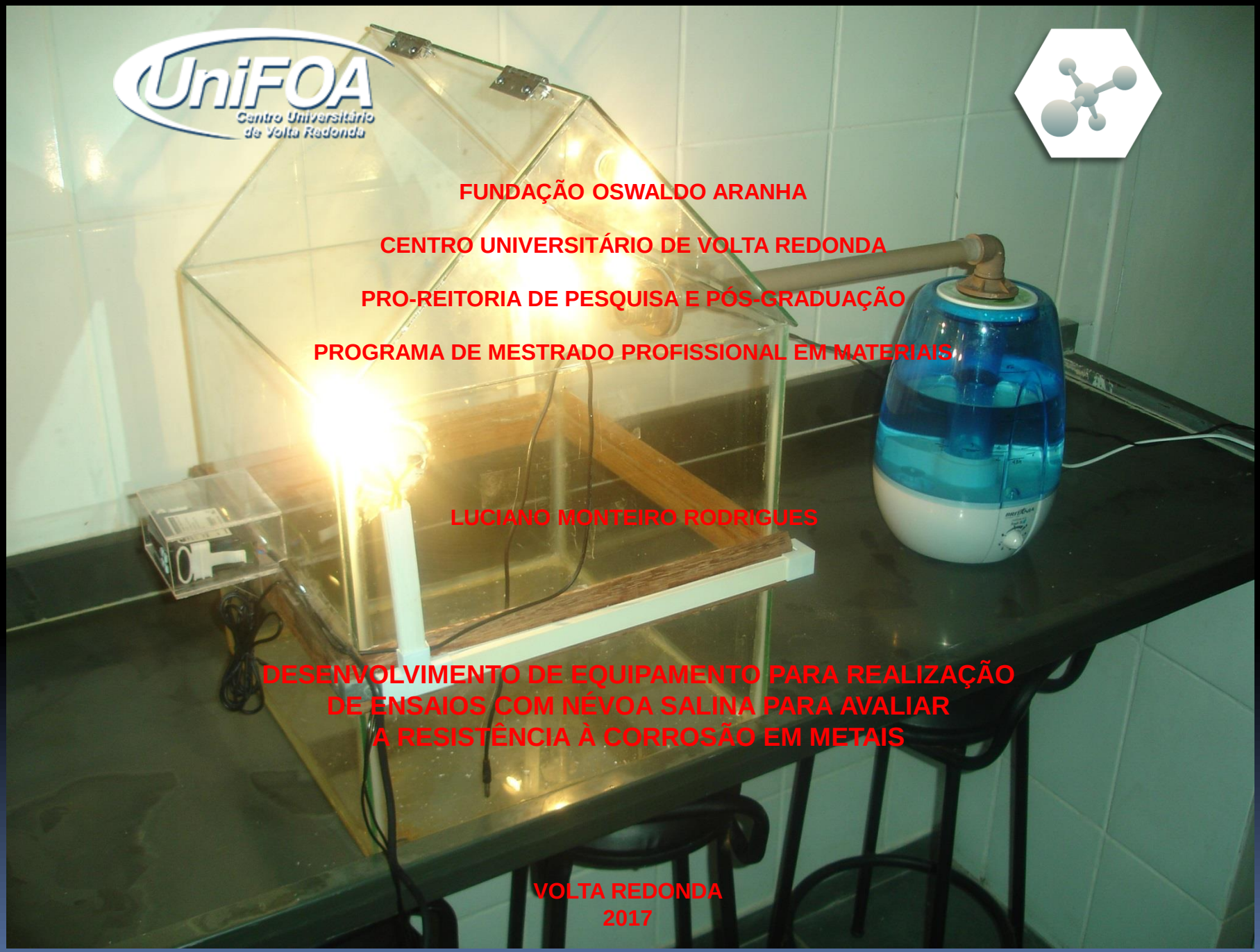


FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

LUCIANO MONTEIRO RODRIGUES

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

VOLTA REDONDA

2017

Pós-Graduação *Stricto Sensu*

Mestrado Profissional em Materiais

Materiais metálicos

Título

Desenvolvimento de Equipamento para Realização de Ensaios com Névoa Salina para Avaliar a Resistência à Corrosão em Metais

Aluno

Luciano Monteiro Rodrigues

Orientador

Roberto de Oliveira Magnago

Co-orientador

Bruno Chaboli Gambarato

Sumário

1. Introdução

2. Objetivos

3. Justificativas

4. Revisão Bibliográfica

5. Materiais e Métodos

6. Resultados e Discussões

7. Conclusão

8. Sugestões para Trabalhos Futuros

9. Referências Bibliográficas

1. Introdução

- *Aço*
- *Corrosão*
- *Ensaio anti-corrosivo*
- *Caracterização microestrutural dos aços*
- *Normas técnicas (ABNT, ASTM e ISO)*

2. Objetivos

Desenvolvimento de equipamento para avaliar a resistência à corrosão de aços por exposição à névoa salina e comparar com valores especificados pelas normas ASTM B117 e ISO 9227 e com resultados de outros estudos para validação do equipamento

3. Justificativas

Justifica-se desenvolver um equipamento com baixo custo, ao se comparar com o preço de equipamentos comerciais, e por não ter nas instalações do UniFOA, e ainda capaz de realizar ensaios satisfatórios.

3. Revisão Bibliográfica

Aços

- ***Ligas de Ferro com Carbono;***
- ***Classificação;***
- ***Tipos (aços comuns, aços patináveis e aços ligados);***
- ***Aplicabilidades dos aços.***

Fonte: (Catálogo CSN)

Corrosão

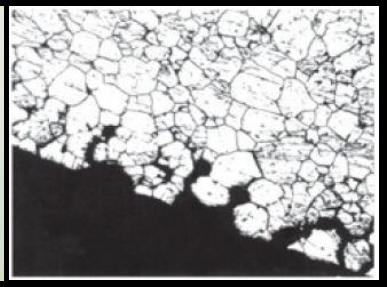
Fonte: (PANNONI, 2011)

Formas de corrosão

Uniforme

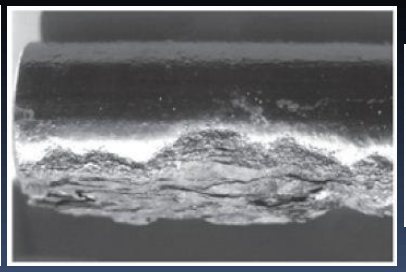
Por placas

Alveolar

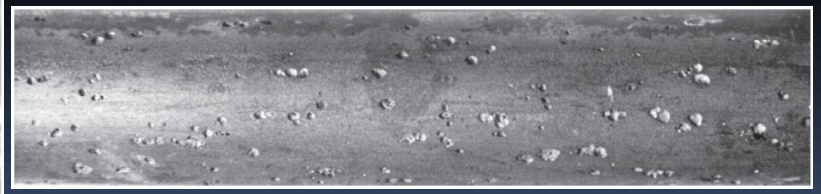


Intergranular

Filiforme



Por esfoliação

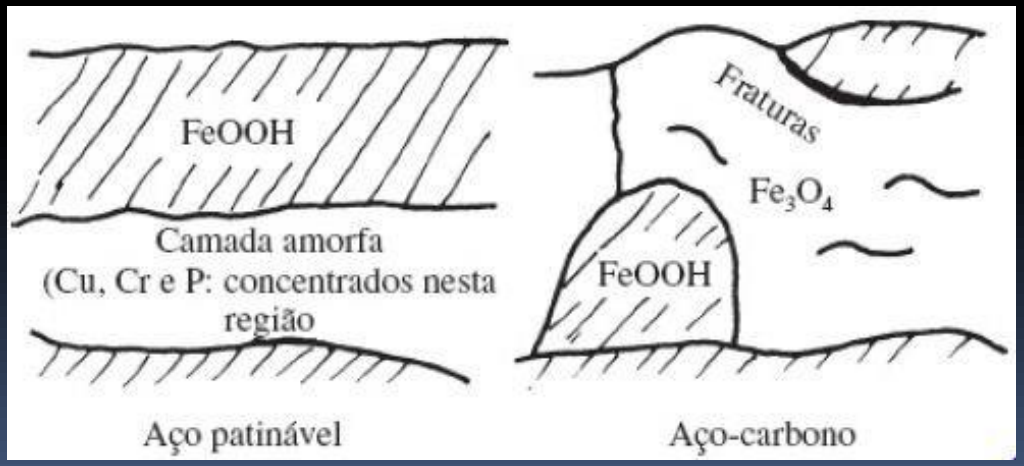


Puntiforme ou por pite

Fonte: (GENTIL, 2011)

Condições necessárias à ocorrência da corrosão atmosférica do aço

- ***Falta de uso de revestimentos anticorrosivos ou pinturas;***



Fonte: (GENTIL, 2011)

- ***Tempo de umedecimento***

Velocidade de corrosão

Umidade relativa da atmosfera

Propriedades químicas e físicas

Sais higroscópicos (NaCl)

Fonte: (GENTIL, 2011)

- ***Cloretos***

- Corrosão em ambiente marinho (Guedes et al., 2009);

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

Fonte: (PANNONI, 2002)

Ensaio de névoa salina

- Quando começou?
- Normas técnicas
- Avaliação de novos revestimentos metálicos, pinturas inovadoras de revestimentos
- Verificação da perda de massa
- Procedimento do ensaio

Descrição do equipamento salt spray comercial mais vendido

- *Os modelos Bass USC são construídos em fiberglass (35 anos);*
- *3000 clientes no Brasil e exterior - INMETRO-RJ, várias montadoras (Volkswagen, Honda, Mercedes Benz, Visteon, M. Marelli, Delphi) e Institutos ou Universidades (Esc. Politec. - USP, Lactec - PR, Cepel - RJ, INT - RJ, UFRS - Lacor);*
- *Elevada resistência a ambientes corrosivos;*
- *Realiza ensaios de Névoa Salina (Salt Spray), Umidade e Corrodkote;*
- *Todos os elementos de controle e comando estão localizados no painel frontal e o sistema de torre lateral com ejetor regulável.*

Modelos Bass USC 03/02/01

Fonte: (http://www.bass.com.br/equipamentos.shtml)

Descrição de outros equipamentos salt spay

- ***A EQUILAM realiza ensaio de corrosão em corpos de prova metálico ou não metálico;***
- ***Custo (equipamento SALT SPRAY Modelo SS600E) R$ 46.527,83.***

Fonte: (http://equilam.com.br/admin/acoes/descritivo_técnico_ss600e_ss1000e_ss1300e_ss3000e.pdf)

SSI EQUIPAMENTOS (2011)

- ***Seguimento de fabricação, manutenção de máquinas industriais, mercado de montagem e equipamentos para controle de qualidade;***

- ***Paredes duplas com isolamento térmico, garantido melhor homogeneidade da temperatura do gabinete de teste, com ótima performance do resultado final do ensaio.***

Visualização interna da Câmara Salt Spray

Fonte: (http://www.ssiequipamentos.com/)

5. Materiais e métodos

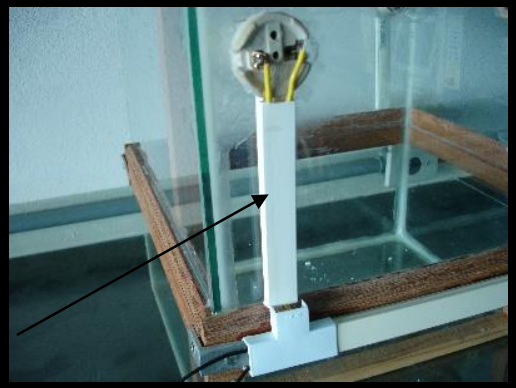
Materiais utilizados para construção do equipamento

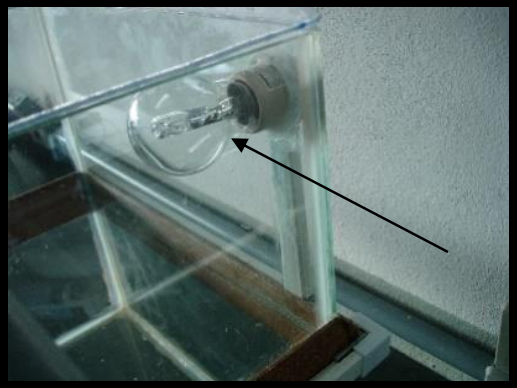
- ***Placas de vidro, tiras de madeira, cantoneira de alumínio e silicone;***
- ***Bocais de cerâmicas, lâmpadas incandescentes de 70 W, fio condutor anti-chamas, calha de PVC e controlador de temperatura;***
- ***Tubo de PVC, uniões, joelho, umidificador, mangueira de silicone, bico plástico, galões de 5 L, resina acrílica-A1 e líquido auto-polimerizante-A2;***
- ***Madeira, acrílico, tek bond 793, dobradiças e rebites.***

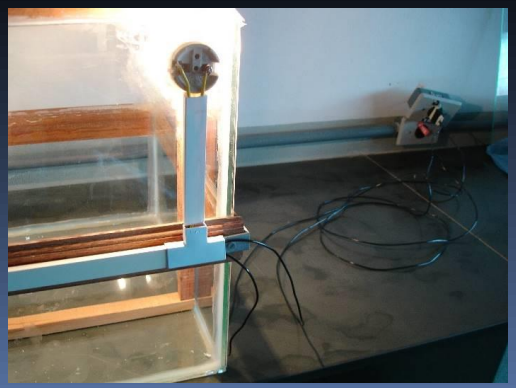
Construção da câmara de névoa salina

Fonte: (Autor)

Preparação do sistema de aquecimento







Fonte: (Autor)

Preparação do sistema para pulverização

Fonte: (Autor)

Reservatório / pulverizador

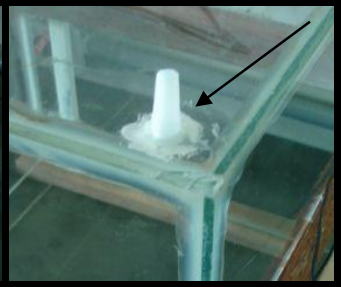
Fonte: (Autor)

Consumo e vazão da solução

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

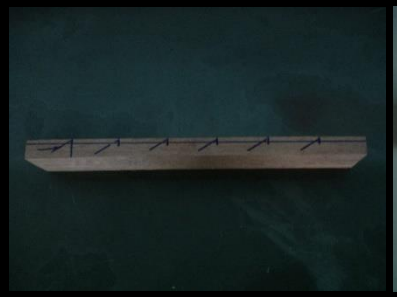
Fonte: (Autor)

Preparação do sistema para coleta da solução pulverizada

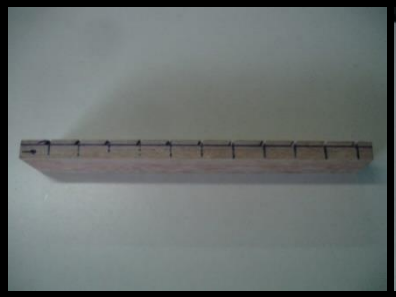


Fonte: (Autor)

Preparação do porta amostra



Suporte com encaixes na angulação de 15º

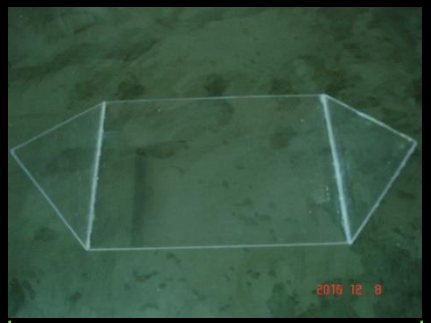


Suporte com encaixes na angulação de 30º

Suporte para pendurar 15 amostras

Fonte: (Autor)

Confecção da tampa da câmara



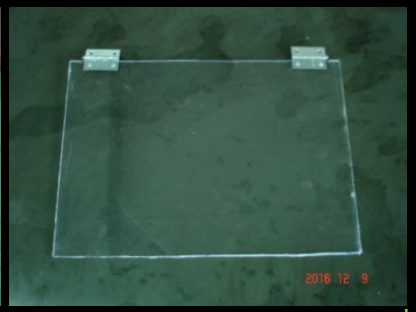
Placas retangulares e triangulares

Colagem das placas

Fixação da tampa colada na câmara

Fonte: (Autor)

Fixação e montagem da tampa na câmara



Fixação das dobradiças

Montagem da tampa

Confecção do puxador da tampa da câmara

Fonte: (Autor)

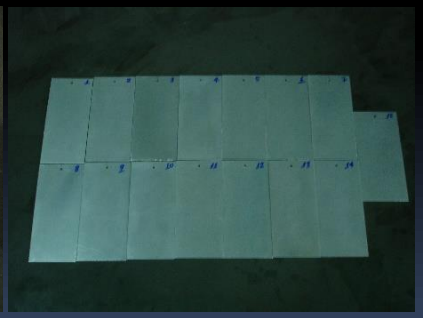
Materiais utilizados nos testes com o equipamento

- ***15 amostras de aço 1001, 15 de aço IF e 12 de bobina a quente;***
- ***Balança digital BEL M214Ai;***
- ***Dessecador;***
- ***Béquer;***
- ***Solução aquosa de 250 g de NaCl;***
- ***Solução de 200 g de citrato de diamônio [$(NH_4)_2HC_6H_5O_7)$];***
- ***Água destilada/deionizada, álcool etílico e secador.***

Realização dos testes com o equipamento

- *Corte das amostras, utilizando uma guilhotina MANROD SchneidenMetall MR-578 do Laboratório de Oficina Mecânica (Norma ISO 9227-06)*

Calandra + Viradeira + Guilhotina



Chapa de aço 1006

Fonte: (Autor)

- *Limpeza das amostras (Norma ISO 9227-06)*

- *Verificação da massa inicial (antes do ensaio)*

Balança digital BEL M214Ai

Fonte: (Autor)

- ***Medição das amostras e armazenagem em dessecadores***

Fonte: (Autor)

- ***Solução aquosa pela dissolução de (250 ± 5) g de NaCl num volume de 5 litros de solução***

Fonte: (Autor)

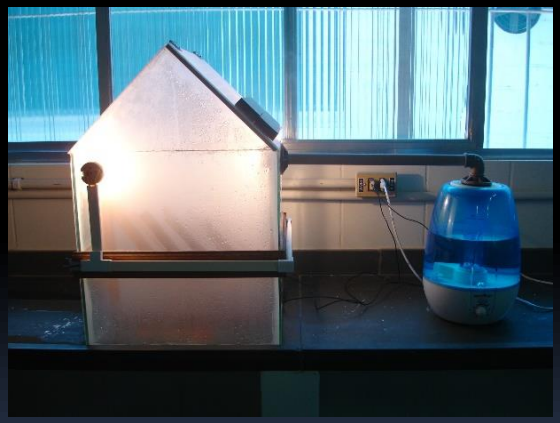
- ***Disposição dos corpos de prova***

Fonte: (Autor)

- ***Execução do ensaio com os aços 1001, aço IF e BQ, segundo as Normas ASTM B117-11 e ISO 9227-06***

Antes do ensaio

Durante o ensaio



Fonte: (Autor)

- ***Coleta de dados***

Consumo de 3112,50 ml de NaCl em 48 horas

Fonte: (Autor)

Processo corrosivo das amostras após o ensaio

Fonte: (Autor)

- ***Limpeza química, lavagem e secagem das amostras para verificação da massa final (após o ensaio)***

Norma Técnica: ISO 8407 (solução com uma fração em massa de 20% de citrato de diamônio [$(NH_4)_2HC_6H_5O_7$)])

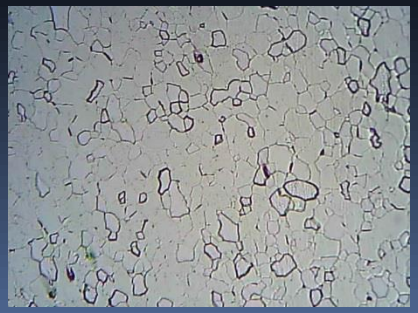
Fonte: (Autor)

6. Resultados e discussões

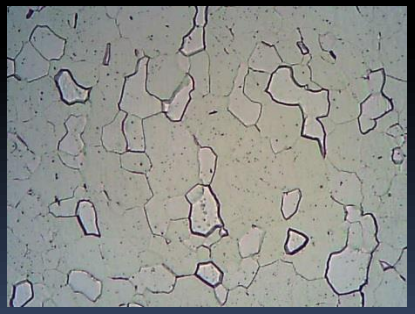
6.1 Caracterização microestrutural

Aço 1001 com espessura de 1,11 mm

a) MO - Objetiva de 10x



b) MO - Objetiva de 20x



c) MO - Objetiva de 40x

Aço IF com espessura de 1,01 mm

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

Dados extraídos do catálogo da CSN

Norma Técnica	Grau	Espessura (mm)	C máx.	Mn máx.	P máx.	S máx.	Dureza máx. (HRB)
ASTM A1008	CSB	0,30 - 2,99	0,02 / 0,15	0,60	0,030	0,035	70

BQ com espessura de 2,32 mm

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

Dados extraídos do catálogo da CSN: *BQ grau AC 45 ou AC 50, com espessura de 2,00 a 5,00 mm, com valor mínimo de dureza de 95 HRB e teor de carbono máximo de 0,50 % ou 0,53 %.*

6.2 Dimensão dos corpos de prova dos aços

	Aço 1006			Aço IF			BQ		
CP'S	L (m)	C (m)	A (m^2)	L (m)	C (m)	A (m^2)	L (m)	C (m)	A (m^2)
1	0,0697	0,1507	0,0105	0,0706	0,1508	0,0106	0,0704	0,1515	0,0107
2	0,0697	0,1507	0,0105	0,0704	0,1509	0,0106	0,0704	0,1515	0,0107
3	0,0715	0,1507	0,0108	0,0698	0,1509	0,0105	0,0705	0,1516	0,0107
4	0,0698	0,1497	0,0104	0,0698	0,1508	0,0105	0,0693	0,1517	0,0105
5	0,0701	0,1503	0,0105	0,0701	0,1508	0,0106	0,0710	0,1492	0,0106
6	0,0716	0,1510	0,0108	0,0693	0,1508	0,0105	0,0700	0,1494	0,0105
7	0,0697	0,1508	0,0105	0,0703	0,1510	0,0106	0,0714	0,1491	0,0106
8	0,0701	0,1511	0,0106	0,0700	0,1509	0,0106	0,0704	0,1490	0,0105
9	0,0720	0,1516	0,0109	0,0693	0,1508	0,0105	0,0703	0,1513	0,0106
10	0,0697	0,1506	0,0105	0,0700	0,1507	0,0105	0,0690	0,1512	0,0104
11	0,0700	0,1511	0,0106	0,0697	0,1506	0,0105	0,0705	0,1508	0,0106
12	0,0715	0,1514	0,0108	0,0705	0,1506	0,0106	0,0695	0,1509	0,0105
13	0,0696	0,1503	0,0105	0,0696	0,1509	0,0105			
14	0,0701	0,1505	0,0106	0,0701	0,1508	0,0106			
15	0,0715	0,1509	0,0108	0,0695	0,1508	0,0105			

L= Largura C= Comprimento A= Área

6.3 Perda de massa por área dos corpos de prova dos aços

	Aço 1001				Aço IF				BQ			
CP'S	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área (m^2)	Perda de Massa (g/m^2)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área (m^2)	Perda de Massa (g/m^2)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Área (m^2)	Perda de Massa (g/m^2)
1	88,6288	87,8359	0,0105	75,5143	83,7309	83,0354	0,0106	65,6132	185,3887	184,7738	0,0107	57,4673
2	88,3187	87,5200	0,0105	76,0667	83,6451	83,0322	0,0106	57,8208	185,5214	184,9076	0,0107	57,3645
3	91,0264	90,1459	0,0108	81,5278	83,1493	82,2324	0,0105	87,3238	191,1110	190,3696	0,0107	69,2897
4	88,6471	87,8427	0,0104	77,3462	83,1230	82,2873	0,0105	79,5905	188,0544	187,2917	0,0105	72,6381
5	88,7581	88,0260	0,0105	69,7238	83,4486	82,5494	0,0106	84,8302	190,5704	189,7993	0,0106	72,7453
6	90,5434	89,7750	0,0108	71,1481	82,5344	81,6260	0,0105	86,5143	187,3835	186,5110	0,0105	83,0952
7	88,0287	87,2766	0,0105	71,6286	83,1036	82,2715	0,0106	78,5000	190,0425	189,4249	0,0106	58,2642
8	87,8046	87,0005	0,0106	75,8585	82,9216	82,2567	0,0106	62,7264	188,4984	187,7210	0,0105	74,0381
9	92,1134	91,3306	0,0109	71,8165	82,1764	81,4203	0,0105	72,0095	191,4398	190,5240	0,0106	86,3962
10	89,5867	88,8212	0,0105	72,9048	83,1576	82,3644	0,0105	75,5429	186,4377	185,8731	0,0104	54,2885
11	90,2582	89,4370	0,0106	77,4717	82,4999	81,5585	0,0105	89,6571	189,4192	188,8146	0,0106	57,0377
12	92,1274	91,3331	0,0108	73,5463	83,6483	82,9563	0,0106	65,2830	186,2161	185,4856	0,0105	69,5714
13	89,0011	88,2452	0,0105	71,9905	81,0280	80,3124	0,0105	68,1524				
14	87,8513	87,0461	0,0106	75,9623	81,6520	80,8754	0,0106	73,2642				
15	90,8517	90,0255	0,0108	76,5000	81,9585	81,2810	0,0105	64,5238				

Os resultados foram satisfatórios depois da realização do ensaio acelerado de névoa salina, com exposição de 48 horas, ao se comparar os valores das perdas de massa por área de cada cp, com o valor especificado pelas Normas ASTM B117-11 e ISO 9227-06, que deve ser de 70 ± 20 g/m².

Material	Média da Perda de Massa (g/m²)	Desvio Padrão (g/m²)
Aço 1001	74,6004	3,1269
Aço IF	74,0901	10,0499
BQ	67,6830	10,7733

(SOUZA E COLABORADORES, 2011) realizaram, durante uma exposição de 48 horas em um equipamento comercial (EQUILAM SS 600e), testes com 18 cp's de aço 1008 e encontraram os valores de perda de massa média e desvio padrão, respectivamente, 73,28 g/m² e 3,73g/m² .

7. Conclusão

- *O objetivo principal do estudo foi atingido;*
- *Os resultados experimentais foram satisfatórios;*
- *Vazão de nevoeiro (ml/s);*
- *Perda de massa média dos aços variou de 67,6830 g/m^2 a 74,6004 g/m^2, sendo que o valor especificado pela norma ISO 9227-06 é de (70 ± 20 g/m^2);*
- *Custo para construção de R$ 560,00, representando 1,2043 %, ao se comparar com o valor de equipamentos comerciais e tradicionais.*

8. Sugestões para trabalhos futuros

1- A câmara deve ser aumentada para melhorar o rendimento dos ensaios com mais disposição de amostras para serem submetidas à névoa salina.

2- A capacidade do reservatório deve ser aumentada para atender às distintas vazões da saída de névoa salina e para evitar a interrupção dos ensaios num determinado tempo de exposição.

3- O porta amostras deve ser confeccionado de plástico, a fim de se evitar desgastes acelerados pela solução salina.

4- O sistema de aquecimento deve ser melhorado, substituindo os bocais e as lâmpadas incandescentes, talvez por uma resistência, a fim de se evitar a oxidação precoce dos bocais, que foi percebido ao realizar o ensaio.

5- Realizar ensaios com mais materiais e em equipamentos comerciais.